Новое междисциплинарное научное направление

Функционально - активные контактные материалы и системы:

Теория и инновационные применения в энергетике и электронике

Хаустов В.И.

Владимир Хаустов

Функционально-активные контактные материалы и системы: Теория и инновационные применения в энергетике и электронике

«Автор»

2025

Хаустов В. И.

Функционально-активные контактные материалы и системы: Теория и инновационные применения в энергетике и электронике / В. И. Хаустов — «Автор», 2025

Книга открывает новое междисциплинарное направление на стыке материаловедения и энергетических технологий. Функционально-активные контактные материалы (ФКА) переосмысливают роль проводников, превращая их в интеллектуальные системы, способные к самогенерации энергии, сенсорингу, самодиагностике и адаптации без внешнего питания. В центре концепции — динамическая асимметрия множества последовательно включённых контактных разностей потенциалов, преобразование тепловых, электромагнитных и механических флуктуаций в полезную энергию и активная роль межфазных границ. Книга систематизирует теоретические основы ФКА, описывает реализации в металлических и гибридных системах, включая уникальные ткани, термоэлектрические генераторы и безбатарейные сенсоры. Представленные инновации — от автономных источников питания до термосигнатурных отпечатков для защиты от подделок — прокладывают путь к технологиям будущего, сочетая энергоэффективность, автономность и устойчивость.

© Хаустов В. И., 2025
© Автор, 2025

Содержание

Введение 7
Глава 1. Физика функционально-активных контактных материалов как новое научное направление 8
1.1. История развития контактных явлений 9
1.2. Классические представления о контактных явлениях 10
1.3. Функциональная контактная активность (ФКА) 13
1.4. Функционально-активные контактные материалы и элементы 15
1.5. Концепция функциональной контактной активности (ФКА) 16
1.6. Универсальные принципы функциональной контактной активности 19
Глава 2. Теоретические основы функциональной контактной активности 22
2.1. Физика границ раздела разнородных проводников 23
2.2. Теоретическое обоснование и математическое моделирование 27
Глава 3. Функционально – активные контактные материалы и системы 30
3.1. Металлический проводник с функциональной контактной активностью 31
3.2. Гибридные системы с функциональной контактной активностью 33
3.3. Способы управления функциональной контактной активности 35
3.4. Сравнительный анализ металлических и гибридных ФКА-систем 40
3.5. Общие принципы и свойства материалов с функциональной контактной активностью 41
Глава 4. Материалы и технологии систем с функциональной контактной активностью 42
4.1. Типы материалов для ФКА-применений 43
4.2. Методы формирования контактов и интерфейсов 46
Глава 5. Революционные возможности материалов и систем с функциональной контактной активностью 48
5.1. Способ повышения КПД электромагнитных машин на основе функциональной контактной активности 51
5.2. Проводник функциональной контактной активности с функцией компенсации потерь в системах передачи энергии 56
5.3. Способ определение поля градиентов температур 58
5.4. Эффект энергетической перегруппировки в системе материалов с функциональной контактной активностью 63
5.5. Электрический генератор на эффекте коммутируемой энергетической перегруппировки функциональной контактной активности 67
5.6. Резонансный электромагнитный преобразователь энергетических флуктуаций функциональной контактной активности 71

5.7. Термоэлектрический генератор переменного тока на основе функциональной контактной активности 75
5.8. Линейный полупроводниковый теплообменник функциональной контактной активности с управляемым полем точечных градиентов температур 89
5.9. Генерация и электростатическая локация на основе гексагональных топологий функциональной контактной активности полупроводников p-n типа и металлов 94
5.10. Генерация электрического напряжения на основе гексагональной топологии функциональной контактной активности в системе «константан – нихром – медь с оксидом меди (p-тип) 98
5.11. Эксперименты: влияние внешних факторов на гексагональную топологию функциональной контактной активности полупроводников и металлов 103
5.12. Гексагональные топологии контактной активности как электрические преобразователи различных типов микрофлуктуаций 116
5.13. Уникальная металлическая ткань для специальных целей 122
5.14. Гибкий без батарейный вибрационный сенсор на основе распределенной сети термоэлектрических элементов 125
5.15. Уникальные "термосигнатурные отпечатки": Идентификация и верификация электронных устройств 128
5.16. Термоэлектрический генератор для наборов по выживанию 130
5.17. Контактно-волновая энергоантенна. Принцип работы, физическая реализация и направления применения 132
5.18. Функционально-активная контактная коммуникация без радиоформата через структурированные поля локального взаимодействия. 135
5.19. Энергетическая маскировка объектов на основе функциональной контактной активности 138
5.20. Функционально активная контактная система управления изменением формы и цвета термочувствительных материалов 140
Заключение 142
Глоссарий 143
Литература 145
Примечание 146

Владимир Хаустов
Функционально-активные контактные материалы и системы: Теория и инновационные применения в энергетике и электронике

Новое междисциплинарное научное направление

Введение

На протяжении десятилетий прогресс в области материаловедения и электроники определялся в значительной степени пониманием и управлением свойствами электропроводящих материалов как пассивных компонентов, основным назначением которых являлась эффективная передача электрического тока или преобразование энергии в соответствии с заданными статическими параметрами. Эта традиционная парадигма, хотя и послужила основой для значительных технологических достижений, сталкивается с рядом фундаментальных ограничений в контексте растущего спроса на автономные, адаптивные и энергоэффективные системы. Существующие решения часто требуют внешних источников питания, характеризуются низкой плотностью интеграции функций и недостаточной способностью к самодиагностике или адаптации к динамически изменяющимся условиям эксплуатации.

Настоящая работа посвящена систематическому изложению принципиально нового направления – материалам с функциональной контактной активностью (ФКА). Эта инновационная область исследований представляет собой парадигматический сдвиг, предлагая рассматривать проводящие элементы не как простые носители заряда, а как активные, способные генерировать энергию, осуществлять сенсоринг, самодиагностику и адаптироваться к изменяющимся внешним воздействиям без постоянного внешнего энергоснабжения.

Фундаментальная концепция функциональной контактной активности базируется на нескольких ключевых принципах, универсальных для различных материальных реализаций:

Динамическая асимметрия контактной разности потенциалов (КРП).

В отличие от равновесных систем, где суммарная КРП в замкнутой цепи равна нулю в условиях полного термодинамического равновесия (согласно закону Алессандро Вольта), ФКА-материалы эксплуатируют или целенаправленно создают временные, динамические асимметрии КРП за счёт того, что достичь полного термодинамического равновесия не возможно. Эти асимметрии могут возникать под воздействием микроскопических температурных флуктуаций, внешних электрических, магнитных или электромагнитных полей, выводя систему из термодинамического равновесия на локальном уровне и обеспечивая направленную генерацию ЭДС.

Эффективное использование и преобразование флуктуаций.

Материалы ФКА способны преобразовывать энергию из различных видов низкопотенциальных флуктуаций окружающей среды (тепловых, электромагнитных, электростатических) в полезную электрическую форму, выступая в роли высокоэффективных преобразователей рассеянной энергии.

Активная роль межфазных границ.

Границы раздела между разнородными проводящими средами (металл-металл, металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник) рассматриваются как ключевые активные элементы системы, где происходят процессы преобразования энергии и сигналов, а не просто как соединительные участки.

Предлагаемые в работе концепции и подходы открывают широкие перспективы для революционных прорывов в различных областях науки и техники – от создания автономных источников питания и безбатарейных сенсоров до разработки интеллектуальных материалов с функциями самодиагностики и адаптации. Исследование функциональной контактной активности способствует глубокому переосмыслению взаимодействия материи и энергии, закладывая основу для технологий нового поколения, которые будут характеризоваться повышенной эффективностью, устойчивостью и интеграцией в окружающую среду.

Глава 1. Физика функционально-активных контактных материалов как новое научное направление

Настоящая глава служит введением в принципиально новое направление – физику функционально-активных контактных материалов. Мы начнем с обзора классических концепций контактных явлений, чтобы затем выявить их ограничения и продемонстрировать необходимость нового подхода. Далее будет представлена концепция функциональной контактной активности (ФКА), определяющая активную роль границ раздела разнородных проводников и раскрывающая фундаментальное отличие ФКА от традиционных подходов, включая способность генерировать электродвижущую силу в условиях, близких к термодинамическому равновесию. В главе также будет дано определение функционально-активных контактных материалов и элементов, и подробно рассмотрены их ключевые функциональные возможности, такие как генерация энергии, сенсоринг, адаптация и уникальная идентификация. В завершение будут изложены универсальные принципы, лежащие в основе всех ФКА-систем, что позволит читателю глубоко понять теоретический фундамент и инновационный потенциал этой передовой области материаловедения и энергетики.

1.1. История развития контактных явлений

Функционально-активные контактные материалы (ФКА) представляют собой новый этап в развитии технологий, основанных на контактных явлениях. Начало исследований в этой области можно проследить с работ Алессандро Вольта в XVIII веке, который обнаружил контактную разность потенциалов (КРП) между разнородными металлами. В XIX веке развитие термоэлектричества (Зеебек, Пельтье) заложило основу для современных термоэлектрических генераторов. В XX веке полупроводниковые технологии расширили понимание межфазных границ, а в XXI веке концепции сбора энергии и наноэлектроники открыли путь для ФКА.

ФКА переосмысливает традиционные проводники как активные системы, способные преобразовывать тепловые, механические и электромагнитные флуктуации в полезную энергию. Это делает их перспективными для носимой электроники, автономных сенсоров и защиты от подделок.

1.2. Классические представления о контактных явлениях

Понимание принципов работы материалов с функциональной контактной активностью требует предварительного глубокого анализа классических представлений о контактных явлениях между различными проводниками. Эти устоявшиеся концепции, хотя и не исчерпывающие, составляют основу для осознания фундаментальных отличий и инновационного потенциала ФКА.

1.2.1. Работа выхода электрона и теория контактной разности потенциалов (КРП).

Работа выхода электрона (Ф) определяется как минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону, находящемуся на уровне Ферми в твердом теле, чтобы он покинул поверхность и стал свободным. Это фундаментальная характеристика материала, зависящая от его химического состава, кристаллической структуры и состояния поверхности. Величина работы выхода обычно измеряется в электрон-вольтах (эВ).

Когда два различных проводника (например, два металла А и В) приводятся в электрический контакт, происходит перераспределение электронов между ними. Если работы выхода материалов Ф_А и Ф_В различны (Ф_А не равно Ф_В), то электроны будут перетекать из материала с меньшей работой выхода в материал с большей работой выхода. Этот процесс продолжается до тех пор, пока уровни Ферми обоих материалов не выровняются. Выравнивание уровней Ферми приводит к возникновению контактной разности потенциалов (КРП), или потенциала Вольта (V_AB), на границе раздела.

Математически КРП между двумя материалами А и В, находящимися в контакте и в термодинамическом равновесии, выражается как:

VAB=(ФВ−ФА)/e

где e – элементарный заряд электрона.

Этот потенциал возникает непосредственно на границе контакта и проявляется как электрическое поле в тонком слое между материалами, создавая барьер или, наоборот, способствуя движению электронов в определенном направлении. КРП является статической величиной в условиях равновесия и определяет начальные условия для любых дальнейших процессов, связанных с движением заряда через контакт.

1.2.2. Закон Алессандро Вольта и его интерпретация в равновесных системах.

Закон Алессандро Вольта, сформулированный в конце XVIII века на основе его экспериментов с "вольтовым столбом", является краеугольным камнем классической электродинамики и термодинамики контактов. В своей наиболее известной формулировке он гласит:

В замкнутой цепи, состоящей из любых различных проводников, находящихся в одинаковых температурных условиях, сумма всех контактных разностей потенциалов (электродвижущих сил) равна нулю.

Иными словами, если мы имеем замкнутую цепь из N различных проводников M1,M2, …,MN, где каждый контакт Mi−Mi+1 (и MN−M1) находится при одной и той же температуре, то суммарная ЭДС в цепи будет равна:

Суммирование по i=1NVMiMi+1=0

Это означает, что в такой изотермической замкнутой системе не может возникать постоянный электрический ток. Закон Вольта тесно связан с законом сохранения энергии и принципом возрастания энтропии: в равновесной системе, не получающей энергию извне, невозможно создать постоянный ток, так как это нарушало бы принцип невозможности создания "вечного двигателя первого рода".

Интерпретация закона Вольта в равновесных системах подчеркивает, что КРП, хотя и существует на каждом отдельном контакте, не может быть использована для генерации элек-

трической энергии в изотермической замкнутой цепи. Это положение является фундаментальным для понимания ограничений традиционных электрических схем и послужило отправной точкой для развития концепции ФКА, которая стремится обойти эти ограничения за счет использования неравновесных состояний и динамического управления контактными потенциалами.

1.2.3. Классические термоэлектрические эффекты (Зеебека, Пельтье, Томсона) и их ограничения для сбора низкопотенциальной энергии.

Термоэлектрические явления описывают прямую взаимосвязь между электрическими и тепловыми процессами в проводниках и полупроводниках. Эти эффекты составляют основу для работы термоэлектрических генераторов и холодильников.

Эффект Зеебека (термоэлектрический эффект).

Возникает, когда в замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников, контакты между которыми поддерживаются при различных температурах (T1 и T2), возникает электродвижущая сила (ЭДС), приводящая к появлению электрического тока. Эффект Зеебека является основой термопар, используемых для измерения температуры, и термоэлектрических генераторов, преобразующих тепловую энергию в электрическую. Величина генерируемой ЭДС пропорциональна разности температур и коэффициенту Зеебека (α), который является характеристикой материала. $E=\alpha AB(T1-T2)$, где $\alpha AB=\alpha A-\alpha B$ – относительный коэффициент Зеебека.

Эффект Пельтье.

Обратный эффект Зеебека. При прохождении электрического тока через контакт двух разнородных проводников происходит поглощение или выделение тепла, что приводит к охлаждению или нагреву контакта. Эффект Пельтье используется в термоэлектрических холодильниках и модулях, например, для охлаждения электронных компонентов. Количество тепла, выделяемого или поглощаемого на контакте, пропорционально силе тока.

Эффект Томсона.

Возникает в однородном проводнике, когда одновременно присутствуют градиент температуры и электрический ток. При этом происходит поглощение или выделение тепла вдоль проводника, зависящее от направления тока и градиента температуры. Эффект Томсона, как правило, имеет меньшее значение по сравнению с эффектами Зеебека и Пельтье, но учитывается в точном термоэлектрическом анализе.

Ограничения для сбора низкопотенциальной энергии.

Хотя классические термоэлектрические эффекты позволяют преобразовывать тепловую энергию в электрическую, их эффективность при сборе низкопотенциальной энергии (т.е. энергии, связанной с малыми температурными градиентами или рассеянным теплом окружающей среды) остается относительно низкой. Это обусловлено несколькими факторами:

Низкая эффективность преобразования.

КПД термоэлектрических генераторов (определяемый добротностью ZT материала) при малых разностях температур очень низок. Для эффективной работы требуются значительные перепады температур, которые не всегда доступны в условиях низкопотенциальных источников энергии (например, тепло человеческого тела, рассеянное тепло помещений).

Зависимость от градиента температуры.

Классические термоэлектрические модули требуют поддержания стационарного и достаточно большого градиента температуры. В динамических средах или при малых колебаниях температуры создать и поддерживать такой градиент сложно.

Конструктивные ограничения.

Для получения достаточной мощности часто требуется большое количество термопар, соединенных последовательно, что увеличивает размеры и стоимость устройств.

Фокусировка на тепловой энергии.

Классические термоэлектрики в основном преобразуют тепло. Они неэффективны для прямого сбора механической энергии, электромагнитных полей или электростатического потенциала, которые также являются распространенными источниками рассеянной энергии.

Эти ограничения показывают, что, несмотря на свою фундаментальную важность, классические термоэлектрические эффекты не могут в полной мере решить проблему автономности устройств, требуя значительных внешних температурных градиентов или неэффективно используя другие формы рассеянной энергии. Это создает предпосылки для поиска новых принципов преобразования энергии, таких как ФКА, которые могут использовать широкий спектр низкопотенциальных источников.

1.3. Функциональная контактная активность (ФКА)

Функциональная контактная активность (ФКА) – это принципиально новое направление на стыке материаловедения и энергетических технологий, связанное с новыми электропроводящими материалами и элементами, которое предлагает рассматривать такие электропроводящие материалы и элементы не как простые пассивные носители заряда, а как активные компоненты. Компоненты – способные к самогенерации энергии, сенсорингу, самодиагностике и адаптации.

ФКА опирается на физику неравновесных состояний и динамической асимметрии контактной разности потенциалов, что расширяет границы традиционной физики твердого тела.

В материаловедении ФКА открывает путь к созданию мультифункциональных материалов, интегрирующих генерацию энергии, сенсоринг и идентификацию в одной структуре.

В энергетических технологиях ФКА предлагает инновационные решения для преобразования низкопотенциальной энергии окружающей среды, обеспечивая автономность и экологичность систем.

Эта синергия дисциплин создает основу для разработки технологий следующего поколения, решая ключевые вызовы современной электроники, включая автономность, энергоэффективность и безопасность.

Физика конденсированного состояния.

ФКА опирается на фундаментальные принципы физики твердого тела, такие как работа выхода электрона, уровни Ферми, контактная разность потенциалов (КРП) и процессы на межфазных границах (металл-металл, металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник). Документ подчеркивает, что ФКА использует неравновесные состояния и динамические асимметрии КРП, что является новым подходом к управлению электронными и тепловыми процессами на микроуровне. Например, способность генерировать ЭДС в условиях, близких к термодинамическому равновесию, за счет микроскопических флуктуаций требует глубокого понимания физики конденсированного состояния, включая термоэлектрические эффекты (Зеебека, Пельтье) и поведение поверхностных состояний.

Новизна: В отличие от традиционных подходов, где равновесные состояния и закон Вольта ограничивают возможности генерации энергии, ФКА фокусируется на неравновесных процессах и динамическом управлении потенциальными барьерами, что расширяет границы физики твердого тела.

Материаловедение.

ФКА предлагает новый класс материалов, которые проектируются с учетом активных межфазных границ и специфических микроструктур для достижения мультифункциональности. Документ описывает металлические проводники со знакопеременной КРП, гибридные системы (например, металл-полупроводник) и уникальные текстильные структуры, где материалы становятся не просто носителями свойств, а активными компонентами с функциями генерации энергии, сенсоринга и адаптации. Разработка таких материалов требует новых методов синтеза, характеризации и управления их свойствами на нано- и микроуровне.

Новизна: В материаловедении ФКА вводит концепцию "интеллектуальных" материалов, которые интегрируют несколько функций (энергия, сенсоринг, идентификация) в одной структуре, что контрастирует с традиционным подходом к созданию однофункциональных материалов.

Энергетические технологии.

ФКА открывает путь к созданию автономных источников питания, способных преобразовывать низкопотенциальную энергию (тепловые, электромагнитные, механические флуктуации) в электрическую без необходимости внешнего питания. Примеры из документа, такие

как емкостная термоэлектрическая батарея, костровые термоэлектрические генераторы и безбатарейные вибрационные сенсоры, демонстрируют потенциал для повышения энергоэффективности и автономности устройств. Эти технологии решают ключевые вызовы энергетики, такие как минимизация зависимости от батарей и снижение экологического воздействия.

Новизна: В отличие от традиционных энергетических технологий, которые полагаются на значительные температурные градиенты или химические источники, ФКА использует рассеянную энергию окружающей среды, что делает её особенно актуальной для приложений в IoT, носимой электронике и экстремальных условиях.

Синергия дисциплин.

ФКА является междисциплинарным направлением, которое объединяет:

Физику конденсированного состояния для понимания и управления процессами на межфазных границах и в неравновесных системах.

Материаловедение для разработки новых материалов с заданными функциональными свойствами, включая сложные микроструктуры и топологии (например, гексагональные сети в тканях).

Энергетические технологии для создания высокоэффективных, автономных и экологичных систем, использующих рассеянную энергию.

Суть нового направления – от пассивности к функциональной активности.

В основе этого направления лежит идея, что на границах раздела разнородных проводящих сред – будь то металл-металл, металл-полупроводник или полупроводник-полупроводник – возникают специфические контактные потенциалы. В обычных проводниках эти эффекты часто игнорируются или минимизируются. К тому же закон Алессандро Вольта запрещает суммирование напряжений в таких системах. Однако новое направление предполагает целенаправленное использование и управление этими такими потенциалами для придания материалам активных функций.

Ярчайшим примером и фундаментом этого направления являются металлические проводники со знакопеременной контактной разностью потенциалов (ЗКРП-проводники). Их уникальность заключается в последовательном чередовании сегментов разнородных металлов, создающих активные термоэлектрические интерфейсы. Эти интерфейсы активно реагируют на изменения температуры, электрических полей и токов, генерируя внутреннюю ЭДС и проявляя беспрецедентные адаптивные свойства.

Расширяя эту концепцию, новое направление распространяется на:

Все проводники.

Исследование и создание активных свойств в любых металлических проводящих материалах за счет манипуляции их внутренней структурой и межфазными границами.

Полупроводники.

Использование специфических свойств полупроводниковых переходов (p-n переходы, барьеры Шоттки) для генерации, сенсинга и адаптивного управления, а также их синергетическое взаимодействие с металлическими проводниками.

1.4. Функционально-активные контактные материалы и элементы

Функционально-активные контактные материалы и элементы – это новое поколение материалов и компонентов, которые обладают свойством функциональной контактной активности (ФКА). В отличие от традиционных пассивных проводников, эти материалы рассматриваются как активные, "интеллектуальные", способные к самогенерации энергии, сенсингу, самодиагностике и адаптации к изменяющимся условиям без постоянного внешнего источника питания.

Их функциональность основана на использовании динамической асимметрии множества контактных разностей потенциалов (КРП) и эффективном преобразовании энергии различных флуктуаций (например, тепловых, электромагнитных) в полезную электрическую энергию, при этом межфазные границы играют ключевую роль как активные функциональные элементы.

1.5. Концепция функциональной контактной активности (ФКА)

В свете ограничений классических электронных материалов и растущих потребностей в автономных, интеллектуальных и безопасных системах, возникает необходимость в фундаментальном переосмыслении роли проводящих сред. Именно на этом фоне формируется концепция функциональной контактной активности (ФКА), предлагающая качественно новый подход к дизайну и применению материалов, способных к активному взаимодействию с окружающей средой и самодостаточному функционированию.

1.5.1. Определение Функциональной контактной активности (ФКА): активная роль границ раздела разнородных проводников.

Функциональная контактная активность (ФКА) – это принципиально новое направление в физике и материаловедении, которое изучает и использует динамические свойства границ раздела между разнородными проводящими средами (металл-металл, металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник) для придания материалам активных функций. В отличие от традиционных представлений, где контактные потенциалы рассматриваются как статические, часто нежелательные эффекты, в рамках ФКА эти потенциалы становятся ключевым элементом, которым можно целенаправленно управлять для достижения определенных функциональных свойств.

Суть ФКА заключается в том, что проводящие элементы перестают быть пассивными носителями тока и превращаются в активные, "интеллектуальные" компоненты. Это достигается за счет использования уникальных электрофизических процессов, протекающих на микроскопическом уровне в области контакта. Вместо того чтобы минимизировать или игнорировать контактные потенциалы, ФКА-материалы позволяют их суммировать и преобразовывать различные виды рассеянной энергии (механическую, тепловую, электромагнитную) в полезную электрическую энергию или информационный сигнал.

Активная роль границ раздела проявляется в их способности реагировать на минимальные внешние воздействия (например, вибрации, малые температурные градиенты, изменения электромагнитного поля), трансформируя эти воздействия в регистрируемые электрические сигналы или генерируя ЭДС. Таким образом, контакт становится не просто точкой сопряжения, а динамически активным элементом, способным к энергетической и информационной трансдукции.

1.5.2. Фундаментальное отличие ФКА от классических подходов: динамические асимметрии и генерация ЭДС в условиях, близких к равновесию.

Ключевое фундаментальное отличие ФКА от классических представлений, таких как закон Вольта и традиционные термоэлектрические эффекты, заключается в способности ФКА-систем генерировать электродвижущую силу (ЭДС) и постоянный ток в условиях, которые классически считаются недостаточными или даже "запрещенными" для такой генерации.

Как было показано выше, закон Алессандро Вольта постулирует, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, находящихся при одинаковой температуре, суммарная ЭДС равна нулю. Это означает невозможность получения постоянного тока в изотермической системе. Классические термоэлектрические эффекты, в свою очередь, требуют поддержания явного и достаточно большого градиента температуры для эффективной генерации энергии.

ФКА преодолевает эти ограничения за счет использования динамических асимметрий и способности к преобразованию энергии в условиях, близких к термодинамическому равновесию или при наличии лишь малых, локальных, динамически изменяющихся градиентов. Вместо стационарного перепада температур или потенциалов, ФКА-системы используют:

Микроскопические динамические возмущения.

Даже незначительные механические деформации, вибрации, или флуктуации тепловой энергии могут вызывать временные, локальные изменения в работе выхода или уровне Ферми на границе раздела, создавая динамическую асимметрию КРП.

Использование рассеянной энергии.

ФКА-материалы эффективно преобразуют различные формы рассеянной энергии (механическую, электромагнитную, тепловую) в электрическую, не требуя создания явных макроскопических градиентов, как в классических термоэлектриках. Например, вибрация может вызывать динамическое изменение площади контакта или деформацию, что приводит к изменению КРП и генерации тока, даже если общая температура системы однородна.

Новые механизмы преобразования.

В основе ФКА лежат специфические физические процессы, отличные от стандартных термоэлектрических, которые позволяют "собирать" энергию из окружающей среды, минуя ограничения, накладываемые равновесными состояниями и законом Вольта в его традиционной трактовке для статических систем. Это подразумевает, что процессы на границе контакта являются неравновесными, и именно динамика этих процессов приводит к возникновению полезной ЭДС.

Таким образом, ФКА представляет собой парадигмальный сдвиг от пассивности к функциональной активности, позволяя материалам самим генерировать энергию, не нарушая фундаментальных законов физики, но используя их на качественно новом уровне взаимодействия с окружающей средой.

1.5.3. Обзор ключевых функциональных возможностей ФКА-материалов (генерация энергии, сеноринг, адаптация, уникальная идентификация).

Материалы с функциональной контактной активностью обладают рядом уникальных свойств, которые открывают широкие перспективы для создания прорывных технологий:

Генерация Энергии.

ФКА-материалы способны преобразовывать различные виды низкопотенциальной, рассеянной энергии из окружающей среды (механические вибрации, движения, малые температурные флуктуации, электромагнитные поля, электростатический заряд) в электрическую энергию. Это позволяет создавать автономные, безбатарейные электронные устройства, способные непрерывно функционировать без внешнего источника питания или периодической подзарядки. Примеры включают "умные" текстильные генераторы, преобразующие энергию движений тела, или компактные устройства, питающиеся от рассеянного тепла.

Сенсоринг.

Благодаря высокой чувствительности контактных потенциалов к минимальным изменениям внешних условий, ФКА-материалы могут выступать в качестве высокочувствительных датчиков. Они способны регистрировать тонкие механические деформации, вибрации, тепловые сигнатуры, изменения электромагнитных полей или даже химические реакции. Например, гибкие сенсоры вибрации, основанные на ФКА, могут детектировать уникальные "термопрофили", создаваемые колебаниями, что открывает новые возможности для мониторинга состояния объектов или биометрических измерений.

Адаптация.

Способность ФКА-материалов динамически изменять свои электрические и, потенциально, другие физические свойства в ответ на внешние стимулы позволяет создавать адаптивные системы. Это может проявляться в динамическом управлении тепловым режимом (например, изменение теплопроводности "умной" одежды в зависимости от температуры окружающей среды), или в изменении электропроводности/реакции на воздействие. Такая адаптивность открывает путь к созданию "интеллектуальных" материалов, способных подстраиваться под изменяющиеся условия эксплуатации.

Уникальная идентификация.

Микроскопическая нерегулярность структуры контактов и сложность внутренних процессов в ФКА-материалах создают уникальный, невоспроизводимый "физический отпечаток" или "термосигнатуру" для каждого образца. Этот "отпечаток" является результатом уникального расположения и характеристик контактных границ и может быть использован в качестве физически неклонируемой функции (PUF) для аутентификации электронных устройств. Такая идентификация крайне устойчива к подделке и клонированию, обеспечивая беспрецедентный уровень безопасности в цепочках поставок и защите от контрафакта.

Эти четыре ключевые функциональные возможности делают ФКА перспективным направлением для разработки следующего поколения материалов и устройств, способных решить многие из вызовов, стоящих перед современной электроникой.

1.6. Универсальные принципы функциональной контактной активности

Независимо от конкретной материальной реализации – будь то чистые металлы, полупроводники или их комбинации – функциональная контактная активность (ФКА) базируется на нескольких ключевых принципах. Эти универсальные идеи формируют основу нового парадигматического подхода к созданию активных, интеллектуальных материалов, способных к самогенерации энергии, сенсингу и адаптации.

Среди этих общих идей выделяются следующие:

Динамическая асимметрия контактной разности потенциалов (КРП).

В традиционной физике конденсированного состояния, в условиях термодинамического равновесия, суммарная контактная разность потенциалов в замкнутой цепи равна нулю (следствие модифицированного закона Вольта). Это означает, что без внешнего температурного градиента или другого источника энергии невозможно получить устойчивую электродвижущую силу (ЭДС). Однако ФКА-материалы принципиально используют или целенаправленно инженерно создают динамическую, временную асимметрию в распределении КРП. Эта асимметрия может быть обусловлена рядом факторов:

– Микроскопические тепловые градиенты. Даже в макроскопически изотермической системе существуют постоянные микроскопические температурные флуктуации, способные создавать локальные, кратковременные градиенты на границах раздела.

– Взаимодействие с внешними полями. Воздействие внешних электрических, магнитных или электромагнитных полей может асимметрично модулировать потенциальные барьеры на контактах, выводя систему из равновесия.

– Внутреннее перераспределение заряда. Собственные динамические процессы перераспределения заряда или структурные изменения на границах раздела могут вызывать временные дисбалансы КРП. В результате такой динамической асимметрии система временно выводится из равновесия на локальном уровне, позволяя генерировать направленный поток зарядов и, соответственно, ЭДС или ток. Это ключевой механизм "обхода" кажущихся ограничений классической физики, который фокусируется на управлении неравновесными состояниями и динамическими процессами, а не на их минимизации. По сути, ФКА-материалы выступают как нелинейные системы, способные эффективно "выпрямлять" флуктуации или асимметрично реагировать на внешние воздействия.

Аналогия для КРП.

Динамическую асимметрию КРП можно сравнить с ветряной мельницей: подобно тому, как мельничные лопасти улавливают хаотические порывы ветра и преобразуют их в направленное вращение, ФКА-материалы используют флуктуации на межфазных границах для создания направленного тока.

Эффективное использование и преобразование флуктуаций в направленный макроскопический ток.

ФКА-материалы обладают уникальной способностью "собирать" и преобразовывать энергию из различных видов флуктуаций, которые в обычных системах считаются "шумом" или рассеиваемой энергией. Это становится возможным благодаря созданию специфических неравновесных условий и асимметричных потенциальных ландшафтов, позволяющих направленно "сортировать" энергию из случайных движений без нарушения второго начала термодинамики.

– Тепловые флуктуации. Микроскопические случайные движения атомов и электронов (тепловой шум) могут быть направленно преобразованы в электрическую энергию. Это достигается через механизмы, где асимметричные потенциальные барьеры или динамически

изменяющиеся потенциалы (например, под воздействием внешнего асимметричного поля) позволяют заряженным частицам двигаться преимущественно в одном направлении, даже если их кинетическая энергия обусловлена хаотическим тепловым движением. Для работы требуется либо потребление энергии из внешнего неравновесного источника (например, асимметрично меняющегося электрического поля), либо поддержание градиента (температурного, химического), что полностью согласуется с принципами термодинамики.

– Электромагнитные и электростатические флуктуации. Энергия окружающих электромагнитных и электростатических полей (включая естественное поле Земли, радиоволны, электростатические заряды) может индуцировать изменения в контактных потенциалах. При наличии нелинейных элементов (например, барьеров Шоттки, p-n переходов) эти случайные или низкочастотные поля могут быть эффективно детектированы и преобразованы в постоянную или низкочастотную ЭДС через механизмы, аналогичные резонансному захвату или активному выпрямлению. В этом случае энергия не "генерируется из ничего", а преобразуется из энергии фонового излучения или внешних полей, поддерживающих систему в неравновесном состоянии.

– Механические флуктуации. Через косвенные термомеханические эффекты (например, пьезотермические явления), механические вибрации и деформации могут вызывать локальные температурные изменения и модификации КРП, которые затем преобразуются в электрическую энергию. Это расширяет спектр источников "бесплатной" энергии, доступной для ФКА-материалов. Таким образом, материалы ФКА выступают как эффективные преобразователи низкопотенциальной или рассеянной энергии окружающей среды в полезную электрическую форму, работая как на основе тепловых флуктуаций (при наличии асимметрии), так и на основе внешних неравновесных полей.

Роль межфазных границ как активных элементов.

В парадигме ФКА, границы раздела между разнородными проводящими средами (металл-металл, металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник) перестают быть просто точками соединения и становятся активными функциональными элементами – своего рода микроскопическими "двигателями" или "сенсорами". Именно на этих интерфейсах происходят ключевые процессы, определяющие функциональность ФКА-материалов:

– Возникновение и модуляция КРП. Эти границы являются местами возникновения КРП, которая может динамически изменяться под воздействием внешних стимулов (температуры, давления, электрических полей).

– Разделение зарядов и формирование потенциальных барьеров. В полупроводниковых гетероструктурах и контактах металл-полупроводник на межфазных границах формируются области пространственного заряда и потенциальные барьеры (например, барьер Шоттки, p-n переход). Эти барьеры не только влияют на перенос заряда, но и могут служить "ловушками" или "сортировщиками" для носителей заряда, обеспечивая направленное движение.

Эффективное преобразование энергии.

Благодаря уникальным свойствам этих границ, они становятся площадкой для эффективного преобразования энергии (например, тепловой в электрическую через эффект Зеебека, электромагнитной в электрическую через выпрямление ВЧ-полей, или механической в электрическую через термомеханические эффекты). Целенаправленное проектирование, формирование и управление этими межфазными границами на нано- и микроуровне является фундаментальной задачей при разработке ФКА-материалов. Их топология, химический состав и электронные свойства определяют общую эффективность и специфику функциональности системы.

Эти универсальные принципы лежат в основе как простых металлических ЗКРП-проводников, так и более сложных гибридных систем, определяя их способность к активному, автономному и интеллектуальному поведению в различных условиях.

Глава 2. Теоретические основы функциональной контактной активности

После введения в концепцию функциональной контактной активности (ФКА) и демонстрации ее принципиального отличия от классических подходов, настоящая глава призвана раскрыть глубокие теоретические основы, которые объясняют уникальные явления, наблюдаемые в ФКА-материалах. Для полного понимания механизмов ФКА, необходимо углубиться в физику процессов, протекающих на микроскопическом уровне, особенно на границах раздела разнородных проводников.

В данной главе мы начнем с детального анализа физики границ раздела, рассматривая контакты металл-металл, металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник, а также роль поверхностных и интерфейсных состояний. Этот фундамент позволит перейти к теоретическому обоснованию и математическому моделированию явлений ФКА. Будут представлены физические модели, описывающие динамическую асимметрию контактной разности потенциалов (КРП) и механизмы преобразования различных флуктуаций (тепловых, электромагнитных) в полезную электрическую энергию. Особое внимание будет уделено строгому доказательству соответствия предложенных механизмов фундаментальным законам термодинамики, демонстрируя, что ФКА представляет собой не нарушение, а новое, более глубокое использование известных физических принципов в неравновесных условиях. Таким образом, эта глава заложит прочную научную базу для дальнейшего изучения и разработки функционально-активных контактных материалов и систем.

2.1. Физика границ раздела разнородных проводников

Понимание механизмов функциональной контактной активности (ФКА) неразрывно связано с глубоким знанием физических процессов, происходящих на границах раздела между различными проводящими материалами. Эти интерфейсы, формируемые при контакте двух или более сред, являются ключевыми областями, где происходят перераспределение зарядов, изменение энергетических зон и возникновение контактных потенциалов.

2.1.1. Металл-металл контакты: Ферми-уровни, двойные электрические слои.

При контакте двух различных металлов (например, металла А и металла В) в отсутствие внешнего электрического поля происходит процесс выравнивания их химических потенциалов, или, что эквивалентно, уровней Ферми (EF). Уровень Ферми характеризует энергию, при которой вероятность заполнения электронного состояния равна 1/2 при абсолютном нуле температуры, и является мерой электрохимического потенциала электронов в материале.

Если до контакта уровни Ферми металлов А и В различались, а также различались их работы выхода, то при формировании контакта электроны будут перетекать из металла с более высоким уровнем Ферми (т.е. с меньшей работой выхода) в металл с более низким уровнем Ферми (с большей работой выхода). Этот переток зарядов приводит к:

Формированию двойного электрического слоя.

На границе раздела образуется тонкий слой, состоящий из избыточных положительных и отрицательных зарядов. В одном металле, откуда ушли электроны, формируется избыточный положительный заряд (ионный остов), а в другом, куда пришли электроны, – избыточный отрицательный заряд. Этот слой имеет характерную толщину порядка нескольких межатомных расстояний.

Возникновению контактной разности потенциалов (КРП).

Перераспределение зарядов создает электрическое поле и, как следствие, падение потенциала на границе раздела, известное как потенциал Вольта (или контактная разность потенциалов).

Величина этого потенциала в равновесии равна разности работ выхода, деленной на элементарный заряд электрона:

VAB=(ФВ–ФА)/e.

Выравниванию уровней Ферми.

Переток электронов продолжается до тех пор, пока уровни Ферми обоих металлов не станут одинаковыми. После установления равновесия суммарный поток электронов через границу в любом направлении равен нулю.

Важно отметить, что в условиях термодинамического равновесия и отсутствия внешних воздействий этот контактный потенциал является статическим и не может быть использован для генерации постоянного тока в замкнутой цепи, что соответствует закону Вольта. Однако, как будет показано в дальнейшем, динамические изменения этого равновесия являются ключом к ФКА.

2.1.2. Металл-полупроводник контакты: Барьер Шоттки, омические контакты, теория выпрямления.

Контакты между металлами и полупроводниками играют фундаментальную роль в современной электронике, формируя основу для транзисторов, диодов и других устройств. В отличие от металл-металл контактов, здесь важно учитывать различия в энергетической зонной структуре (зона проводимости, валентная зона, ширина запрещенной зоны) и типе проводимости полупроводника (n-тип или p-тип).

При контакте металла и полупроводника также происходит выравнивание уровней Ферми. Это перераспределение зарядов приводит к искривлению энергетических зон в при-

контактной области полупроводника, формируя область пространственного заряда (ОПЗ). В зависимости от соотношения работы выхода металла (ФМ) и работы выхода полупроводника (ФS), а также положения уровня Ферми относительно зон, могут формироваться два основных типа контактов:

Барьер Шоттки.

Формируется, когда в полупроводнике n-типа работа выхода металла больше работы выхода полупроводника (ФМ>ФS), или в полупроводнике p-типа ФМ<ФS В этом случае на границе раздела возникает потенциальный барьер для основных носителей заряда, что приводит к выпрямляющим свойствам контакта. Ток легко течет в одном направлении (прямое смещение, когда барьер понижается) и блокируется в другом (обратное смещение, когда барьер повышается). Теория барьера Шоттки описывает высоту барьера и процессы переноса заряда через него, которые включают термоэмиссию, туннелирование и рекомбинацию.

Омический контакт.

Формируется, когда сопротивление контакта пренебрежимо мало по сравнению с объемным сопротивлением полупроводника. Такой контакт не выпрямляет ток, и его вольт-амперная характеристика линейна. Омические контакты необходимы для эффективного ввода и вывода тока из полупроводниковых устройств. Они формируются, когда барьер для основных носителей заряда очень мал или отсутствует, например, путем сильного легирования приконтактной области полупроводника или выбора металла с подходящей работой выхода (ФМ<ФS для n-типа и ФМ>ФS для p-типа).

Теория выпрямления объясняет асимметричную вольт-амперную характеристику барьерных контактов. При прямом смещении (подача напряжения, уменьшающего высоту барьера) ток экспоненциально возрастает, а при обратном смещении (подача напряжения, увеличивающего высоту барьера) ток остается пренебрежимо малым до пробоя. Эти свойства активно используются в диодах, транзисторах и фотоэлементах.

2.1.3. Полупроводник-полупроводник контакты: p-n переходы и их вольт-амперные характеристики.

p-n переход является фундаментальной структурой в полупроводниковой электронике, образующейся при контакте полупроводника n-типа (с избытком электронов) и полупроводника p-типа (с избытком дырок). При формировании такого контакта свободные электроны из n-области диффундируют в p-область, а дырки из p-области – в n-область.

Этот диффузионный процесс приводит к:

Образованию области пространственного заряда (ОПЗ).

Вблизи границы раздела образуется область, обедненная свободными носителями заряда, но содержащая неподвижные ионизированные примеси. В n-области возникают положительно заряженные доноры, а в p-области – отрицательно заряженные акцепторы.

Возникновению контактного потенциала.

Разделение зарядов в ОПЗ создает внутреннее электрическое поле, направленное от n- к p-области, которое препятствует дальнейшей диффузии и устанавливает равновесие. Этот встроенный потенциал, или контактная разность потенциалов на p-n переходе, равен разности уровней Ферми до контакта.

Выпрямляющим свойствам.

P-n переход является основным элементом диода и обладает выраженными выпрямляющими свойствами, аналогичными барьеру Шоттки, но с иным механизмом.

– Прямое смещение. При подаче внешнего напряжения, понижающего потенциальный барьер (плюс на p-области, минус на n-области), основные носители (дырки из p и электроны из n) начинают активно инжектироваться через переход, что приводит к экспоненциальному росту тока.

– Обратное смещение. При подаче напряжения, увеличивающего потенциальный барьер (минус на p-области, плюс на n-области), основные носители отталкиваются от перехода, и через него течет лишь очень малый ток, обусловленный движением неосновных носителей.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n перехода описывает зависимость тока через переход от приложенного напряжения и может быть выражена уравнением Шокли (для идеального диода):

$I=I0(\exp(qV/nKT)-1)$

Где:

I – ток через диод,

I0 – ток насыщения обратного смещения,

q – элементарный заряд,

V – приложенное напряжение,

n – коэффициент идеальности диода,

K – постоянная Больцмана,

T – абсолютная температура.

p-n переходы являются основой для большинства полупроводниковых устройств, включая транзисторы, солнечные элементы и светодиоды, демонстрируя принципы активного управления зарядовым транспортом.

2.1.4. Роль поверхности и интерфейсных состояний.

Поверхность материала и границы раздела между различными материалами являются областями, где идеальная кристаллическая структура нарушена. Нарушение периодичности решетки приводит к появлению поверхностных состояний – энергетических уровней для электронов, локализованных на поверхности или на интерфейсе. Эти состояния могут находиться в запрещенной зоне полупроводника и значительно влиять на электрические свойства контакта.

Ключевая роль поверхности и интерфейсных состояний:

Изменение энергетических зон.

Поверхностные состояния могут захватывать свободные носители заряда, создавая фиксированные заряды, которые, в свою очередь, приводят к искривлению энергетических зон в приповерхностной области полупроводника. Это может изменять высоту потенциального барьера на контакте металл-полупроводник или p-n переходе, влияя на выпрямляющие свойства и сопротивление.

Эффекты пиннинга уровня Ферми.

Большая плотность интерфейсных состояний может "закреплять" (пиннинговать) уровень Ферми на определенной энергии относительно зонных краев независимо от работы выхода металла. Это объясняет, почему на практике высота барьера Шоттки для многих металл-полупроводник контактов слабо зависит от типа металла.

Шунтовые пути и утечки.

Дефекты и загрязнения на поверхности или интерфейсе могут создавать шунтовые пути для тока, приводя к увеличению токов утечки и снижению эффективности устройств.

Влияние на химическую стабильность.

Состояние поверхности определяет реактивность материала и его стабильность в различных средах. Окисление, адсорбция примесей или деградация поверхности могут кардинально изменить электрические свойства контакта.

Динамическая природа.

В отличие от статических представлений, поверхностные и интерфейсные состояния могут динамически изменяться под воздействием внешних факторов (температура, механические воздействия, адсорбция газов). Эти динамические изменения могут быть использованы

в ФКА для создания активных функций, таких как сенсоринг или преобразование энергии, путем модуляции локальных потенциалов на границе.

Таким образом, контроль и управление свойствами поверхности и интерфейсных состояний являются критически важными задачами при разработке высокоэффективных ФКА-материалов и устройств.

2.2. Теоретическое обоснование и математическое моделирование

Функциональная контактная активность (ФКА) представляет собой новое направление, основанное на использовании неравновесных процессов на межфазных границах для генерации энергии, сенсоринга и адаптации материалов. В отличие от традиционных подходов, рассматривающих проводники как пассивные носители заряда, ФКА предполагает их активную роль в преобразовании низкопотенциальных флуктуаций (тепловых, электромагнитных, механических) в полезную электрическую энергию. Данная глава посвящена теоретическому обоснованию механизмов ФКА, включая математические модели, описывающие динамическую асимметрию контактной разности потенциалов (КРП), преобразование флуктуаций и термоэлектрические эффекты. Особое внимание уделяется соответствию этих процессов законам классической физики, включая первое и второе начала термодинамики.

2.2.1. Физические основы ФКА.

ФКА опирается на физику межфазных границ в системах металл-металл, металл-полупроводник или полупроводник-полупроводник. Ключевое явление – контактная разность потенциалов (КРП), возникающая из-за различия работ выхода материалов. В классической физике закон Вольта утверждает, что в замкнутой изотермической цепи сумма КРП равна нулю, что исключает генерацию тока без внешнего источника. Однако ФКА использует неравновесные состояния, вызванные внешними или внутренними флуктуациями, которые нарушают это равновесие, создавая динамическую асимметрию КРП. Работа выхода Ф материала определяется энергией, необходимой для удаления электрона из твердого тела в вакуум. Для двух материалов А и В с работами выхода ФА и ФВ КРП на их границе задается как:

$VAB = ФВ – ФА\ e$,

Где:

e – заряд электрона.

В равновесной системе эта разность компенсируется в замкнутой цепи. ФКА предполагает, что внешние воздействия (например, тепловые флуктуации, механические деформации или электромагнитные поля) изменяют ФА или ФВ во времени, создавая временную асимметрию:

$VAB(t) = ФВ(t) – ФА(t)\ e + dVfluct(t)$,

Где:

dVfluct(t) – вклад флуктуаций, зависящий от типа возмущения.

2.2.2. Модель динамической асимметрии КРП.

Динамическая асимметрия КРП возникает из-за временных изменений работы выхода под воздействием флуктуаций. Рассмотрим систему из двух 1 металлов с контактной границей, подверженной тепловым флуктуациям. Температурные колебания вызывают локальные изменения концентрации носителей заряда и уровней Ферми.

Для описания этого процесса используем уравнение Ланжевена:

$dФА(t)\ dt = – ФА(t) – ФА0\ \tau + \xi(t)$,

Где:

ФА0 – равновесная работа выхода,

τ – время релаксации,

$\xi(t)$ – случайная сила, моделирующая тепловые флуктуации с корреляцией:

$\langle\xi(t)\xi(t1)\rangle = 2kTГd(t – t1)$,

Где:

k – постоянная Больцмана,

T – температура,

Г – коэффициент диссипации.

Ток, вызванный динамической асимметрией, можно выразить через разность потенциалов:

I(t) = VAB(t) R + Rint,

Где:

R – внешнее сопротивление,

Rint – внутреннее сопротивление контакта.

Средняя мощность, выделяемая в нагрузке, определяется как:

P = (I(t) 2)R.

Эта модель показывает, что асимметричные барьеры на межфазной границе могут преобразовывать случайные флуктуации в направленный ток, что согласуется с исследованиями по тепловым расчётам.

2.2.3. Преобразование тепловых флуктуаций.

Преобразование тепловых флуктуаций в электрическую энергию – один из ключевых механизмов ФКА. Рассмотрим контакт двух металлов с различными термоэлектрическими коэффициентами Зеебека (SA, SB). При локальном нагреве границы раздела возникает термоэлектрическая ЭДС:

Vthermo = (SB – SA)dT,

Где:

dT – температурный градиент.

В системах ФКА dT может быть вызван тепловыми флуктуациями, а не внешним источником. Для оценки тока используем модель переноса заряда через асимметричный барьер:

I = q kT интеграл J(E)f(E, T)A(E) dE,

Где:

J(E) – спектральная плотность тока,

f(E, T) – функция распределения Ферми-Дирака,

A(E) – коэффициент пропускания барьера, зависящий от его асимметрии.

Для количественной оценки эффективности преобразования рассмотрим энергетический баланс.

Входная энергия тепловых флуктуаций определяется как:

Qfluct = kT * df, 2

Где:

df – полоса частот флуктуаций.

КПД преобразования:

η = Pout Qfluct = (I 2)R kT * df .

Эта модель подтверждает, что преобразование возможно только при наличии асимметричных барьеров и неравновесных условий, что согласуется со вторым началом термодинамики.

2.2.4. Емкостная термоэлектрическая батарея.

Емкостная термоэлектрическая батарея (раздел 5.7) комбинирует термоэлектрический эффект с накоплением заряда. Рассмотрим систему из N металлических термопар, соединённых с конденсатором емкостью C. Термоэлектрическая ЭДС каждой пары:

Vi = (SB,i – SA,i)dTi .

Общая ЭДС системы:

Vtotal = сумма N i=1 Vi .

Заряд, накопленный на конденсаторе:

Q = CVtotal

а энергия:

E = 1 2 CV 2 total.

КПД системы определяется как: $\eta = E\ Qin$,

Где:

Qin – входная тепловая энергия.

Для металлических термопар ($S = 1–10\ \mu V/K$) и $dT = 1–10$ K выходная мощность ограничена, но использование емкостных накопителей позволяет интегрировать энергию во времени, повышая эффективность.

2.2.5. Соответствие законам термодинамики.

Критика ФКА часто связана с возможным нарушением закона Вольта и второго начала термодинамики. Однако предложенные механизмы не противоречат этим законам, так как:

1. Генерация ЭДС происходит за счет неравновесных состояний, вызванных внешними или внутренними флуктуациями, а не в равновесной системе.

2. Преобразование флуктуаций требует асимметричных барьеров, что соответствует принципу расчёта и не нарушает энтропийный баланс.

3. Энергия, преобразованная в электрическую, извлекается из окружающей среды (тепловые, механические или электромагнитные поля), что согласуется с первым началом термодинамики.

Для строгого доказательства рассмотрим энтропийный баланс. Изменение энтропии системы: $dS = Qfluct\ T - Pout\ Teff$,

Где:

Teff – эффективная температура нагрузки.

При $n < 1$ энтропия возрастает, что удовлетворяет второму началу.

2.2.6 Выводы.

Предложенные модели демонстрируют, что ФКА основана на использовании неравновесных процессов и асимметричных барьеров для преобразования флуктуаций в полезную энергию. Математическое описание динамической асимметрии КРП, термоэлектрических эффектов и емкостного накопления энергии подтверждает физическую реализуемость предложенных механизмов. Эти модели требуют дальнейшей экспериментальной верификации, но они обеспечивают прочную основу для понимания ФКА в рамках классической физики.

Глава 3. Функционально – активные контактные материалы и системы

В предыдущих разделах мы заложили теоретические основы концепции функциональной контактной активности (ФКА), представляющей собой принципиально новый взгляд на электропроводящие материалы как на активные и интеллектуальные компоненты, способные к самогенерации энергии и адаптации. Глава 3 посвящена детальному рассмотрению практической реализации этих идей – функционально-активным контактным материалам и системам, которые воплощают принципы ФКА.

Здесь будут подробно изучены две основные категории таких систем: металлические проводники с функциональной контактной активностью и гибридные системы с функциональной контактной активностью. Мы разберем их уникальные свойства, механизмы работы, основанные на динамической асимметрии множества контактных разностей потенциалов, а также их способность преобразовывать различные виды внешних флуктуаций в полезную электрическую энергию. Кроме того, в главе будут представлены способы управления функциональной контактной активностью, что открывает широкие перспективы для создания инновационных, энергоэффективных и автономных устройств и систем в различных областях науки и техники.

3.1. Металлический проводник с функциональной контактной активностью

Проводник с последовательной знакопеременной контактной разностью потенциалов – это инновационное техническое решение, состоящее из последовательно соединенных сегментов разнородных металлов, см. Рис. 1.

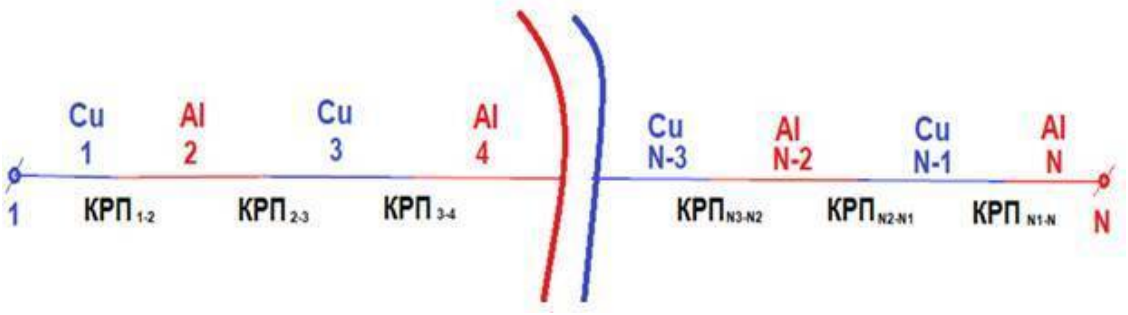

Рис. 1. Схема проводника с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Работа проводника основывается на уникальных свойствах переходов между разнородными металлами, которые в такой структуре становятся чувствительными к внешним воздействиям, таким как тепло, электромагнитные и электростатические поля.

Вариант исполнения проводника с последовательной знакопеременной контактной разностью потенциалов представлено на следующем Рис.унке.

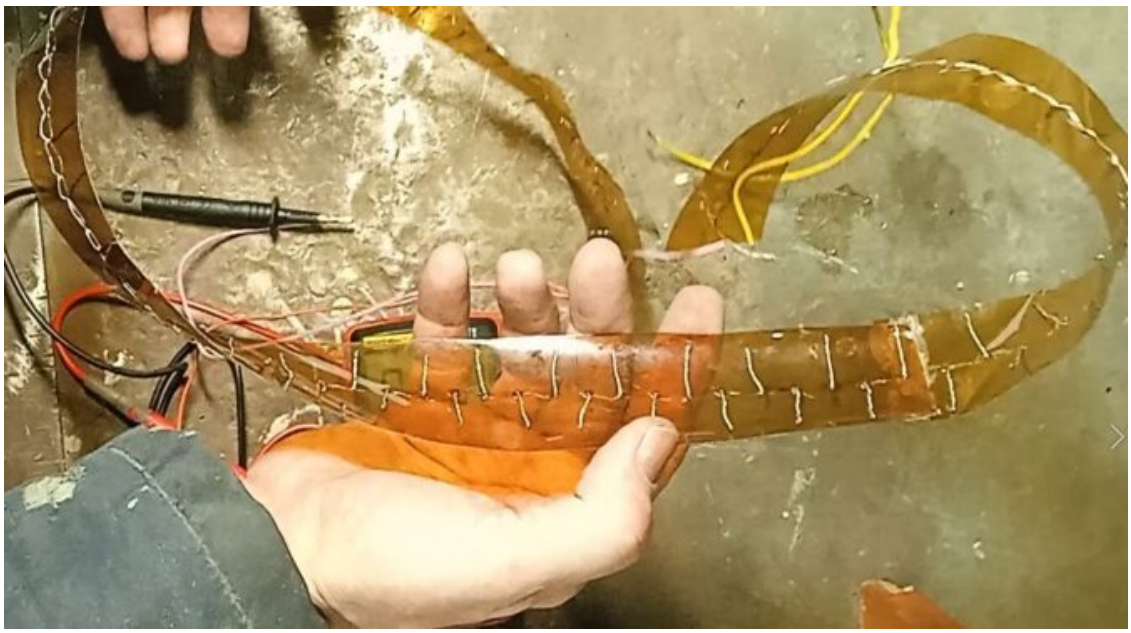

Рис. 2. Проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Механизм работы

Работа проводника с последовательной знакопеременной контактной разностью потенциалов основывается на сложных взаимодействиях, внутри переходов между разнородными материалами и между такими переходами, которые перераспределением потенциалов откли-

каются на внешние температурные, электромагнитные или электростатические поля. В таком проводнике проявляются следующие интереснейшие свойства:

Проводник без внешнего теплового воздействия проявляет термоэлектрические эффекты благодаря внутреннему перераспределению тока и местным изменениям температуры. Это позволяет системе адаптивно собирать естественный тепловой шум и использовать его для генерации напряжения.

Контур из такого проводника при взаимодействии с электромагнитными полями увеличивает выходное напряжение на величину, зависящую от перераспределения токов между переходами разнородных материалов.

Замкнутый контур такого проводника проявляет небольшой градиент напряжений и температур в замкнутой структуре проводника. Это противоречит классической теории, которая предполагает нулевую ЭДС в замкнутом контуре, и подтверждает, что в системе происходит стохастическое перераспределение микроскопических тепловых флуктуаций.

Взаимодействие с электростатическими полями приводит к перераспределению потенциалов меду переходами, что проявляется в наведении дополнительной ЭДС на границах контактов различных металлов.

Большое количество точек с контактной разностью потенциалов на единице длинны проводника позволяет определять место изменения термодинамического равновесия на поверхности или в объёме. Для этого в проводник подают электрический импульс с известными временными и амплитудными характеристиками и сверяют его с выходным импульсом.

Большое количество точек с контактной разностью потенциалов на единице длинны проводника позволяет управлять небольшим локальным изменением температуры отдельных контактных разностей потенциалов на плоскости или в объёме. Для этого в проводник подают с обоих сторон электрические импульсы с определёнными фазовыми соотношениями.

Заключение.

Благодаря сложным взаимодействиям тепловых, электронных и электромагнитных процессов на границах контактов различных металлов, металлический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов способен генерировать микровольты напряжения, используя не только внутренние, но и внешние энергии, что открывает новые перспективы для создания энергоэффективных устройств и систем, а также управлять или диагностировать локальными изменениями температур на плоскостях или в объёме.

3.2. Гибридные системы с функциональной контактной активностью

В предыдущем разделе мы подробно рассмотрели принципы работы и уникальные свойства металлических проводников со знакопеременной контактной разностью потенциалов, демонстрирующих способность к генерации энергии и сенсингу на основе динамических контактных явлений. Развивая эту концепцию, гибридные системы с функциональной контактной активностью представляют собой следующий шаг в эволюции ФКА-материалов. Они расширяют диапазон используемых интерфейсов, включая контакты "полупроводник – металл" и "полупроводник – полупроводник", что открывает новые возможности для управления энергетическими и сенсорными характеристиками, а также для интеграции в более сложные электронные архитектуры "Полупроводник – Металл" и "Полупроводник – Полупроводник" .

Направление "Полупроводник – Металл" фокусируется на использовании интерфейсов между полупроводниками и различными металлами для создания активных систем, способных генерировать электрическую энергию и проявлять сенсорные свойства в условиях, ранее считавшихся статическими.

Рассмотрим альтернативу последовательному соединению КРП – гексагональную топологию гибридной системы с узловыми точками КРП.

Узловые точки в гексагональной топологии функционируют как критические интерфейсы, формируя контактные разности потенциалов между тремя различными материалами. Эти точки обеспечивают множественное сопряжение, генерируя контактные потенциалы одновременно для нескольких соседних контуров (например, для шести), что является основой для функциональной активности системы.

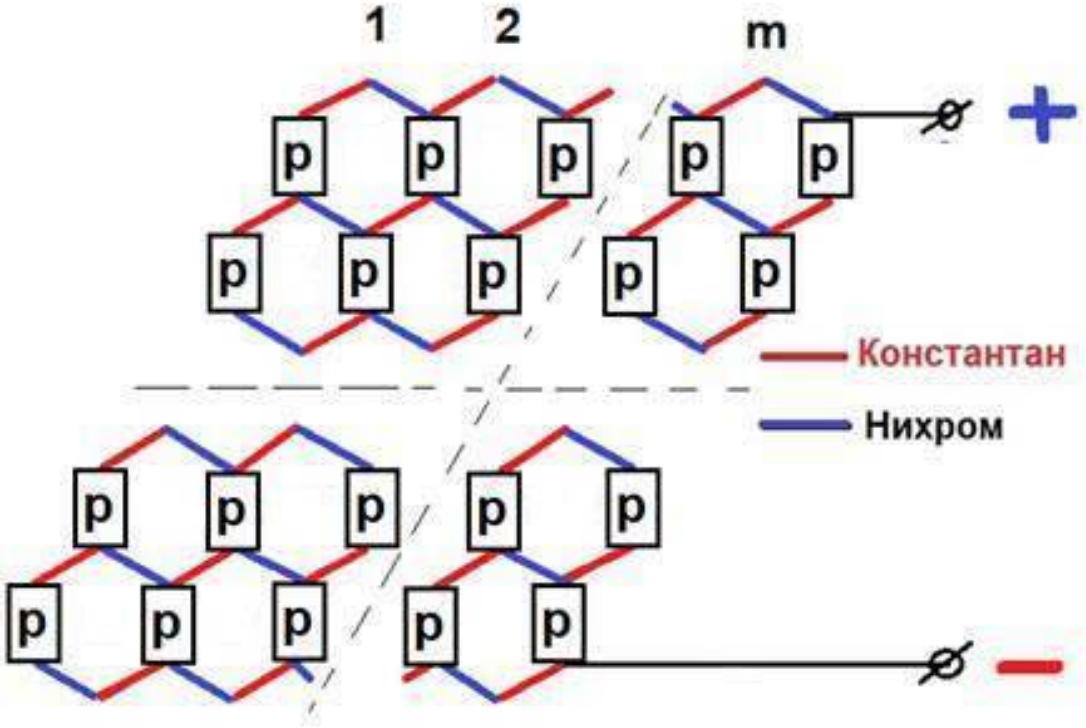

Рис. № 3. Гексагональная топология направления "полупроводник – металл"

Традиционная физика утверждает, что в условиях термодинамического равновесия сумма контактных разностей потенциалов в замкнутой цепи равна нулю (закон Вольта), и они не могут служить источником энергии. Однако, как показывает практика, материалы с функциональной контактной активностью способны обходить эти ограничения, создавая временные токовые асимметрии и генерируя устойчивую ЭДС. В полупроводниках это достигается не только за счет микроразниц температур или градиентов, но и благодаря уникальной способности их объемного заряда взаимодействовать с внешними полями.

Ключевая роль в полупроводниках с функциональной контактной активностью отводится:

1. Барьерной и диффузионной емкостям p-n перехода.
2. Переход – металл-полупроводник.

Рассмотрим эти направления подробно.

1. Барьерная и диффузионная емкости p-n перехода.

Направление "Полупроводник – Полупроводник" предполагает создание активных систем, где основными функциональными элементами являются непосредственные контакты между различными полупроводниковыми материалами, интегрированными в аналогичную гексагональную топологию.

Барьерная и диффузионная емкости p-n перехода способны накапливать электрический заряд из окружающей среды, например, от электрического поля Земли, не на обкладках, как это происходит в классическом конденсаторе, а непосредственно в объеме p-n перехода.

Воздействие внешних электрических и/или магнитных полей приводит к изменению работы выхода полупроводников и металлов на контактных границах. Это, в свою очередь, формирует динамическую, временную асимметрию в распределении зарядов и потенциалов внутри системы. Такая асимметрия позволяет создавать направленное движение электрических зарядов и генерировать ЭДС, даже когда система находится в условиях кажущегося термодинамического равновесия, без необходимости внешнего температурного градиента, как у элементов Пельтье. Таким образом, энергия извлекается из флуктуаций или постоянного внешнего поля, которое переводит систему в неравновесное состояние на микроуровне, поддерживая макроскопический ток.

2. Переход – металл-полупроводник.

Это направление исследует "непрямляющие" омические контакты между металлами (константан, нихром, медь) и полупроводниками p-типа, такими как оксид меди (CuO). В отличие от систем с p-n переходами, сам по себе полупроводник p-типа не образует барьерную или диффузионную емкость p-n перехода. Однако эксперименты показывают, что и в таких системах возникают временные токовые асимметрии под воздействием внешних электрических и магнитных полей, а также отдельных электрических зарядов.

Отмечена электростатическая аномалия, проявляющаяся в сильной зависимости выходного напряжения от местоположения наблюдателя и ориентации системы в магнитном поле Земли. В некоторых случаях наблюдались переменные компоненты выходного напряжения с частотой 0.5–1 Гц. Эти наблюдения указывают на активное взаимодействие контактной активности с окружающим электростатическим полем, что приводит к формированию асимметрий.

3.3. Способы управления функциональной контактной активности

Для полной реализации потенциала функциональной контактной активности (ФКА), особенно в приложениях, связанных с точным сенсорингом и локализованным воздействием, необходимо разработать методы адресного управления и диагностики отдельных контактных областей в сложной многоконтактной системе. Традиционные подходы часто сталкиваются с трудностями при локализации эффектов на микроскопическом уровне. Предложенный способ развертки питающего/диагностического напряжения открывает новые возможности для решения этой задачи.

Принцип работы и техническая реализация.

Схематически, способ развертки управляющего/диагностического напряжения в длинном проводнике (электрической цепи) представлен на следующем рисунке.

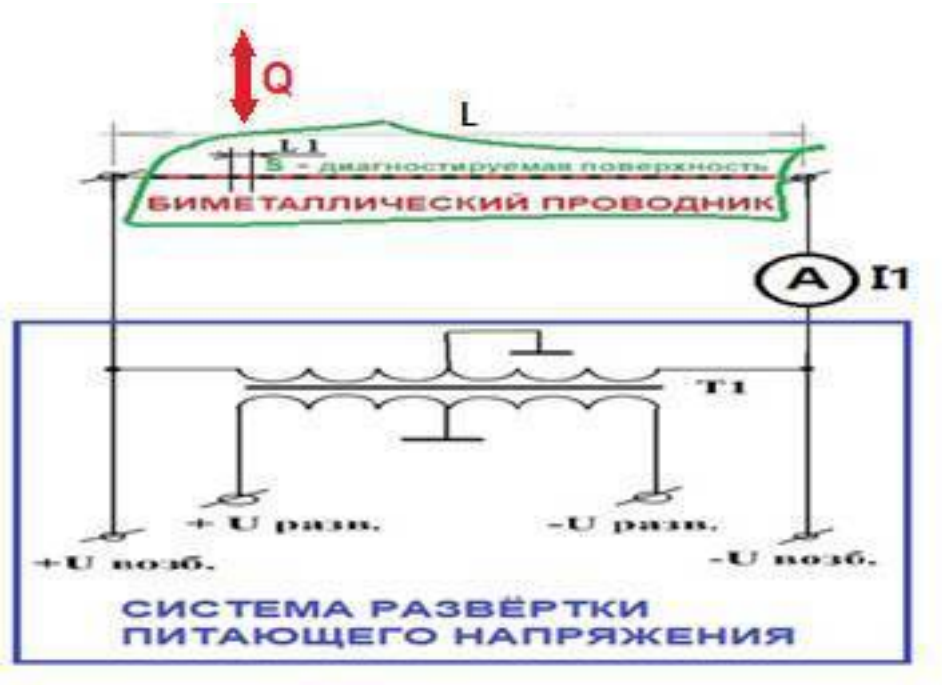

Рис. № 4. Схема реализации способа способ развертки управляющего/диагностического напряжения в длинном проводнике (электрической цепи).

Длинный проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов имеет большое количество точек с контактной разностью потенциалов на единице длинны.

Большое количество точек с контактной разностью потенциалов на единице длины диагностического проводника (L) позволяет точно определять сегмент с КРП с выходом из термодинамического равновесия (нагрев или охлаждение) или наоборот, управлять нагревом или охлаждением заданных сегментов КРП.

Для сканирования каждой точки КРП в биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов, с обоих сторон подают возбуждающие напряжениях противоположной полярности от выходной обмотки специального сканирующего трансформатора T1.

Управлении фазовыми соотношениями двух возбуждающих напряжениях противоположной полярности , прикладываемые с обоих сторон проводника с КРП происходит в сканирующем трансформаторе Т1 с двумя обмотками со средними точками.

Частота возбуждающих напряжений Uвозб. противоположной полярности равной:

F возб. = C / (2*L)

Где:

C – скорость света, м/сек.

L – длина диагностируемого проводника, м.

Таким образом, одновременно в биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов подается с двух сторон напряжение развертки U разв., противоположной полярности с частотой:

Fразв. = (C*L1) / L

Где:

L1 – точность определения места дефекта (Сегмент с КРП), м.

C – скорость света, м/сек.

L – длина диагностируемого проводника, м.

Трансформатор Т1 изменяет фазы двух возбуждающих напряжений разной полярности так, что они встречаются и пересекаются на заданном элементе длины проводника L1.

В каждый такт напряжения возбуждения в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов формируется элемент длинной L1, в котором течет ток с двойным напряжением:

U = 2 * U возб.

График изменения напряжений в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов показан на следующем рисунке.

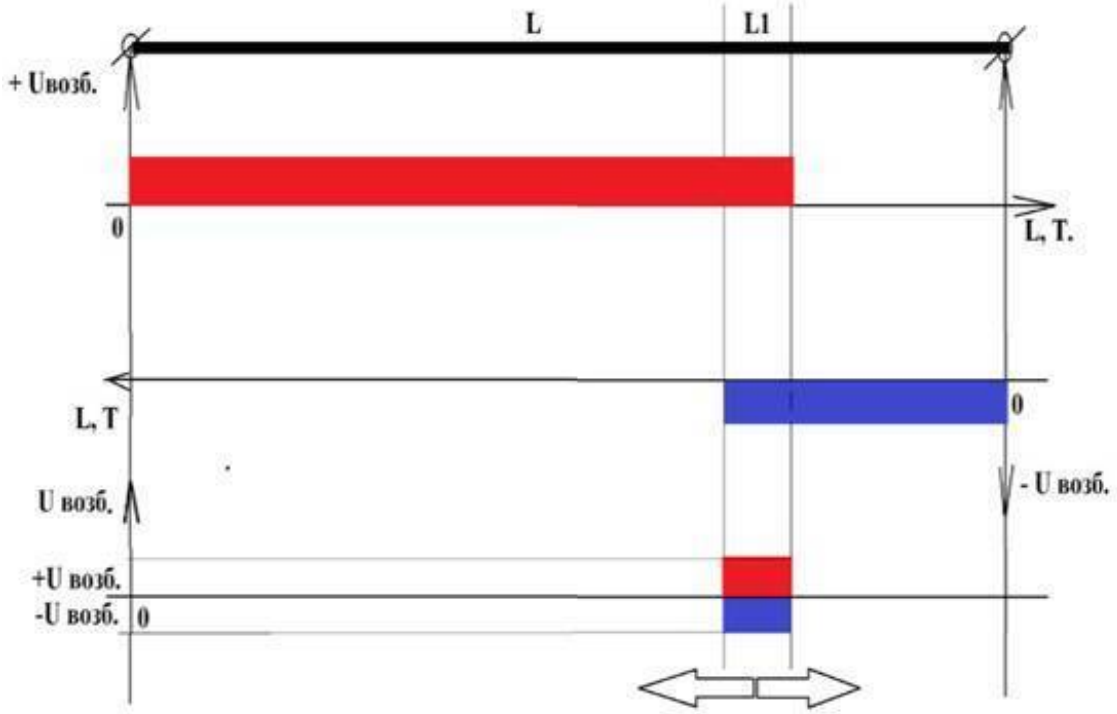

Рис. № 5. График изменения напряжений в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Благодаря управлению фазовыми сдвигами – в каждом такте подачи напряжений возбуждений присутствует строго заданное место L1 в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов общей длинной L, по которому протекает ток с напряжением:

U = 2 * U возб.

При термодинамическом равновесии, протекающее ток в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов равен току, протекающему в обыкновенном металлическом проводнике. Связано это с тем, что при термодинамическом равновесии контактная разность потенциалов на одном “соединении” будет всегда компенсироваться точно такой же контактной разностью потенциалов на следующем “соединении”. Две одинаковые контактные разности потенциалов всегда направлены в разные стороны – если обходить электрическую цепь по кругу.

1. Диагностика состояния (“чтение”) заданного сегмента КРП в материале с функциональной контактной активностью (проводнике с знакопеременной КРП).

Система развертки напряжения позволяет сформировать локализованный участок L1 в биметаллическом проводнике, по которому в определенный момент протекает ток с удвоенным напряжением возбуждения (U=2·Uвозб.). Именно этот принцип лежит в основе как активного управления температурой, так и ее диагностики.

Принцип обнаружения отклонения от термодинамического равновесия.

В условиях термодинамического равновесия (т.е. когда температура по всей длине проводника однородна и отсутствуют внешние возмущения, влияющие на контактные потенциалы) контактные разности потенциалов (КРП) в ЗКРП-проводнике взаимно компенсируются. Это означает, что при обходе замкнутой цепи суммарная термо-ЭДС будет равна нулю, и протекающий ток определяется только приложенными внешними напряжениями и сопротивлением проводника.

Однако, если определенный сегмент L1 выходит за пределы термодинамического равновесия – например, подвергается локальному нагреву, охлаждению или даже механической деформации, которая может вызвать термоупругий эффект и локальное изменение температуры – ситуация кардинально меняется. В этом конкретном сегменте L1, который в своей основе является цепочкой микротермопар, возникает дополнительная термо-ЭДС. Эта ЭДС порождается разницей температур (или другими факторами, влияющими на КРП) между данным сегментом и соседними, или в пределах самого сегмента.

Механизм "чтения" (детектирования).

Ключевой момент в процессе диагностики наступает в тот такт сканирования, когда именно по сегменту L1, вышедшему из равновесия, протекает максимальный диагностический ток с удвоенным напряжением возбуждения (U=2·Uвозб.). В этот момент дополнительная термо-ЭДС, возникшая в L1, начинает активно взаимодействовать с проходящим через него током.

Изменение общего тока.

Эта дополнительная ЭДС, действующая как микро-источник напряжения, будет либо усиливать, либо ослаблять общий ток, протекающий в биметаллическом проводнике, в зависимости от ее полярности и направления относительно приложенного напряжения.

Диагностический маркер.

Таким образом, диагностическим маркером локального изменения температуры (или другого возмущения, влияющего на КРП) на участке длиной L1 будет являться степень изменения общего тока, протекающего в биметаллическом проводнике со знакопеременной контактной разностью потенциалов. Это изменение будет регистрироваться в тот момент времени, когда сканирующий импульс проходит именно через данный сегмент L1. Сравнивая значение

тока в момент "освещения" сегмента L1 с токами, протекающими через другие, равновесные участки L2,L3 и т.д., можно точно локализовать и количественно оценить аномалию.

Высокая пространственная точность и разрешающая способность.

Уникальность этого метода заключается в его способности к прецизионной локализации. Точность определения места аномалии (L1) определяется частотой развертки и может быть доведена до нескольких диаметров самого проводника. Это позволяет создавать "термо-карты" поверхности или объема с очень высоким разрешением, выявляя даже небольшие температурные градиенты или "горячие/холодные точки".

2. Нагрев/охлаждение заданного сегмента КРП в материале с функциональной контактной активностью (проводнике с знакопеременной КРП).

Управление нагревом/охлаждением заданных сегментов КРП осуществляется таким же образом.

Благодаря точному управлению фазовыми сдвигами возбуждающих напряжений в биметаллическом проводнике со знакопеременной контактной разностью потенциалов (ЗКРП), формируется строго локализованный сегмент длиной L1. По этому сегменту протекает ток с удвоенным напряжением возбуждения (U=2·Uвозб.). Именно этот локализованный, усиленный электрический ток становится ключевым фактором для активного управления температурой.

Механизм локализованного нагрева (эффект Джоуля).

Когда по заданному сегменту L1 протекает электрический ток с высоким напряжением (и, соответственно, значительной плотностью тока), неизбежно происходит выделение джоулева тепла. Количество выделяемого тепла QJ прямо пропорционально квадрату тока I, сопротивлению R сегмента и времени t:

QJ=I2·R·t.

Поскольку в сегменте L1 ток значительно выше, чем в остальных частях проводника, выделение тепла будет максимально локализовано именно в этой области. Это позволяет добиться быстрого и контролируемого повышения температуры целевого участка.

Механизм локализованного охлаждения (эффект Пельтье).

Знакопеременная контактная разность потенциалов в ЗКРП-проводнике по сути представляет собой последовательность термоэлектрических спаев. При прохождении электрического тока через такой спай возникает эффект Пельтье – поглощение или выделение тепла в зависимости от направления тока относительно термоэлектрического коэффициента спая. Если в сегмент L1 подается ток, который, проходя через последовательность разнородных контактов, вызывает суммарное поглощение тепла (то есть эффект Пельтье работает на охлаждение), то температура этого сегмента будет понижаться. Направление тока, необходимое для охлаждения, будет противоположно тому, которое вызвало бы термо-ЭДС при нагреве (эффект Зеебека). Таким образом, прецизионное управление направлением и величиной тока в заданном сегменте L1 позволяет не только нагревать, но и охлаждать этот участок.

Точность и адресность управления.

Ключевым преимуществом данного метода является его высокая адресность. Благодаря точному управлению фазовыми сдвигами, местоположение сегмента L1 может быть динамически перемещено вдоль всего проводника. Это означает, что возможно не только нагревать/охлаждать одну конкретную точку, но и сканировать поверхность или объем, создавая динамические температурные профили, или воздействовать на множество точек последовательно/параллельно (при использовании более сложных схем сканирования). Точность определения и управления сегментом L1 определяется частотой развертки и скоростью света, что позволяет достигать пространственного разрешения, равного нескольким диаметрам проводника.

Вывод.

Предложенный способ управления является мощным инструментом для точного определения / управления поля градиентов температур на поверхности или в объёме различных объектов. Его реализация требует использования инновационного металлического термопарного проводника, размещенного на исследуемой поверхности или в объеме. Количество термопарных соединений на единицу длины такого проводника будет определять чувствительность и точность локализации температурных аномалий. Этот метод имеет значительный потенциал для применения в различных областях науки и техники, где требуется точный температурный контроль.

3.4. Сравнительный анализ металлических и гибридных ФКА-систем

Рассмотренные в предыдущих разделах металлические проводники со знакопеременной КРП и гибридные системы демонстрируют различные подходы к реализации функциональной контактной активности, каждый со своими преимуществами и областями применения.

Таблица 1.

Характеристика	Металлические ФКА-проводники.	Гибридные ФКА-системы (металл-полупроводник, п-п)
Основные интерфейсы	Металл-металл (ЗКРП).	Металл-полупроводник (барьеры Шоттки), p-n переходы.
Доминирующий эффект	Термоэлектрические явления (Зеебека, Пельтье, Томсона), механо-термические эффекты.	Взаимодействие объемного заряда с полями, емкостные эффекты, термоэлектрические явления.
Источники энергии	Тепловые флуктуации, электромагнитные и электростатические поля, внутреннее перераспределение тепла.	Электрические/магнитные поля, Земли, динамическая асимметрия зарядов.
Особенности	Простота изготовления, высокая механическая прочность, стабильность в широком диапазоне температур.	Расширенные возможности по управлению свойствами за счет свойств полупроводников, интеграция в микроэлектронику.
Типичные применения	Сенсоры температуры, энергосбор из механических вибраций/тепла, диагностика, стабилизация ЛЭП.	Безбатарейные датчики, сбор энергии из ЭМ-полей, активная электроника, биоинтеграция.

3.5. Общие принципы и свойства материалов с функциональной контактной активностью

Независимо от конкретного сочетания материалов (полупроводник-металл или полупроводник-полупроводник), все системы с функциональной контактной активностью объединены рядом ключевых принципов:

Целенаправленное формирование активных интерфейсов.

Проектирование границ раздела внутри материала, где возникают контролируемые контактные потенциалы, реагирующие на внешние стимулы.

Генерация ЭДС от различных флуктуаций.

Способность материалов преобразовывать не только тепловые, но и электромагнитные, электростатические и даже механические флуктуации в полезную электрическую энергию.

Мультифункциональность.

Комбинация функций передачи энергии, генерации, сенсоринга и диагностики в одном материале, что обеспечивает беспрецедентную компактность и эффективность систем.

Адаптивность и самоуправление.

Способность материала самостоятельно реагировать на изменения условий, компенсировать потери, стабилизировать параметры или сигнализировать о своем состоянии.

Уникальные "отпечатки".

Возможность создания специфических "сигнатур" на основе микроструктуры материала для целей идентификации и аутентификации.

Глава 4. Материалы и технологии систем с функциональной контактной активностью

Создание эффективных систем с функциональной контактной активностью (ФКА) требует не только глубокого понимания фундаментальных физических принципов, но и тщательного выбора материалов, а также разработки прецизионных технологий формирования и характеризации их интерфейсов. Эта глава посвящена обзору основных типов материалов, пригодных для ФКА-применений, методов их обработки и соединения, а также ключевых подходов к всесторонней характеризации полученных ФКА-систем.

4.1. Типы материалов для ФКА-применений

Выбор материалов является критически важным этапом при разработке ФКА-систем, поскольку именно свойства контактирующих сред определяют характер и эффективность процессов, протекающих на границах раздела. Для ФКА-применений подходят как классические металлические сплавы и полупроводники, так и новые функциональные материалы.

4.1.1. Металлические сплавы с высокой термоэлектрической эффективностью (хромель, копель, константан) и их комбинации.

Традиционные металлические сплавы, используемые в термопарах, представляют собой основу для многих ФКА-систем, особенно в контексте преобразования тепловой и механической энергии. Их высокая термоэлектрическая эффективность, выражающаяся в значительном коэффициенте Зеебека (термо-ЭДС), делает их идеальными кандидатами для создания контактных генераторов.

Хромель.

Сплав никеля (90%) и хрома (10%). Обладает хорошей термостойкостью и высокой термо-ЭДС в паре с копелем или алюмелем. Широко используется в термопарах типа K.

Копель.

Сплав меди (55%) и никеля (45%). Отличается относительно стабильным термоэлектрическим коэффициентом в широком диапазоне температур и часто используется в паре с хромелем (термопара типа K) или железом (термопара типа J).

Константан.

Сплав меди (55%) и никеля (45%). Подобно копелю, имеет низкий температурный коэффициент электрического сопротивления, но отличается более высокой термо-ЭДС в паре с медью (термопара типа T) или железом.

Комбинации и роль в ФКА.

В ФКА-системах, особенно в структурах, преобразующих тепловую и механическую энергию, применяются биметаллические проводники, изготовленные из последовательно сваренных коротких отрезков хромеля и копеля (или других пар с высокой термо-ЭДС). Именно на границах этих разнородных металлов формируются контактные потенциалы. При локальных динамических изменениях температуры (вызванных, например, термоупругим эффектом при деформации или внешними микроградиентами) или механических воздействиях, эти контакты выступают как активные элементы, генерирующие ЭДС. Высокая термоэлектрическая эффективность этих сплавов позволяет эффективно преобразовывать даже низкопотенциальное тепло или механические колебания.

4.1.2. Полупроводниковые материалы с высокой подвижностью носителей и управляемой концентрацией примесей (кремний, германий, соединения AIII-BV).

Полупроводниковые материалы играют ключевую роль в ФКА благодаря их уникальной способности к управлению концентрацией и подвижностью носителей заряда, а также возможностью создания p-n переходов и барьеров Шоттки.

Кремний (Si).

Наиболее распространенный полупроводник, основа современной микроэлектроники. Его свойства хорошо изучены, а технологии легирования позволяют точно контролировать тип и концентрацию проводимости. Применяется для создания кремниевых интерфейсов в ФКА-системах.

Германий (Ge).

Обладает более высокой подвижностью электронов и дырок по сравнению с кремнием, что делает его перспективным для высокочастотных и низкотемпературных ФКА-устройств.

Соединения AIII-BV (например, GaAs, InP, GaN).

Арсенид галлия (GaAs), фосфид индия (InP) и нитрид галлия (GaN) – это соединения элементов III и V групп периодической таблицы. Они характеризуются высокой подвижностью электрофонтов, широкой запрещенной зоной (для GaN), что позволяет им работать при высоких температурах и мощностях, а также прямым типом запрещенной зоны (для GaAs), что важно для оптоэлектроники. В ФКА-контексте эти материалы могут использоваться для создания высокоэффективных металл-полупроводниковых и полупроводник-полупроводниковых контактов, чувствительных к внешним воздействиям и способных к быстрому преобразованию сигналов.

Роль в ФКА.

В ФКА-системах полупроводники позволяют создавать интерфейсы с управляемой высотой барьера и зоной пространственного заряда, что критично для эффективного преобразования энергии и сенсинга. Их способность к изменению проводимости под воздействием света, температуры, давления или электрического поля делает их идеальными для адаптивных и сенсорных ФКА-устройств.

4.1.3. Новые функциональные материалы: топологические изоляторы, двумерные материалы (графен, MoS2), органические проводники.

Помимо традиционных материалов, новые классы функциональных материалов открывают беспрецедентные возможности для развития ФКА-систем благодаря своим уникальным электронным и структурным свойствам.

Топологические изоляторы (TI).

Это новый класс материалов, которые ведут себя как изоляторы в объеме, но обладают высокопроводящими (бесщелевыми) электронными состояниями на своей поверхности или гранях. Эти поверхностные состояния защищены топологией материала и нечувствительны к локальным дефектам.

Роль в ФКА. Уникальные свойства поверхностных состояний ТИ могут быть использованы для создания крайне эффективных и устойчивых к дефектам контактов, способных к беспрепятственному переносу заряда. Динамическая модуляция этих поверхностных состояний может приводить к новым механизмам генерации энергии или сенсинга.

Двумерные материалы (2D-материалы).

Тончайшие материалы толщиной в один или несколько атомов, такие как графен, дисульфид молибдена (MoS2) и другие дихалькогениды переходных металлов (TMDs).

Графен. Одноатомный слой углерода с уникальной электронной структурой, обеспечивающей исключительно высокую подвижность носителей заряда и термоэлектрические свойства. Его огромная удельная поверхность и гибкость делают его идеальным для создания высокочувствительных контактов и гибких ФКА-устройств.

MoS2 (дисульфид молибдена). Полупроводниковый 2D-материал с регулируемой шириной запрещенной зоны, высокой подвижностью и пьезоэлектрическими свойствами. Может использоваться для создания ультратонких сенсоров и генераторов, чувствительных к деформациям.

Роль в ФКА. 2D-материалы идеально подходят для ФКА-систем благодаря их уникальной электронной структуре, высокой чувствительности к внешним воздействиям (механическим, химическим, электрическим), большой площади поверхности для формирования контактов и возможности интеграции в гибкие устройства.

Органические проводники и полупроводники.

Полимеры и малые молекулы, обладающие электропроводящими или полупроводниковыми свойствами.

Роль в ФКА. Их гибкость, биосовместимость, легкость обработки и возможность синтеза с заданными свойствами делают их привлекательными для носимой электроники, медицинских имплантов и "умных" текстильных ФКА-систем. Органические материалы могут

формировать уникальные интерфейсы с неорганическими проводниками, обеспечивая новые механизмы генерации и сенсоринга.

Комбинации этих новых материалов друг с другом и с традиционными проводниками открывают обширное пространство для дизайна многофункциональных ФКА-систем с настраиваемыми свойствами.

4.2. Методы формирования контактов и интерфейсов

Качество и свойства границ раздела между материалами критически важны для функционирования ФКА-систем. Поэтому выбор и оптимизация методов формирования контактов и интерфейсов являются ключевыми аспектами технологического процесса. Эти методы варьируются от традиционных подходов до передовых техник микро- и нанофабрикации, а также специализированных технологий для интеграции в гибкие матрицы.

4.2.1. Традиционные методы соединения (сварка, пайка, напыление).

Эти методы широко используются в промышленности для создания надежных электрических контактов и механических соединений, и они также применимы для формирования интерфейсов в крупномасштабных ФКА-системах.

Сварка.

Процесс создания неразъемного соединения между двумя материалами путем местного нагрева до расплавленного или пластического состояния, с использованием или без использования давления и присадочного материала. В контексте ФКА, особенно для биметаллических проводников (например, хромель-копель), сварка (например, точечная, дуговая, лазерная) обеспечивает прочное и низкоомное соединение с четко выраженной границей раздела, необходимой для формирования контактных потенциалов.

Пайка.

Метод соединения металлов путем расплавления припоя (металлического сплава с низкой температурой плавления), который смачивает соединяемые поверхности и затвердевает, образуя прочное электрическое соединение. Используется для создания контактов, где сварка невозможна или нежелательна, например, при соединении тонких проволок или чувствительных компонентов. Важно учитывать влияние припоя на формирование интерфейсных состояний.

Напыление (вакуумное напыление, ионно-плазменное напыление, магнетронное распыление).

Процессы нанесения тонких пленок материала на подложку в вакуумной среде. Метод обеспечивает высокую чистоту и контроль толщины пленки, что важно для формирования прецизионных контактов металл-полупроводник или многослойных структур. Например, напыление металлических электродов на полупроводниковые слои для формирования барьеров Шоттки.

Эти традиционные методы обеспечивают прочные и стабильные контакты, но могут быть ограничены в пространственном разрешении и способности создавать сложные наноструктуры.

4.2.2. Методы микро- и нанофабрикации (литография, самосборка, электроосаждение).

Для создания ФКА-систем с контролируемыми характеристиками на микро- и наномасштабе необходимы более прецизионные методы.

Литография (фотолитография, электронно-лучевая литография).

Основные методы микрофабрикации, позволяющие переносить сложные геометрические паттерны с фотошаблона на поверхность подложки. Это критично для создания микро- и наноразмерных электродов, контактов и сенсорных элементов с высокой точностью. Литография обеспечивает контроль над формой и размером контактных областей, что напрямую влияет на их электрические свойства и чувствительность.

Электроосаждение.

Метод нанесения тонких слоев металла или других проводящих материалов из раствора под действием электрического тока. Позволяет создавать покрытия и структуры сложной

формы на проводящих подложках. Может использоваться для формирования многослойных контактных структур с контролируемой толщиной и составом, а также для создания нанопроводов и других элементов с высокой плотностью контактов.

Эти методы позволяют достичь высокой степени миниатюризации и контроля над свойствами интерфейсов, открывая путь к созданию высокоэффективных и компактных ФКА-устройств.

4.2.3. Технологии инкорпорирования в текстильные и гибкие матрицы (вплетение, печать, осаждение).

Для создания носимых и интегрированных ФКА-систем, особенно в контексте "умных" тканей и гибкой электроники, требуются специализированные технологии, которые позволяют встраивать функциональные материалы в текстильные и полимерные матрицы.

Вплетение.

Метод прямого включения проводящих нитей, изготовленных из ФКА-материалов (например, биметаллических проволок) или покрытых ими, в структуру ткани. Это позволяет создавать гибкие и дышащие текстильные сенсоры и генераторы энергии, способные выдерживать многократные деформации без потери функциональности.

Печать.

Использование проводящих чернил или паст, содержащих металлические наночастицы, графен или другие проводящие компоненты, для нанесения электрических цепей и контактов непосредственно на гибкие текстильные или полимерные подложки. Методы печати обеспечивают высокую гибкость дизайна, масштабируемость и относительно низкую стоимость производства.

Трафаретная печать.

Подходит для нанесения толстых слоев проводящих паст для создания электродов и простых цепей.

Струйная печать.

Обеспечивает высокое разрешение и точность для более сложных узоров.

3D-печать.

Позволяет создавать трехмерные структуры с интегрированными ФКА-элементами, обладающими сложной геометрией и функциональностью.

Осаждение.

Нанесение тонких слоев функциональных материалов на текстильные волокна или поверхности ткани.

Нанесение покрытий.

Использование растворов или дисперсий для формирования тонких проводящих слоев.

Окунание.

Пропускание ткани через раствор или дисперсию с последующей сушкой.

Химическое осаждение из раствора.

Безэлектродное осаждение металла на поверхность волокон, что позволяет делать их проводящими.

Эти технологии обеспечивают механическую гибкость, комфорт ношения и возможность массового производства ФКА-систем, интегрированных в повседневные предметы.

Глава 5. Революционные возможности материалов и систем с функциональной контактной активностью

Материалы с функциональной контактной активностью – это не просто шаг вперед, это настоящий квантовый скачок в мир технологий, где привычные "пассивные" компоненты буквально "оживают". Способность этих материалов генерировать энергию из окружающей среды, чувствовать мельчайшие изменения и даже адаптироваться к ним открывает двери для прорывных идей, которые кардинально изменят все области науки и техники.

Давайте рассмотрим, какие конкретные, революционные возможности ФКА-материалы предлагают для нашего будущего:

Энергетика будущего.

Представьте, что устройства больше не нуждаются в розетках или сменных батарейках. Материалы с ФКА делают это реальностью:

Полностью автономные гаджеты и медицинские импланты.

Ваши умные часы или кардиостимулятор могут питаться энергией, которую они собирают прямо из электрического или магнитного поля Земли, тепла вашего тела или даже едва уловимых вибраций. Это устраняет необходимость в зарядке или замене батарей, делая устройства по-настоящему независимыми.

"Живые" энергетические сети.

В будущем целые здания, мосты и дороги могут стать гигантскими энергогенерирующими структурами. Интегрированные в них материалы будут преобразовывать рассеянную энергию окружающей среды в полезное электричество, снижая зависимость от централизованных электростанций и создавая децентрализованные, устойчивые сети.

Самоподзаряжающиеся электромобили и роботы.

Представьте автомобиль, который пополняет заряд батареи, просто стоя на "умной" дороге, или робота, который собирает энергию с каждого своего шага. Материалы, интегрированные в обмотки электродвигателей, также могут самокомпенсировать потери и повышать КПД, делая электромашины будущего не просто эффективнее, а "умнее".

Интеллектуальные сенсоры и интернет вещей.

Эти материалы способны совершить революцию в мире датчиков, делая их более чувствительными, компактными и, главное, полностью автономными:

Непрерывный мониторинг без батарей.

Материалы позволяют создавать сверхчувствительные, безбатарейные датчики, способные мониторить температуру, влажность, давление, состав воздуха, наличие химических веществ, радиационный фон, а также электростатические и магнитные поля в режиме реального времени. Они сами себя питают, используя энергию флуктуаций окружающей среды.

Распределенные "нервные системы" для инфраструктуры.

Встроив такие датчики в конструкции зданий, мостов или трубопроводов, мы сможем создать "умные" сети, которые постоянно "чувствуют" и "сообщают" о своём состоянии. Это позволит мгновенно выявлять мельчайшие дефекты, предотвращать катастрофы и оптимизировать обслуживание.

Гиперчувствительная медицинская диагностика.

Биосовместимые сенсоры смогут интегрироваться в тело для непрерывного и точного мониторинга жизненно важных показателей, обнаруживая заболевания на самых ранних стадиях без необходимости инвазивных процедур или внешнего питания.

Умные материалы и производство.

Граница между "материалом" и "устройством" размоется, порождая принципиально новые возможности:

Материалы, меняющие форму и свойства "по желанию".

Композиты, содержащие элементы, могут реагировать на внешние электрические или магнитные поля, изменяя свою жесткость, форму или даже цвет. Это полезно для создания адаптивных покрытий, интеллектуальных робототехнических элементов или саморегулирующихся конструкций.

Самодиагностирующиеся и саморемонтирующиеся конструкции.

Здания, самолёты или транспортные средства, построенные из таких материалов, смогут самостоятельно мониторить своё структурное состояние, предупреждать о возможных отказах и даже инициировать процессы самовосстановления микроповреждений.

Энергоэффективное аддитивное производство.

Принципы ФКА могут быть применены в 3D-печати и других методах производства, позволяя создавать компоненты с встроенными активными функциями и снижать энергозатраты на их изготовление.

Робототехника и искусственный интеллект.

ФКА-материалы могут радикально изменить взаимодействие роботов с миром и их энергетическую независимость:

"Электронная кожа" с реалистичным осязанием.

Разработка высокочувствительных тактильных сенсоров, встроенных в покрытие роботов и протезов, обеспечит им реалистичное осязание и позволит собирать энергию от движения, делая их более автономными и адаптивными.

Роботы, подзаряжающиеся от окружающей среды.

Полностью автономные роботы, способные питаться от окружающих полей, вибраций или температурных флуктуаций, что значительно расширит их возможности в исследованиях труднодоступных мест или длительных миссиях.

Интуитивное взаимодействие человека и машины.

Разработка новых интерфейсов, реагирующих на биоэлектрические сигналы или тонкие изменения окружающей среды, для более естественного и прямого управления устройствами.

Медицина и здравоохранение.

Применение материалов в медицине сулит настоящую революцию в диагностике, лечении и повседневном уходе за здоровьем:

Имплантируемые датчики без срока службы батареи.

Создание автономных, биосовместимых сенсоров для непрерывного мониторинга жизненно важных показателей (уровень глюкозы, артериальное давление, активность нейронов) без необходимости во внешнем питании или регулярной замене, что повышает безопасность и комфорт для пациентов.

Новое поколение носимой электроники.

Сверхлегкие и энергоэффективные устройства, способные собирать энергию от движений и тепла тела, предоставляя непрерывные данные о здоровье и фитнесе без забот о зарядке.

"Умные" бинты и пластыри.

Разработка терапевтических повязок, которые не только мониторят состояние раны или кожи, но и активно способствуют заживлению, генерируя локальные электрические поля или высвобождая вещества, стимулирующие регенерацию.

Безопасность и верификация.

Эти материалы могут предложить беспрецедентные уровни безопасности и защиты от подделок:

Физические невзламываемые идентификаторы.

Использование уникальных и неповторимых реакций ФКА-материалов для создания физических "отпечатков" электронных компонентов. Эти "отпечатки" невозможно скопировать или подделать, что обеспечивает надежную аутентификацию устройств и защиту от контрафакта.

Системы аутентификации нового поколения.

Разработка инновационных методов контроля доступа, основанных на уникальных сигнатурных откликах материалов, что повысит безопасность в различных сферах от финансовых операций до государственных систем.

Защита от контрафакта.

Интеграция элементов в продукты и упаковку для создания надежных, легко проверяемых физических маркеров, обеспечивающих подлинность и предотвращающих распространение подделок.

Фундаментальная наука.

Помимо практических применений, исследования ФКА-материалов бросают вызов устоявшимся научным парадигмам, открывая новые горизонты в фундаментальной физике:

Новые теории термодинамики открытых систем.

Феномены генерации энергии в условиях, близких к термодинамическому равновесию, требуют переосмысления классических законов и разработки новых теоретических моделей, объясняющих эти процессы.

Исследование квантовых эффектов на макроуровне.

Взаимодействие материалов с внешними полями на уровне контактных потенциалов может выявить новые аспекты квантовых явлений, проявляющихся в масштабах, доступных для экспериментального изучения.

Таким образом, материалы с функциональной контактной активностью предвещают эру, когда технологии станут более интуитивными, самодостаточными и интегрированными в окружающий мир, открывая путь к совершенно новому поколению инноваций.

5.1. Способ повышения КПД электромагнитных машин на основе функциональной контактной активности

Предложен метод повышения КПД электромагнитных машин (электродвигателей, генераторов, трансформаторов) с использованием биметаллических проводников с чередующейся контактной разностью потенциалов (ЗКРП). Этот материал генерирует дополнительную электродвижущую силу (ЭДС) за счёт синергии электромагнитной индукции и термоэлектрических эффектов в переменном токе. Метод основан на циклической тепловой релаксации, минимизирующей потери тепла и вихревых токов. Экспериментальный прототип трансформатора с ЗКРП-проводниками показал увеличение КПД на 5–10% по сравнению с традиционными материалами.

Современные электромагнитные машины достигли высокого КПД (85–95%), но дальнейшее его повышение ограничено потерями на нагрев, вихревые токи и неэффективное использование флуктуаций температуры. Традиционные обмотки из однородных материалов (например, меди) не задействуют локальные термодинамические эффекты.

Предлагаемый метод использует биметаллические проводники с ЗКРП (например, нихром/константан), которые создают локальную ЭДС за счёт контактной разности потенциалов (КРП) и термоэлектрических явлений. Это позволяет снизить потери и повысить КПД, особенно в режимах переменного тока.

Исполнение и принцип действия.

Схематически биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов представлен на Рис. 6.

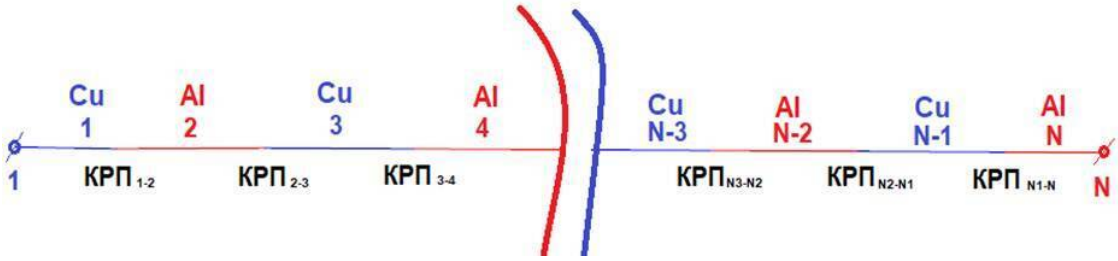

Рис. 6. Биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов (ЗКРП) представляет собой цепь, собранную из последовательно соединённых разнотипных материалов (например, медь–алюминий, сталь–медь, константан–алюмель и др.), между которыми возникает тонкая контактная разность потенциалов (порядка 1,5–40 мкВ на соединение). В обычных условиях сумма всех КРП по закону Вольта компенсируется, и такой проводник нельзя считать источником энергии.

Однако ситуацию можно кардинально изменить при введении в систему распределённого источника ЭДС, аналогичного подходу, используемому в термобатареях или модулях Пельтье, где ЭДС от каждой пары элементов суммируется последовательно.

В случае электромагнитной индукции в проводнике (катушке) из биметаллического проводника с знакопеременной контактной разностью потенциалов возможны два аспекта возникновения дополнительной ЭДС.

В момент максимальной электромагнитной индукции каждое "Соединение" с КРП действует как энергетическая ступень, сдвигающая уровень напряжения и формирует неравномерный тепловой профиль.

В момент минимальной электромагнитной индукции каждое "Соединение" с КРП возвращается к термодинамическому равновесию, при этом возникает микроскопическая ЭДС, аналогичная эффекту Зеебека.

Рассмотрим принцип действия каждый из них.

Энергетическая ступень, сдвигающая уровень напряжения, создаваемого индукцией и формирует неравномерный тепловой профиль.

В качестве такого источника индивидуального внешнего напряжения (отдельной ЭДС) для каждого “соединения” с контактной разностью потенциалов (КРП) может быть использован виток (или сегмент витка) электрической катушки. Под действием внешнего магнитного поля в каждом витке, помещённом между двумя переходами с КРП, возникает индукционная ЭДС. Важно, что величина этой наведённой ЭДС может быть одинаковой в каждом витке при равномерном магнитном поле и одинаковой геометрии, то есть система становится аккумулятивной: локальные ЭДС не гасят друг друга, а последовательно усиливаются.

Каждое "соединение" с КРП действует как энергетическая ступень, сдвигающая уровень напряжения, создаваемого индукцией. В целом формируется «лесенка» напряжения: ЭДС от каждого элемента системы сдвигается вверх под воздействием КРП, и выходное напряжение на макроуровне становится суммой всех этих сдвигов.

Можно возразить, что в привычном термоэлектрическом контуре контактная разность потенциалов одного медно-железного перехода точно компенсируется второй – с противоположным знаком. Однако ключевым отличием данной конструкции является наличие распределённой внешней ЭДС (на каждый виток), за счёт которой:

– Во-первых, сдвиг напряжения вверх становится направленным и накапливаемым.

– Во-вторых, влияние компенсирующих КРП становится асимметричным, поскольку на каждый участок действует внешняя наводимая сила.

Из-за того, что величина внешней наведённой ЭДС на витке значительно превышает величину элементарной КРП в паре металлов (на порядок и более), отрицательное влияние последующей КРП с противоположным знаком становится пренебрежимо малым при первом приближении.

Таким образом, при формировании замкнутого контура из витков с КРП и наведённой ЭДС в каждом звене, становится возможным формирование на выходе стабильного, интегрального напряжения, кратного числу активных пар «КРП + виток с индукцией».

Также, при протекании переменного тока в катушке из такого проводника, каждый виток, содержащий хотя бы два спая разнородных металлов, формирует неравномерный тепловой профиль.

– В фазе максимальной электромагнитной индукции (пики тока) чётные спаи нагреваются за счёт Джоулева тепла, а нечётные охлаждаются.

Возврат к термодинамическому равновесию, при этом возникает микроскопическая ЭДС, аналогичная эффекту Зеебека.

В переходной фазе (в момент прохождения током через ноль) наблюдается попытка системы вернуться к термодинамическому равновесию, при этом возникает микроскопическая ЭДС, аналогичная эффекту Зеебека.

Эта ЭДС – не постоянная. Она проявляется только в системе, выведенной из равновесия и обладающей нелинейно распределённой тепловой ёмкостью между «спаями» с чередующимся КРП.

В результате формируется конструктивное накопление напряжения на микроскопическом уровне вдоль всей обмотки:

Индуктивная ЭДС возбуждает ток и нагревает/охлаждает разнородные «спаи». КРП реагирует на фазовую разницу теплового распределения. Эффект многократно усиливается по цепочке витков.

Здесь уместна аналогия с термобатареями. В термобатареях (например, Пельтье- или Зеебек-генераторах) преобразование тепла в электричество возможно только при наличии внешнего теплового градиента. В случае обмотки из ЗКРП-проводника в режиме переменного тока такой температурный градиент создаётся автоматически в каждом цикле – за счёт несимметричного теплового отклика металлических пар на разворот тока и фильтрацию тепловых флуктуаций. Таким образом, обмотка начинает работать как «динамическая термобатарея», с синхронизацией процессов генерации и нагрева.

Итоговый эффект на КПД.

– дополнительная ЭДС увеличивает амплитуду итогового напряжения;

– стохастическая генерация снижает потребность в реактивной мощности;

– рекуперация тепла усиливает охлаждение активных участков;

– подстройка фазы распределения температуры улучшает общую энергетическую согласованность.

Оценки показывают, что при использовании оптимизированной конфигурации проводника (до 20 КРП/м) реальный прирост выходной ЭДС может достигать 3–7% без существенного изменения массы или габаритов машины. Это особенно актуально для компактных генераторов, БПЛА, военных и космических электросистем.

Конструктивные особенности и реализация.

– Возможность намотки катушки из ЗКРП-проводника поверх существующей архитектуры сердечника;

– Сегментная модернизация обмоток без замены магнитопровода;

– Перспективы на создание модульных обмоток с заданными алгоритмами фазовых расслоений.

Здесь может возникнуть резонный вопрос. В максимуме ЭДС дополнительно нагревает КРП, тратится энергия. В минимуме ЭДС КРП отдают энергию. Получается, что прироста энергии не должно быть. Если ЭДС, наведённая в катушке по закону Фарадея, зависит только от магнитного потока и геометрии (а не от материала провода), то за счёт чего катушка из биметаллического проводника с чередующейся КРП может отдавать больше энергии?

Ответ – по порядку:

Наведённая ЭДС не зависит от материала обмотки. В классической формулировке закона электромагнитной индукции Фарадея:

$e = -d\Phi/dt$,

где:

– e – индуцированная ЭДС,

– Ф – магнитный поток через виток.

Значения e одинаковы как для медной катушки, так и для катушки из проводника с КРП, если:

– количество витков одинаково,

– форма витков и магнитное поле одинаковы,

– перемагничивание происходит с одинаковой скоростью.

Величина ЭДС индукции на витке не зависит от материала провода. Различие в отдаваемой энергии – не в самой ЭДС, а в распределении и преобразовании энергии внутри проводника.

Индуцированная ЭДС – это переменный сигнал, заставляющий ток течь через цепь. Но (и это ключ!) – разные материалы по-разному реагируют на этот ток.

В обычной медной катушке весь ток преобразуется в:

– полезную работу во внешней цепи,

– и потери (на омическое сопротивление и нагрев).

Вариант с биметаллическими КРП имеет дополнительную возможность:

– на каждом спае возникает температурный градиент при силовом токе (нагрев в пике, охлаждение в нуле),

– что создаёт локальное нарушение термодинамического равновесия внутри проводника,

– и, как следствие, появляются термоэлектрические эффекты – дополнительная микроскопическая ЭДС, аналогичная эффекту Зеебека.

В момент падения тока (окрестность «нуля») КРП-структура начинает работать как множество термопар, которые добавляют небольшую собственную ЭДС в цепь – согласованно по фазе с внешней. Это и формирует эффект «отдачи» – появление дополнительных энергетических микропульсов, которых нет в одно материальной катушке.

Это увеличивает общую отдаваемую энергию, несмотря на одинаковую ЭДС по индукции, потому что катушка с КРП получает те же 100 единиц энергии по индукции, но:

– на потери уходит меньше, т.к. частично энергия тепловых флуктуаций рекуперируется,

– а полезная отдача оказывается больше: примерно 103–107 единиц (реально 3–7% прироста – как показывают расчёты и эксперименты).

Это достигается за счёт захвата рассеянной тепловой энергии и её обратного преобразования в электричество – на каждом микроспае при переходе от нагрева к охлаждению.

Этого нет в медной катушке, потому что:

– материал однороден – нет КРП (контактной разности потенциалов),

– нет точек с низко инерционным тепловым градиентом (нет условий для возникновения термо-ЭДС),

– физически нечему «возвращать» энергию из тепла в напряжение.

То есть при одинаковой индуцированной ЭДС медная катушка даёт только ту энергию, которую навело магнитное поле, без самовозбуждающегося термоэлектрического "довеска".

Таким образом, добавка к отдаче в катушке с КРП возникает не за счёт увеличения значения индуцированной ЭДС, а за счёт:

– появления дополнительной термоэлектрической ЭДС на границах разнородных металлов (в момент перехода в «ноль»);

– перераспределения тепловой энергии, накопленной в активную фазу, обратно в электрическую;

– согласованности этой "термо-ЭДС" по фазе с током нагрузки;

эффективного сложения этих микроскопических ЭДС вдоль структуры катушки.

Иными словами, каждый «спай» с КРП превращается в энергетическую микросекцию. Катушка с десятками (или сотнями) таких структур преобразует локальные тепловые флуктуации (в норме – это просто потери) в полезную микроэнергию, добавляющуюся к внешне наведённой. Именно за счёт этого эффекта "возврата" энергии в фазе минимума наблюдается заметный прирост общей отдачи без увеличения входной энергетики или конструктивных изменений цепи.

Гипотеза.

Катушка из проводника с знакопеременной контактной разностью потенциалов должна индуцировать ЭДС больше, чем катушка из тестовой медной проволоки.

Эксперимент.

Изготовлен стенд с вращающимися неодимовыми магнитами и двумя катушками. Обе катушки имеют по 20 витков. Одна катушка намотана медным проводником. Вторая катушка намотана проводником с 20-ю знакопеременными контактными разностями потенциалов.

Рис. 7. Стенд для проверки гипотезы/

Результат.

Опытно-конструкторские работы подтверждают правильность заявленной гипотезы. Катушка с знакопеременной контактной разностью потенциалов стабильно показывала большее выходное напряжение начиная с 50 мкВ и выше (при увеличении скорости вращения магнитов), чем классическая катушка с медным проводником.

Примечание.

Обмотка любых электромагнитных машин (генераторы, трансформаторы, электродвигатели), изготовленная из биметаллического проводника с чередующимися КРП, позволяет использовать термоэлектрические и электромагнитные явления в объединённой, синергетической форме. Это открывает путь к созданию электромагнитных вращающихся машин нового класса, где увеличение КПД достигается не за счёт увеличения массы или сложных систем охлаждения, а за счёт продуманной микроструктуры материалов.

По сути, реализуется нелинейно-фазовая энергетическая система, в которой каждый виток работает не просто как индуктивный элемент, но как термочувствительная ячейка мини-генерации, усиливающая общий эффект и адаптирующаяся к режиму работы машины.

Таким образом, оригинальный материал – проводник с чередующимися КРП – может не только участвовать в процессе преобразования энергии, но и стать активным элементом усиления внутри уже существующих принципов электромагнито-механического взаимодействия. Это открывает путь к радикальному пересмотру эффективности машин переменного и постоянного тока, особенно в оборонных, мобильных и космических приложениях, где счёт идёт на доли процента энергии и граммы массы.

5.2. Проводник функциональной контактной активности с функцией компенсации потерь в системах передачи энергии

При прохождении переменного тока по проводникам из разнородных металлов возникают сложные термодинамические эффекты. Особенно интересны процессы, сопровождающие переход тока через нулевое значение. В эти моменты тепловыделение минимально, и система стремится вернуться к термодинамическому равновесию. Это сопровождается выравниванием температур между спаями металлов – процессом, при котором может формироваться временная термоэлектрическая ЭДС (электродвижущая сила).

Проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов состоит из последовательно соединённых сегментов разнородных металлов, например, как медь и алюминий. Между этими сегментами существуют контактные разности потенциалов (КРП), которые зависят от различия в химической природе металлов. При протекании переменного напряжения по такому проводнику КРП за счёт дополнительного нагрева / охлаждения с последующим возвратом к термодинамическому равновесию вызывают появление небольших дополнительных напряжений на стыках металлов, которые могут влиять на общую характеристику передачи электроэнергии.

Такое дополнительное напряжение может компенсировать некоторые потери, возникающие в процессе передачи электроэнергии, такие как омические потери и потери на излучение.

Переменное магнитное поле, создаваемое переменным током в проводнике, также влияет на поведение проводника с ЗКРП. Магнитное поле вызывает индуктивные эффекты, которые могут усиливать или ослаблять напряженность электрического поля вокруг проводника.

Эти взаимодействия могут способствовать уменьшению влияния внешних возмущений, таких как атмосферные разряды или электромагнитные помехи, повышая надежность передачи электроэнергии.

Принцип работы.

По проводнику из разнородных металлов (например, медь и константан), проходит переменный ток.

1. Начало полупериода – ток возрастает. При начале положительного полупериода переменного тока электрический ток начинает расти. Рост тока вызывает Джоулев нагрев: на участке проводника с сопротивлением выделяется тепло (P = I2R). Поскольку ток изменяется постепенно, нагрев происходит с нарастающей интенсивностью. Металлы имеют разную теплопроводность и теплоёмкость, поэтому температура на разнородных стыках начинает различаться. Возникает температурный градиент.

2. Стадия пикового тока – максимум нагрева. Ток достигает максимального значения. Нагрев максимум. Температурный градиент между спаями усиливается, один участок сильнее разогрелся, другой – меньше. В соответствии с эффектом Зеебека этот температурный градиент вызывает возникновение термо-ЭДС между контактами разнородных проводников. ЭДС суммируется (или вычитается) с внешним напряжением, в зависимости от направления градиента.

3. Убывание тока – возвращение к равновесию. После прохождения пика ток начинает уменьшаться. Нагрев ослабевает, и система начинает стремиться к тепловому равновесию. Разница температур между спаями уменьшается, начинает спадать и термо-ЭДС. Когда ток близок к нулю, нагрев минимален, температурный градиент почти исчезает.

4. Момент нуля тока – максимум "перезагрузки". Ток пересекает ноль. Джоулев нагрев отсутствует. Система максимально близка к термодинамическому равновесию. Температуры спаев начинают выравниваться. В этот момент термо-ЭДС исчезает или минимальна.

5. Следующий полупериод – ток инвертируется. Повторение в обратном направлении Ток начинает возрастать в противоположном направлении. Процессы повторяются: снова нагрев, снова температурный градиент, снова термо-ЭДС, но с противоположным знаком.

Всё повторяется циклически. Чем быстрее ток меняет направление, тем меньше времени остается для полного возврата к равновесию, и тем меньшую ЭДС можно наблюдать. Однако даже кратковременное существование этой ЭДС может оказывать значительное влияние на общую эффективность системы, особенно в условиях переменного тока.

Роль в линиях электропередачи.

В системах электропередачи переменного тока (ЛЭП) подобные микропроцессы могут способствовать повышению эффективности. Термоэлектрическая ЭДС, возникающая на разнородных контактах, может частично компенсировать потери, обусловленные сопротивлением проводников, за счёт добавочного напряжения. Это особенно важно при передаче энергии на большие расстояния, где потери становятся значительными. Рациональное использование таких материалов и технологий может уменьшить необходимость во внешней компенсации потерь и повысить устойчивость линий электропередачи к температурным и нагрузочным колебаниям.

Примечание.

Использование проводников с переменной контактной разностью потенциалов – инновационный подход к увеличению эффективности систем передачи электроэнергии. За счёт эффекта Зеебека в разнородных соединениях формируется дополнительная ЭДС, способная поддерживать стабильность напряжения и снижать энергетические потери. Эти процессы, происходящие на микроуровне, могут иметь макроэкономическое значение при масштабном внедрении в энергосистемы.

5.3. Способ определение поля градиентов температур

Предложен метод точного определения градиентов температур на поверхности или в объёме технологического оборудования, материалов и веществ с использованием биметаллического проводника с знакопеременной контактной разностью потенциалов (ЗКРП). Метод сочетает термоэлектрические свойства проводника с инновационной техникой развертки питающего напряжения, обеспечивая высокую точность (до 0.1 С/см) и простоту реализации. Применение метода позволяет эффективно мониторить тепловые поля в реальном времени, например, в двигателях, химических реакторах или биоматериалах.

Определение полей градиентов температур важно для контроля процессов в технологическом оборудовании, анализа свойств материалов и диагностики биологических объектов. Традиционные методы, такие как инфракрасная термография, сложны и дороги. Новый метод использует биметаллический ЗКРП-проводник и технику развертки напряжения для создания простой и точной системы мониторинга.

Новация способа основана на синергии двух оригинальных идей:

1. Инновационный продукт – биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов. В конструктивном плане биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов изготовлен соединением (сваркой) множества коротких проводников из разнородных металлов. Разнородные металлы должны обязательно отличаться коэффициентом термо-ЭДС.

2. Инновационный способ развертки питающего напряжения в длинном проводнике (электрической цепи). Способ развертки питающего напряжения в длинном проводнике (электрической цепи) предназначен для формирования локального места на определённом участке проводника (электрической цепи), по которому протекает ток с повышенным напряжением. Местом приложение участка проводника (электрической цепи) с протеканием тока повышенного напряжения можно изменять.

Принцип работы:

Исследование поля градиентов температур на поверхности или в объёме технологического оборудования, различных продуктов, материалов, веществ, соединений и т.п., осуществляется с помощью системы развёртки питающего напряжения.

Система развёртки питающего напряжения построена на основе нового инновационного способа развертки питающего напряжения в длинном проводнике (электрической цепи).

Схематически, способ определение поля градиентов температур на поверхности или в объёме технологического оборудования, материала, вещества, соединения и т.п. представлен на Рис. 8.

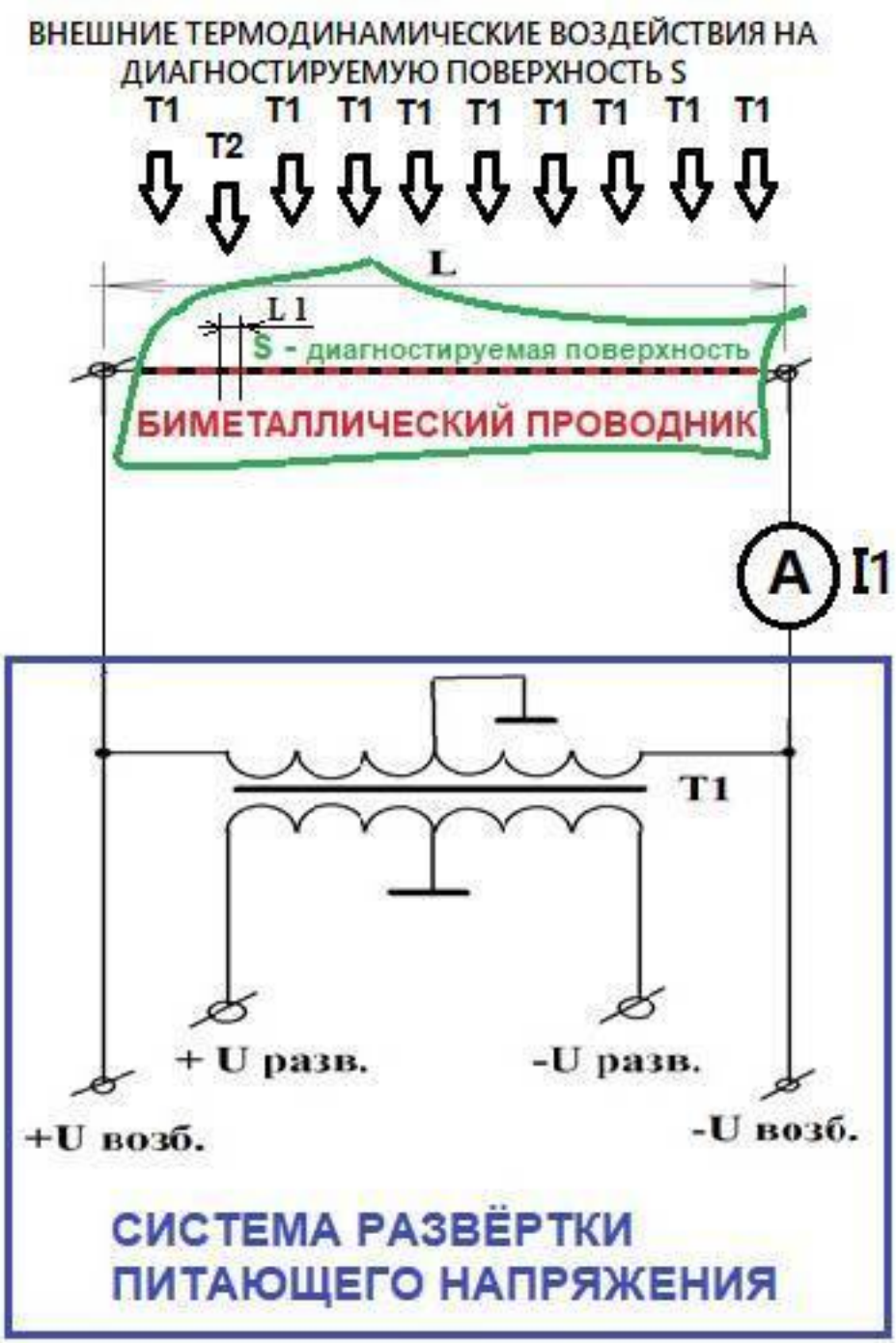

Рис. 8. Схема реализации способа определение поля градиентов температур.

Биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов размещается, например, змейкой, непосредственно по всей поверхности или объёме технологического оборудования, материалов, веществ, соединений и т.п. (см. Рис. 8).

Большое количество точек с контактной разностью потенциалов на единице длинны биметаллического проводника (L, Рис. 8) с знакопеременной контактной разностью потенциалов позволяет определять место изменения термодинамического равновесия с точностью, равной нескольким диаметрам проводника (L1, Рис. 8).

В условиях термодинамического равновесия все точки с контактной разностью потенциалов в проводнике не оказывают влияние на передачу электрического сигнала.

Место выхода точки (например, L1, Рис. 8) поверхности/объёма технологического оборудования, материала, вещества, соединения и т.п. из термодинамического равновесия определяется с помощью инновационный способ развертки питающего напряжения в длинном проводнике (электрической цепи).

Для определения поля градиентов температур, в биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов, с обоих сторон подают возбуждающие напряжениях противоположной полярности.

Управлении фазовыми соотношениями двух возбуждающих напряжениях противоположной полярности происходит в высокочастотном трансформаторе T1 с двумя обмотками со средними точками.

Частота возбуждающих напряжений Uвозб. противоположной полярности равной:

F возб. = C / (2*L)

Где:

C – скорость света, м/сек.

L – длина диагностируемого проводника, м.

Одновременно в биметаллический проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов подается с двух сторон напряжение развертки U разв., противоположной полярности с частотой:

Fразв. = (C*L1) / L

Где:

L1 – точность определения места дефекта, м.

C – скорость света, м/сек.

L – длина диагностируемого проводника, м.

Трансформатор T1 изменяет фазы двух возбуждающих напряжений разной полярности так, что они встречаются и пересекаются на элементе длины проводника L1 (Рис. 8).

В каждый такт напряжения возбуждения в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов формируется элемент длинной L1 (Рис. 8), в котором течет ток с напряжением:

U = 2 * U возб.

График изменения напряжений в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов показан на Рис. 9.

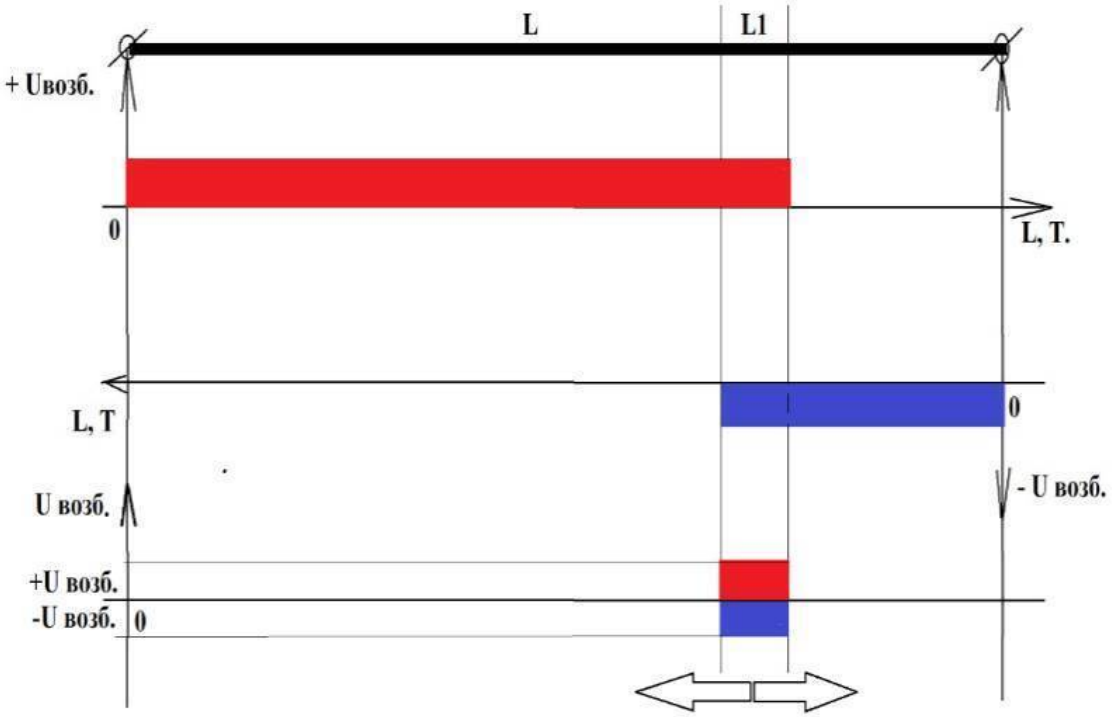

Рис. 9. График изменения напряжений в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Благодаря управлению фазовыми сдвигами – в каждом такте подачи напряжений возбуждений присутствует строго заданное место L1 в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов общей длинной L, по которому протекает ток с напряжением:

U = 2 * U возб.

При термодинамическом равновесии протекающий ток в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов равен току, протекающему в обыкновенном металлическом проводнике. Связано это с тем, что при термодинамическом равновесии контактная разность потенциалов на одном “соединении” будет всегда компенсироваться точно такой же контактной разностью потенциалов на следующем “соединении”. Две одинаковые контактные разности потенциалов всегда направлены в разные стороны – если обходить электрическую цепь по кругу.

В случае выхода места L1 в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов за пределы термодинамического равновесия (место подвержено нагреву или охлаждению, вызванному сторонним локальным воздействием) ситуация изменяется.

Термопара (термопары) на участке длинны L1 превратится в дополнительный источник термо ЭДС. А в момент, когда по участку длинны L1 протекает одновременно ток с удвоенным напряжением возбуждения (U = 2 * U возб.) максимально влияет на значение общего тока, протекающего в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Диагностическим маркером локального изменения температуры на участке поверхности или объёма длиной L1 будет являться степень изменения тока в биметаллическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов, по сравнению с другими локальными участками L2, L3 и т.д.

Примечание.

Предложенный способ развертка питающего напряжения может быть применён в различных областях науки и техники для целей определения поля градиентов температур на поверхности или в объёме технологического оборудования, различных продуктов, материалов, веществ, соединений и т.п.

Способ может быть реализован только на основе нового инновационного металлического термопарного проводника, который должен быть размещён на поверхности или в объеме диагностируемого технологического оборудования, материала, вещества, соединения и т.п. Количество термопарных соединений на единице длины такого проводника определяется чувствительностью и точностью определения места локации с повышенной или пониженной температурой.

5.4. Эффект энергетической перегруппировки в системе материалов с функциональной контактной активностью

В данной статье рассматривается многоэлементная электрическая система, состоящая из последовательной цепи множества гексагональных и полу гексагональных структур из металлических проводников с контактной разностью потенциалов (КРП), а также принцип работы.

Формально, согласно закону Вольта, любая система с множеством контактных разностей потенциалов не должна генерировать напряжение в условиях термодинамического равновесия.

Однако эксперименты показывают, что внутренние нелинейные процессы в системе приводят к возникновению выходного напряжения, причём его величина может резко увеличиваться при шунтировании отдельных участков.

Дана гипотеза, что система фактически собирает и преобразует микроскопические энергетические шумы в напряжение.

Исследуется механизм увеличения напряжения при шунтировании части ячеек, объясняющий необычно большие скачки выходного сигнала (в сотни и тысячи раз).

Итогом исследования является концепция коммутируемой энергетической перегруппировки, которая открывает новые перспективы для разработки принципиально новых источников питания, использующих тепловые и т.п. флуктуации среды.

Все существующие электрогенерирующие систем используют внешний источник энергии для генерации напряжения, например – тепло. Однако экспериментальные работы показывают, что существуют структурированные системы, в которых выходное напряжение может формироваться за счёт энергетики шума и усиливаться за счёт шунтирования части системы.

Одним из таких объектов является система на основе множества гексагональных и полу гексагональных структур, состоящих из разнородных металлических проводников, соединённых с образованием контактных разностей потенциалов.

Ожидалось, что согласно закону Вольта, результирующая ЭДС системы должна быть нулевой в условиях термодинамического равновесия. Однако экспериментальными работами было обнаружено, что:

1. Система стабильно показывает небольшое выходное напряжение в условиях относительного термодинамического равновесия на уровне микровольт, которое зависит от количества гексагональных ячеек.

2. Шунтирование части системы мгновенно увеличивает выходное напряжение в сотни раз, а затем оно постепенно снижается.

В данной статье анализируются механизмы, которые позволяют системе генерировать электрическое напряжение, а также объясняются источники энергии и эффект её усиления при шунтировании.

Конструкция системы.

Рассматриваемая система представляет собой последовательную многоэлементную электрическую систему, состоящую из разнородных металлических проводников со средней точкой, по аналогии с центральным контактом двухполярного источника питания

Каждый элемент системы включает:

– Одну последовательную (полу гексагональную) цепь металлических проводников (нихром + константан);

– Замкнутый гексагональный контур, образованный шестью разнородными металлами: константан (1) – нихром (2) – медь (3) – константан (4) – нихром (5) – сталь (6).

Если представить каждую контактную разность потенциалов отдельным источником электричества, то схематически система в виде гексагональной топологии металлических КРП будет выглядеть следующим образом:

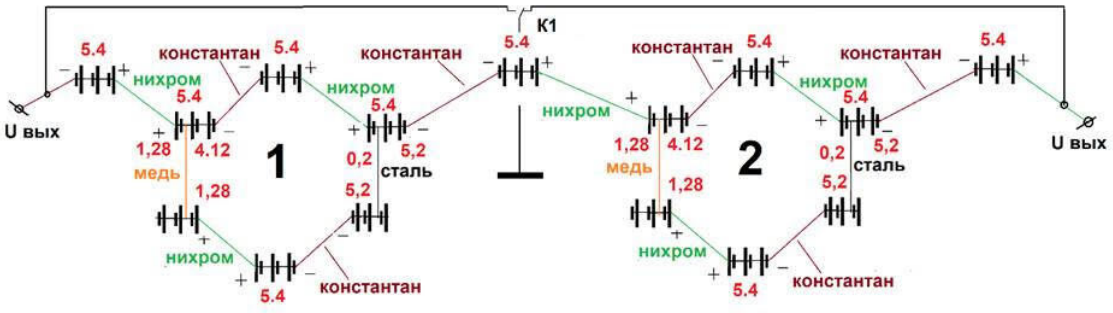

Рис. 10. Последовательная система гексагонально-полугексагональных металлических контактных разностей потенциалов с центральной точкой.

Особенность системы – в её гексагональной топологии. Разнородные металлы создают не компенсированные контактные разности потенциалов в замкнутых гексагональных контурах, а их взаимодействие приводит к неожиданным нелинейным эффектам.

Такое сложное строение цепи обеспечивает оптимальное перераспределение энергии внутри устройства. Позволяет максимально эффективно использовать контактные разности потенциалов материалов. Преобразовывать энергетический шум в выходное напряжение для его увеличения шунтированием части системы.

Принцип работы системы.

Генерация напряжение микроуровня гексагональной топологией в условиях относительного термодинамического равновесия за счёт энергетического шума.

Экспериментами подтверждено, что проводник из N разнородных материалов с контактной разностью потенциалов в условиях относительного термодинамического равновесия является постоянным источником небольшое напряжение уровня микровольт за счёт энергетического шума.

В свою очередь система, состоящая из последовательно соединённых N гексагональных замкнутых и полу гексагональных контуров с контактной разностью потенциалов, является постоянным источником напряжения кратно предыдущего уровня микровольт, также за счёт энергетического шума.

Энергетический шум (например, тепловые флуктуации) постоянно перераспределяет электроны на границе материалов, создавая новый градиент потенциала. В гексагональной топологии наблюдаются сложные нелинейные взаимодействия.

Выходное напряжение системы в этом случае зависит от количества отдельных гексагонально-полугексагональных металлических контактных разностей потенциалов, и может достигать сотен микровольт в условиях относительного термодинамического равновесия.

Шунтирование – ключевой эффект.

Шунтирование периодически изменяет полярность выходного напряжения и увеличивает его в сотни и тысячи раз. Причина кроется в перераспределении внутренних токов, которое изменяет баланс потенциалов всей системы, а также локальном изменении электронных температур на границе раздела разнородных проводников, что инициирует термоэлектрические процессы.

Снятие шунтирования.

После снятия шунтирования выходное напряжение медленно уменьшается за счёт выравнивания потенциальных градиентов и тепловой диффузии.

Возможные физические механизмы генерации напряжения.

Предполагается, что механизмы генерации напряжения основан на изменении электронной температуры вблизи границы раздела двух проводников. В данном случае электронная температура описывает среднюю кинетическую энергию электронов вблизи границы раздела.

двух проводников. В условиях неравновесия, вызванного, например, наличием электрического поля или градиентом температуры, электронная температура может отличаться от температуры решетки.

Тепловой шум.

Таким образом мы подходим к специфическим ситуациям, когда повышенная электронная температура приводит к генерации электричества, например, как термоэлектрические эффекты Пельтье и Зеебека. Эти эффекты связаны с преобразованием тепловой энергии в электрическую и наоборот. В данном случае показано, что эти эффекты могут проявляться даже без явного внешнего теплового воздействия благодаря внутреннему перераспределению тока и локальным изменениям температуры.

Электромагнитный шум.

Экспериментами подтверждено, что внешнее электрическое поле влияет на электронную температуру вблизи границы раздела проводников, что проявляется в значительном увеличении выходного напряжения системы.

Экспериментами также подтверждено, что внешнее электромагнитное поле наводит в замкнутом гексагональном контуре контактных разностей потенциалов ток, который не должен проявляться в замкнутом контуре, согласно классической теории, что проявляется в значительном увеличении выходного напряжение.

Шунтирование.

Шунтирование половины системы уменьшает внутренне сопротивление системы, что приводит к увеличению протекающего тока через не зашунтированные элементы системы.

При прохождении тока через проводник с разными металлами на стыках (термопарах) происходят локальные изменения температуры. Одни участки нагреваются, другие – охлаждаются. Это явление известно, как эффект Пельтье, который позволяет преобразовать электрический ток в разность температур.

Когда шунтирование прекращается – изменяется направление теплового потока. Нагретые участки – начинают охлаждаться, охлаждённые участки начинают нагреваться, т.е. система восстанавливает термодинамическое равновесие.

Пока температура не выровняется, система выдаёт остаточное напряжение, медленно затухая по мере теплового сглаживания.

Таким образом, предложена система, в которой большое количество спаев разнородных металлов изменяет электронную температуры вблизи границы раздела проводников. Создаётся возможность для преобразования электромагнитного и теплового шума в электроэнергию. В момент шунтирования энергия накапливается в виде повышенной и пониженной электронной температуры в отдельных элементах системы. После прекращения шунтирования электронная температура преобразуется в электричество.

Данный эффект можно рассматривать как динамическую релаксацию после искусственного разделения шунтированием.

Основной источник энергии – энергетические шумы.

Система адаптивно собирает энергию, рассеянную в виде микроскопических тепловых флуктуаций и электромагнитных изменений. Таким образом, энергия окружающей среды перераспределяется в контактных разностях потенциалов гексагональных замкнутых цепей. Система работает как самосинхронизированный преобразователь стохастической энергии в направленный электрический сигнал. Постоянно выдаёт в нагрузку небольшое напряжение уровня сотен микровольт, а шунтирование периодически изменяет полярность и увеличивает

это напряжение в сотни и тысячи раз. Коэффициент усиления зависит от количества контуров с контактной разностью потенциалов.

Перераспределение энергии временно создает дисбаланс токораспределения, который приводит к временной концентрации энергии в системе. Естественный энергетический шум “растягивается в масштабе всей системы”, что создаёт макроскопический эффект усиления напряжения. При снятии шунтирования увеличенное напряжение разряжается обратно через процесс термоэлектрического восстановления.

Примечание.

Система использует энергетический шумы и контактные разности потенциалов для спонтанной генерации напряжения в условиях относительного равновесия. Шунтирование вызывает динамическую стабилизацию энергии, приводящую к её временному накоплению.

Эффект коммутируемой энергетической перегруппировки открывает новые горизонты в области возобновляемой энергетики. Его применение в различных устройствах демонстрирует значительный потенциал для решения вопросов энергообеспечения в различных сферах жизнедеятельности.

PS:

Внешнее электромагнитное, или тепловое, или электростатическое воздействие на систему заметно повышает эффективность электрической генерации.

5.5. Электрический генератор на эффекте коммутируемой энергетической перегруппировки функциональной контактной активности

Современные генераторы электроэнергии традиционно полагаются на внешние источники энергии, такие как тепло, механическая энергия или свет. Однако эксперименты показали, что возможно создание устройств, генерирующих электричество без использования внешних источников энергии, за счет эффектов, связанных с внутренней структурой материала и взаимодействием между различными компонентами системы. Одним из таких явлений является эффект коммутируемой энергетической перегруппировки в системах с гексагонально-полугексагональными контактными разностями потенциалов.

Описание конструкции.

Система состоит из сложной сети разнородных металлов, объединенных в замкнутые гексагональные структуры и открытые полу-гексагональные цепи. Ключевыми элементами являются металлические проводники, обладающие разными свойствами и создающими контактные разности потенциалов при взаимодействии друг с другом. Рассмотрим основные компоненты системы:

Гексагональная структура.

Каждая ячейка системы содержит шесть разнородных металлов, соединенных таким образом, чтобы создать замкнутую гексагональную структуру. Металлы выбираются так, чтобы обеспечить максимальную разницу в работе выхода электронов, что создает значительную контактную разность потенциалов. Примером такой структуры может служить следующая последовательность:

Константан (1), Нихром (2), Медь (3), Константан (4), Нихром (5), Сталь (6).

Эта конфигурация создаёт стабильные контактные разности потенциалов в замкнутом контуре, чувствительные к электронному температурному шуму (тепловым флуктуациям, электромагнитным помехам и т.п.), обеспечивая ток в условиях относительного равновесия, зависящий от уровня шума.

Полу-гексагональная цепь.

Для вывода энергии, накопленной в отдельном замкнутом гексагональном контуре, каждая гексагональная ячейка дополняется открытой полу-гексагональной цепью, которая состоит из двух разнородных металлов (например, нихрома и константана), соединенных последовательно.

Средняя точка.

Вся система имеет среднюю точку, аналогичную центральной точке двуполярного источника питания. Это позволяет использовать систему как симметричный генератор, способный выдавать положительное и отрицательное напряжение относительно этой точки.

Если представить контактные разности потенциалов отдельными источниками напряжения, то схема замещения генератор может быть представлена на следующем Рисунке.

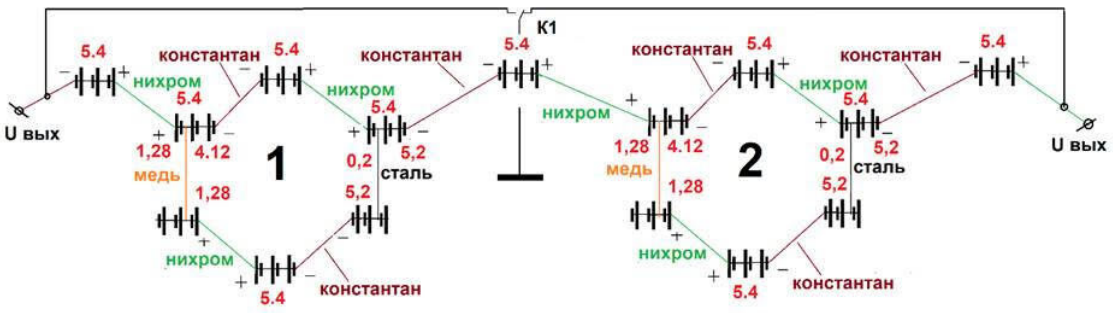

Рис. 11. Схема замещения электрического генератора на эффекте коммутируемой энергетической перегруппировки в системе гексагонально-полугексагональных контактных разностей потенциалов.

Принцип работы.

Принцип работы генератора основан на нескольких ключевых процессах:

Генерация напряжения за счет энергетического шума

На границах контакта между разнородными металлами возникают постоянные флуктуации зарядов, вызванные тепловыми колебаниями атомов (энергетическим шумом). Эти флуктуации приводят к созданию небольшого градиента потенциала, который накапливается в каждой гексагональной структуре. Чем больше таких структур включено в систему, тем выше общее выходное напряжение.

Усиление напряжения через шунтирование

Когда часть системы временно шунтируется (замыкается накоротко), происходит резкое изменение распределения тока и потенциала в системе. Это вызывает перераспределение зарядов и временное увеличение выходного напряжения в десятки или даже сотни раз. Этот процесс называется коммутируемой энергетической перегруппировкой. После снятия шунтирования напряжение начинает плавно снижаться до исходного уровня.

Внешние воздействия.

Эксперименты показали, что внешнее электромагнитное, тепловое или электростатическое воздействие на систему значительно усиливает ее способность преобразовывать их в электроэнергию. Это связано с тем, что такие воздействия увеличивают амплитуду флуктуаций зарядов на границах контактов, что ведет к увеличению общего выходного напряжения.

Экспериментальные работы.

Экспериментами подтверждено, что система, состоящая из 24 замкнутых контуров в условиях относительного термодинамического равновесия, генерирует на постоянной основе за счёт энергетического шума 20-50 мкВ.

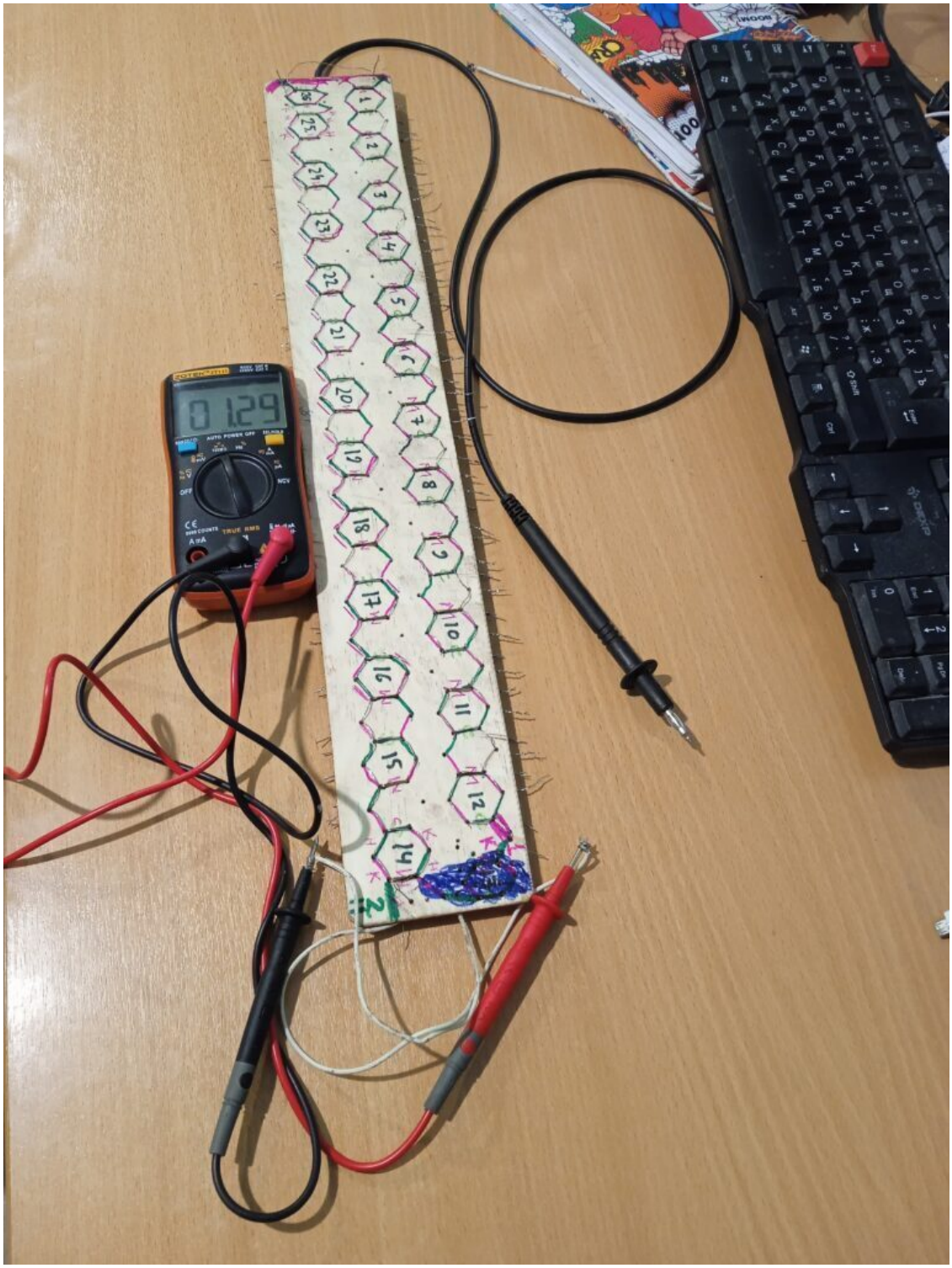

Рис. 12. Электрический генератор на эффекте коммутируемой энергетической перегруппировки в системе гексагонально-полугексагональных контактных разностей потенциалов

Шунтирование одной части системы, состоящей из 12-ти контуров генерирует выходное напряжение + 400-500 мкВ.

Шунтирование второй части системы, состоящей из 12-ти контуров генерирует выходное напряжение обратной полярности – 400-500 мкВ.

Общее напряжение, генерируемое системой периодическим шунтированием – переменное 1 мВ.

Любое изменение энергетического шума приводит к кратному увеличению выходного напряжения.

Экстраполируя, можно предположить, что система из 24 тысяч гексагональных контуров будет генерировать на постоянной основе напряжение 1 вольт в условиях естественного энергетического шума относительного энергетического равновесия.

Многие скажут, что сопротивление и размеры системы будет очень большим. Согласен, но размеры можно уменьшить объёмной топологией, а сопротивление можно грубо оценить по нихрому. Упростим и считаем, что все проводники из нихрома. Берём каждый отдельный проводник длинной по 4 мм и диаметром 1 мм. Эквивалентная длинна общего проводника системы с знакопеременной контактной разностью потенциалов, состоящем из 24 тысяч замкнутых контуров будет равна:

24000 х (4 мм. диаметр нихрома + 4 шт. проводников в каждой гексо-полугексо цепи) = 192 метра.

Сопротивление контакта принимаем равным нулю.

Таким образом внутренне сопротивление системы – 243 ом.

Заключение.

Представленная концепция демонстрирует перспективность разработки электрических генераторов, работающих на принципах внутренних свойств материалов и взаимодействий между ними. Такие устройства способны генерировать энергию без необходимости использования традиционных внешних источников, что открывает новые возможности для автономных энергосистем и минимизации зависимости от ископаемых ресурсов.

Примечание.

Система очень чувствительна к изменению внешнего электромагнитного, или теплового, или электростатического воздействия, что на несколько порядков повышает эффективность генерации.

5.6. Резонансный электромагнитный преобразователь энергетических флуктуаций функциональной контактной активности

В данной статье представлена концепция резонансного электромагнитного преобразователя энергетических флуктуаций, предназначенного для эффективного преобразования энергии флуктуаций в электрическую энергию с использованием термоэлектрических эффектов и электромагнитной индукции. Описаны основные принципы работы устройства, его конструкция и преимущества перед традиционными методами генерации электроэнергии. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие работоспособность предлагаемой технологии. Особое внимание уделено роли резонансных эффектов в усилении и стабилизации процесса преобразования энергии. Обсуждаются ключевые проблемы и направления дальнейшего развития устройства.

Современные технологии генерации электроэнергии сталкиваются с рядом ограничений, связанных с эффективностью, экологичностью и стоимостью. В этой связи актуальным становится поиск новых подходов к преобразованию энергии, в том числе из нетрадиционных источников, таких как энергетические флуктуации окружающей среды. Предлагаемый в данной статье резонансный электромагнитный преобразователь энергетических флуктуаций представляет собой инновационное решение, основанное на комбинации термоэлектрических эффектов и электромагнитной индукции. Устройство отличается компактностью, высокой эффективностью и низкими эксплуатационными затратами, что делает его перспективным для широкого спектра приложений.

Конструкция устройства.

Резонансный электромагнитный преобразователь энергетических флуктуаций состоит из следующих ключевых компонентов (Рис. 13):

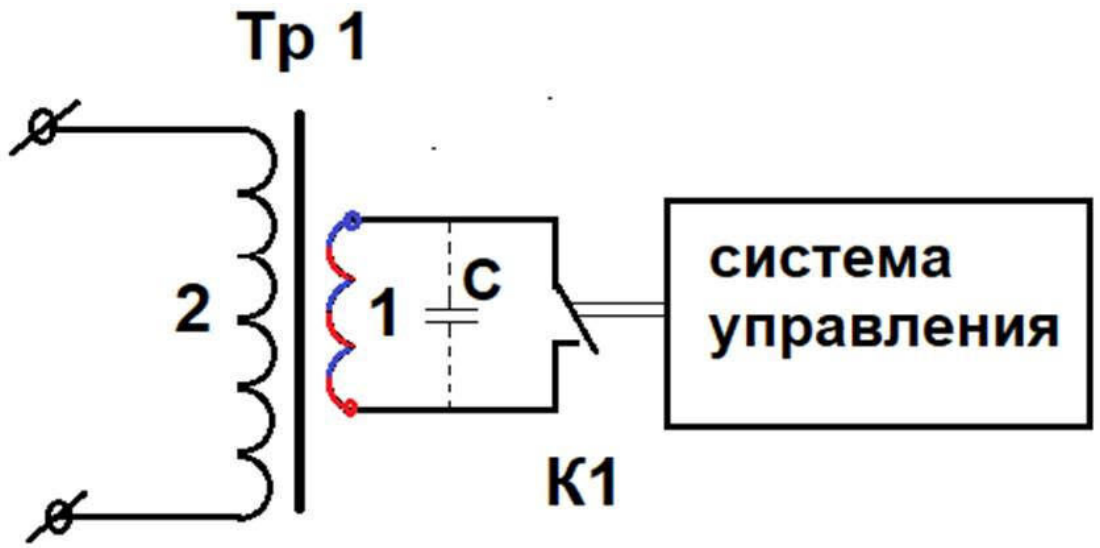

Рис. 13. Схема резонансного электромагнитного преобразователя энергетических флуктуаций.

Первичная обмотка (1): Изготовлена из биметаллического проводника, состоящего из чередующихся сегментов различных металлов (например, нихрома и константана). Каждый

сегмент имеет длину, превышающую его поперечный размер в 2-4 раза, что оптимизирует количество соединений с контактной разностью потенциалов на единицу длины.

Вторичная обмотка (2): Предназначена для передачи индуцированного напряжения в нагрузку. Изготовлена из медного провода.

Сердечник трансформатора: Изготовлен из материала с высокой магнитной проницаемостью (например, феррит с магнитной проницаемостью 2300 m), что улучшает магнитную связь между первичной и вторичной обмотками.

Коммутационное устройство (К1): обеспечивает периодическое замыкание и размыкание первичной обмотки с частотой до МГц.

Система управления (СУ): управляет переключением коммутационного устройства, обеспечивая резонанс системы.

Принципы работы.

Работа устройства основана на следующих этапах:

– Замыкание первичной обмотки. Первичная обмотка замыкается, создавая замкнутый контур.

– Генерация электрического импульса. За счёт энергетических флуктуаций (шума) в первичной обмотке возникает ток, создающий переменное магнитное поле.

– Индукция во вторичной обмотке. Переменное магнитное поле индуцирует ЭДС во вторичной обмотке, которая передается в нагрузку.

– Размыкание первичной обмотки. Обмотка размыкается, прерывая ток и позволяя системе вернуться в исходное состояние. Цикл повторяется с частотой, настроенной на резонанс системы.

Физические принципы работы с энергетическими флуктуациями.

Уникальной особенностью устройства является его способность преобразовывать энергию из окружающих энергетических флуктуаций. Этот процесс основывается на следующих физических механизмах:

Электронная температура и неравновесные состояния: в условиях неравновесия, вызванного электромагнитными или электростатическими полями, электронная температура может отличаться от температуры решетки, что приводит к дополнительным механизмам переноса заряда.

Термоэлектрические эффекты: Эффекты Пельтье и Зеебека играют ключевую роль в преобразовании тепловой энергии в электрическую на границах раздела двух проводников с различными коэффициентами теплопроводности.

Электромагнитные флуктуации: Внешние электрические и магнитные поля влияют на электронную температуру и движение зарядов, что может приводить к генерации дополнительного напряжения.

Шунтирование (короткое замыкание): Шунтирование системы перераспределяет заряды на границах раздела металлов, усиливая эффекты, связанные с изменением электронной температуры.

Релаксация и восстановление равновесия: Процесс шунтирования и последующего снятия шунтов приводит к изменению направления теплового потока и генерации остаточного напряжения.

Роль резонансных эффектов.

Использование резонансных эффектов позволяет устройству более эффективно извлекать энергию из энергетических флуктуаций. Резонансные явления способствуют накоплению и усилению энергетических колебаний, что делает устройство устойчивым к внешним факторам и повышает его энергоэффективность. Это особенно важно в условиях, где традиционные методы генерации энергии неэффективны.

Экспериментальные исследования.

Для проверки работоспособности устройства был изготовлен прототип трансформатора с ферритовым кольцевым сердечником (типоразмер 100 х 60 х 15 мм). Первичная обмотка состояла из 32 витков биметаллического проводника (нихром и константан), а вторичная – из 32 витков медного провода. Коэффициент трансформации составил 1:1.

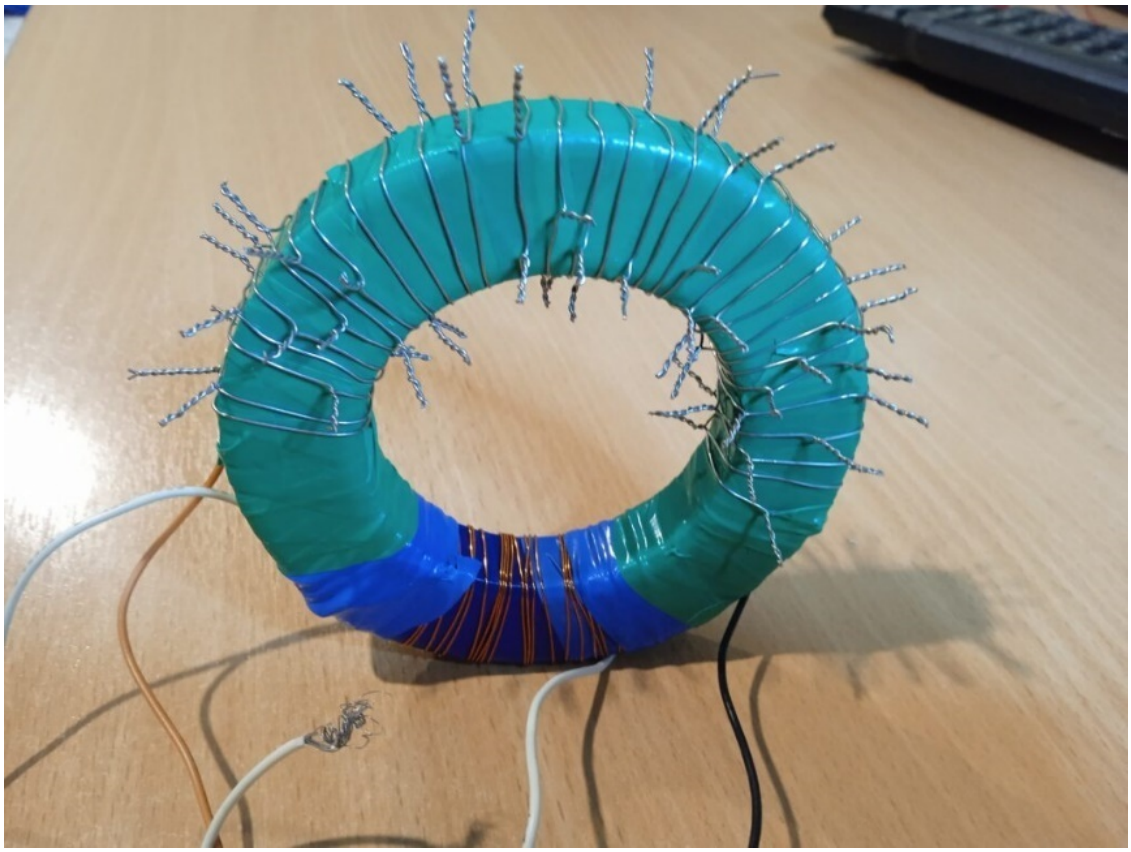

Рис. 14. Трансформатор резонансного электромагнитного преобразователя энергетических флуктуаций.

Результаты экспериментов.

Генерация напряжения в первичной обмотке: в условиях относительного термодинамического равновесия первичная обмотка генерировала напряжение 20 мкВ. При коротком замыкании первичной обмотки амплитуда импульса достигала 200 мкВ.

Проверка электромагнитной индукции: Использование генератора с калиброванным выходным напряжением 200 мкВ показало, что выходное напряжение на вторичной обмотке начинает определяться осциллографом начиная с частоты 30 Гц. При частоте выше 1000 Гц выходное напряжение достигло уровня входного.

Проблемы аппаратной реализации: Основной проблемой стала реализация коммутационного устройства, способного работать с напряжением 200 мкВ. Традиционные полупроводниковые реле на таких напряжениях неэффективны.

Преимущества.

– Высокая чувствительность. Устройство способно улавливать и преобразовывать слабые энергетические колебания.

Энергоэффективность: Использование низких напряжений для получения заметного выходного сигнала.

– Резонансные эффекты. Усиление слабых сигналов за счет резонансных явлений.

Проблемы и направления развития.

– Аппаратная реализация коммутатора. Необходимость разработки микроэлектронных коммутационных устройств, способных работать с напряжениями порядка 200 мкВ.

– Оптимизация конструкции обмоток. Исследование и улучшение конструкции первичной и вторичной обмоток для повышения КПД устройства.

– Тестирование в реальных условиях. Проведение испытаний в различных условиях для оценки стабильности и надежности устройства.

Примечание.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность резонансного электромагнитного преобразователя энергетических флуктуаций. Устройство демонстрирует потенциал для практического применения в системах, где традиционные методы генерации энергии неэффективны. Дальнейшие исследования должны быть направлены на решение проблем, связанных с аппаратной реализацией коммутационных устройств и оптимизацией конструкции преобразователя.

5.7. Термоэлектрический генератор переменного тока на основе функциональной контактной активности

Известно, что КПД классического термоэлектрического преобразователя на полупроводниках не более 10-15 %. КПД термоэлектрического преобразователя на металлических термопарах не более 1 %.

В настоящей работе предложен термоэлектрический генератор на плоском металлическом проводнике с знакопеременной контактной разностью потенциалов, который в конструктивном плане изогнут змейкой последовательно с диэлектричсекими прокладками. Таким образом формируется последовательная синергия контактных разностей потенциалов и ёмкостного накопителя энергии. Такая система обеспечивает КПД преобразования тепла в электричество больше, чем у существующих полупроводниковых преобразователей!

Оперируя энергетикой емкостных накопителей в десятки и более джоулей для напряжения, вырабатываемого всеми термопарами, например, в 5 вольт можно получить переменный ток в нагрузке, измеряемый амперами!

Известно, что время заряда конденсатора, в том числе и от термоэлектрического преобразователя, зависит от его емкости. Время заряда емкостного накопителя энергии емкостью, например, в 1 Фарад до напряжения термоэлектрического генератора, например, в 5 вольт будет измеряться секундами.

Задачей данной работы является предложить способ “мгновенного” заряда емкостного накопителя для целей повышения КПД преобразования низко потенциального тепла в электричество.

Согласитесь, что зарядить одновременно, например, 1000 конденсаторов емкостью по 1000 мкФ от различных источников в 1000 раз быстрее, чем один конденсатор емкостью 1 Фарад от одного источника.

Такое заключение является базой, на основании которой предлагается принципиально новый, высоко эффективный способ преобразования низко потенциального тепла в электричество.

На основании вышеизложенного предлагается емкостная термоэлектрическая батарея с индуктивным накопителем для утилизации низко потенциального тепла.

Емкостная термоэлектрическая батарея с индуктивным накопителем для утилизации низко потенциального тепла представляет собой классический термоэлектрический источник тока в управляемом импульсном режиме, который обеспечивает заряд/перезаряд встроенных двух емкостных накопителей энергии. В свою очередь нагрузка запитана от одного емкостного накопителя энергии.

Принцип работы.

Принцип работы основан на синергии термоэлектрического эффекта Зеебека (явление возникновения ЭДС на концах последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах) и двух емкостных накопителей энергии с управлением токами заряда/перезаряда как от отдельного индуктивного накопителя энергии, так и без него.

Особенностями емкостной термоэлектрической батареи с индуктивным накопителем для утилизации низко потенциального тепла является следующее:

– конструктивное исполнение.

– общее схематическое исполнение.

– различные режимы работы.

– ориентировочные расчетные характеристики

Конструктивное исполнение.

В конструктивном плане основу емкостной термоэлектрической батареи представляет собой “сборный пакет”, состоящий из листов (фольги) из разнородных металлов, между которыми проложены листы диэлектрика. Листы (фольга) из разнородных металлов по краям соединены между собой механическим способом, образуя термопары. Каждая ветвь термопары является обкладкой для двух конденсаторов емкостного накопителя. Другие обкладки этих конденсаторов соединены между собой, и между такими же другими. Таким образом, формируется дополнительный электрод в системе, который будет являться одним из выходов в передаче электрической энергии.

Конструктивное исполнение емкостной термоэлектрической батареи может быть двух типов:

Тип 1. Прямоугольная батарея (пакет) с подводом / отводом тепла с противоположных сторон батареи (пакета).

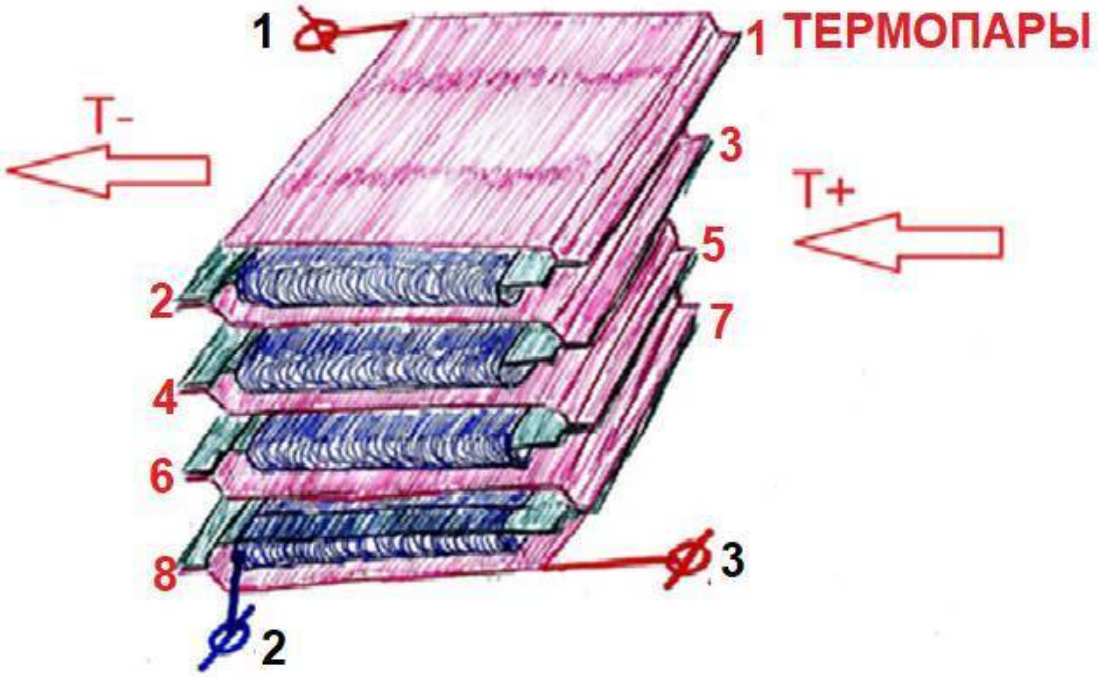

Рис. 15. Прямоугольная батарея (пакет) с подводом / отводом тепла с противоположных сторон батареи (пакета).

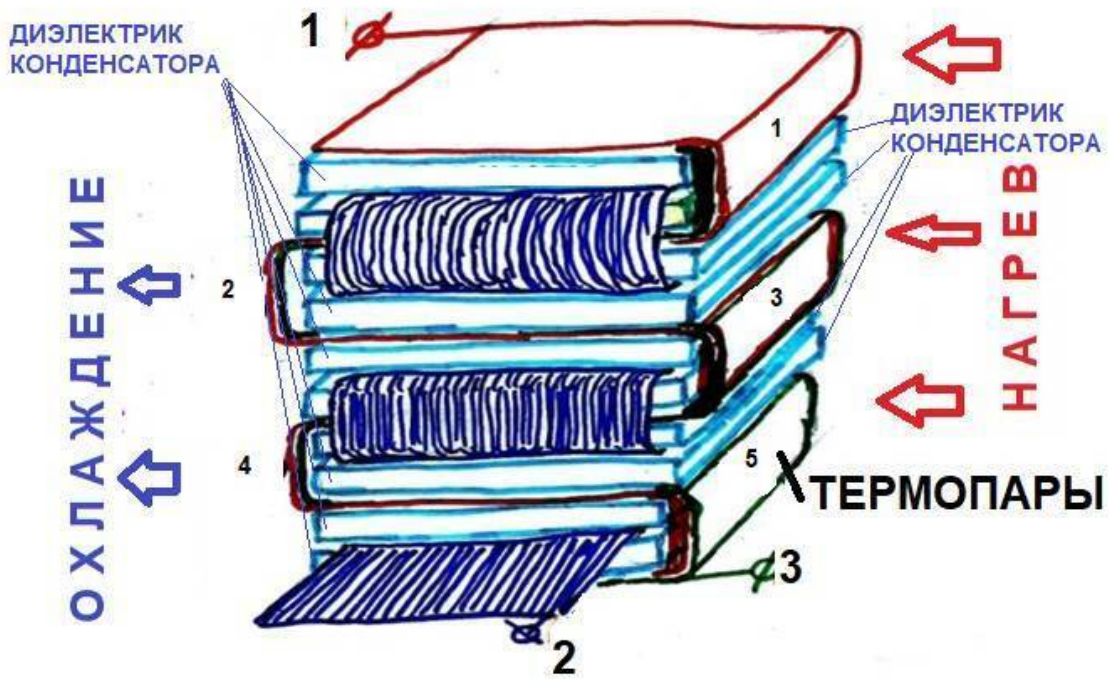

Рис. 16. Прямоугольная батарея (пакет) с подводом / отводом тепла с противоположных сторон батареи (пакета)

Тип 2. Цилиндрическая (коаксиальная) батарея (пакет) с подводом / отводом тепла внутрь / снаружи цилиндра .

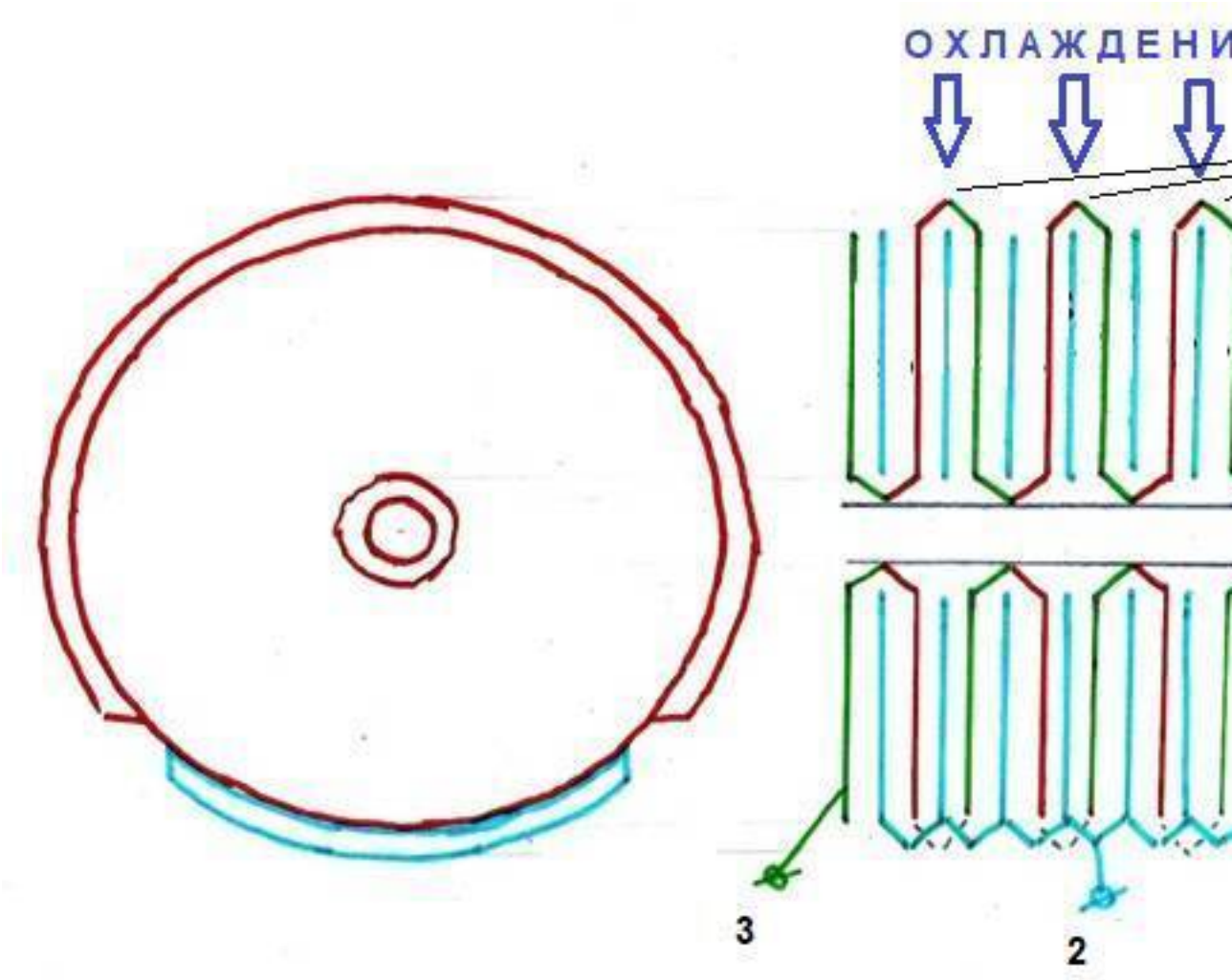

Рис. 17. Цилиндрическая (коаксиальная) батарея (пакет) с подводом/отводом тепла внутрь / снаружи цилиндра.

Схематическое исполнение.

Каждая ветвь термопары представлена отдельным источником напряжения, преобразующим тепловую энергию в электрическую.

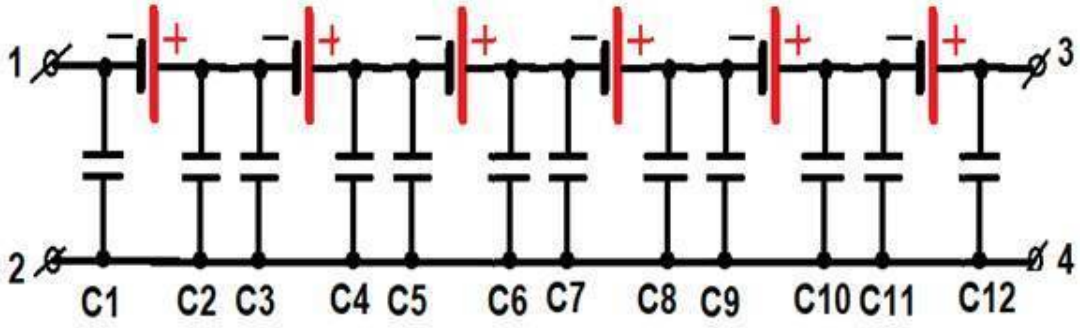

Рис. 18. Электрическая схема ТЭГ

Общее количество конденсаторов в накопителе:

N = n*2

Где:

n – Количество термопар.

Каждая ветвь термопары заряжает свой конденсатор емкостного накопителя. При этом емкостной накопитель может работать в разных режимах в зависимости от коммутации нагрузки и управления работой заряда/разряда емкостного накопителя.

Различные режимы работы.

Термоэлектрический генератор работает в нескольких режимах в зависимости от коммутации нагрузки и управления работой заряда/разряда емкостного накопителя.

Режим 1. Емкостной накопитель без управления зарядом/разрядом

Эквивалентная схема представлена на Рис. 19.

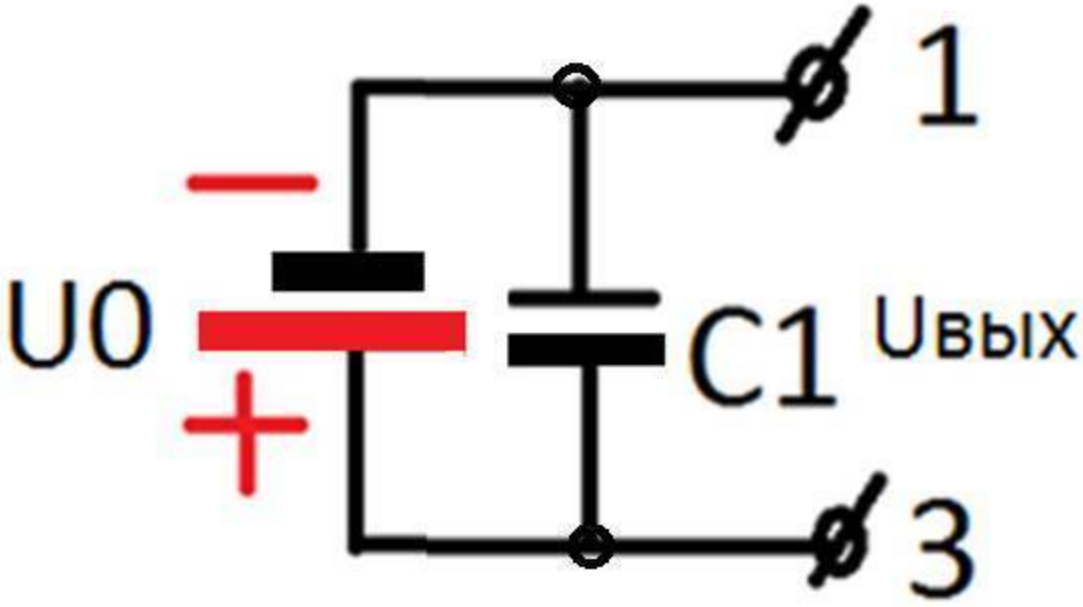

Рис. 19. Эквивалентная схема емкостного накопителя без управления зарядом/разрядом без управления зарядом/разрядом

Выходное постоянное напряжение снимается с контактов – 1-3 емкостной термобатареи. Контакт 2 – не используется.

Схема емкостной термоэлектрической батареи с графиком напряжений заряда конденсаторов емкостного накопителя представлена на Рис. 20.

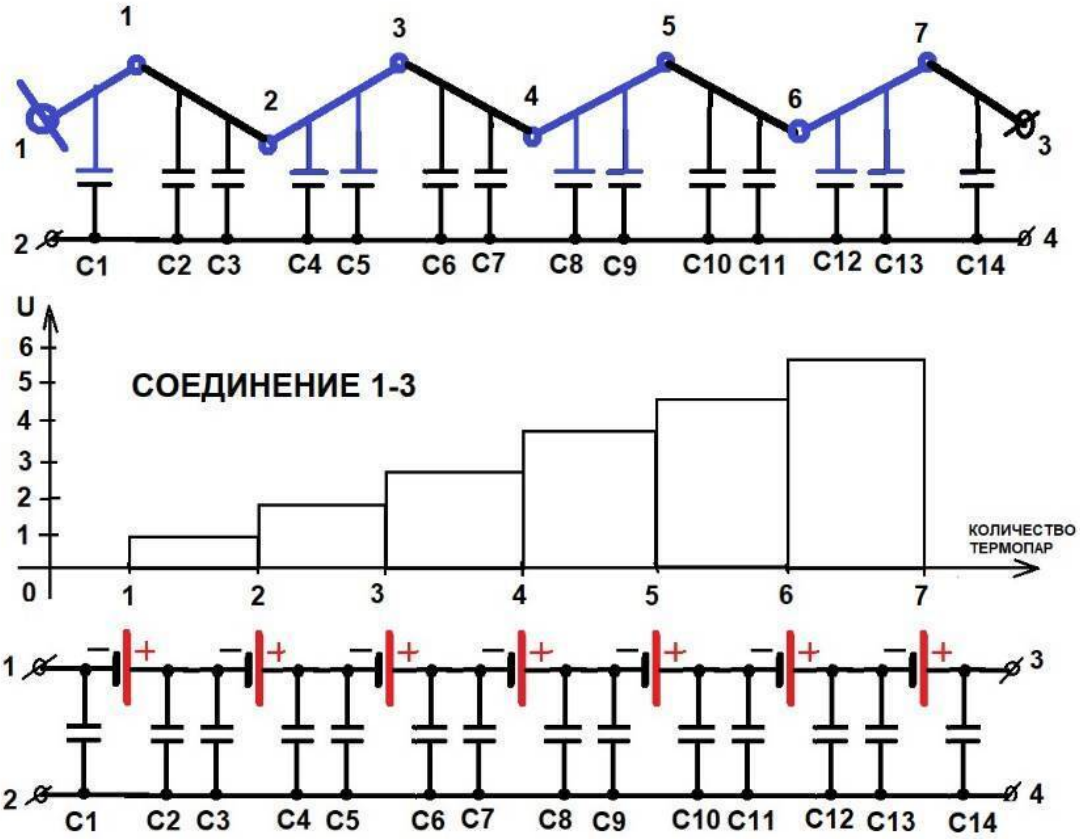

Рис. 20. Схема емкостной термоэлектрической батареи с графиком напряжений заряда конденсаторов.

В емкостном накопителе все конденсаторы соединены последовательно-параллельно каждому источнику напряжения в виде термопары.

Общая емкостью накопителя:

C1=C0/n

Где:

n – количество термопар.

C0 – емкость одного конденсатора.

Выходное напряжение:

Uвых=U0

Где:

U0- напряжение термоэлектрического генератора.

Энергия емкостного накопителя:

W= √C1Uвых2/2

В формуле корень связан с тем, что каждый конденсатор накопителя заряжается до напряжения текущей термопары + напряжение предыдущих термопар.

Режим 2. Емкостной накопитель/делитель напряжения без управления зарядом/разрядом.

Эквивалентная схема представлена на рис. 21

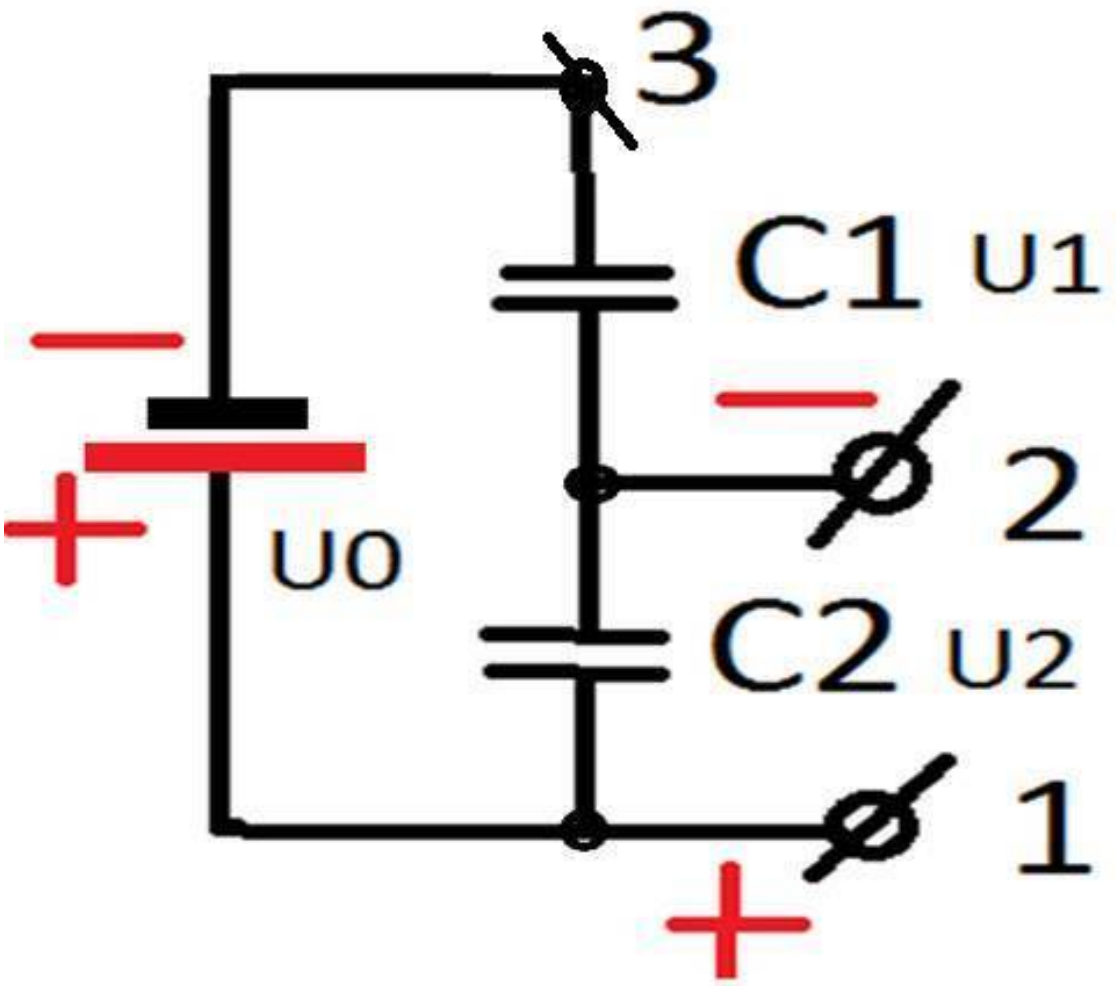

Рис. 21. Эквивалентная схема ёмкостного накопителя/делителя напряжения.

Представляет собой два идентичных емкостных накопителя энергии, включенные последовательно по типу емкостного делителя напряжения.

Выходное постоянное напряжение снимается с контактов – 1-2 одной емкостной термобатареи. Термопары заряжают два накопителя одновременно.

Схема емкостной термоэлектрической батареи с графиком напряжений заряда конденсаторов двух емкостных накопителей представлена на Рис. 22.

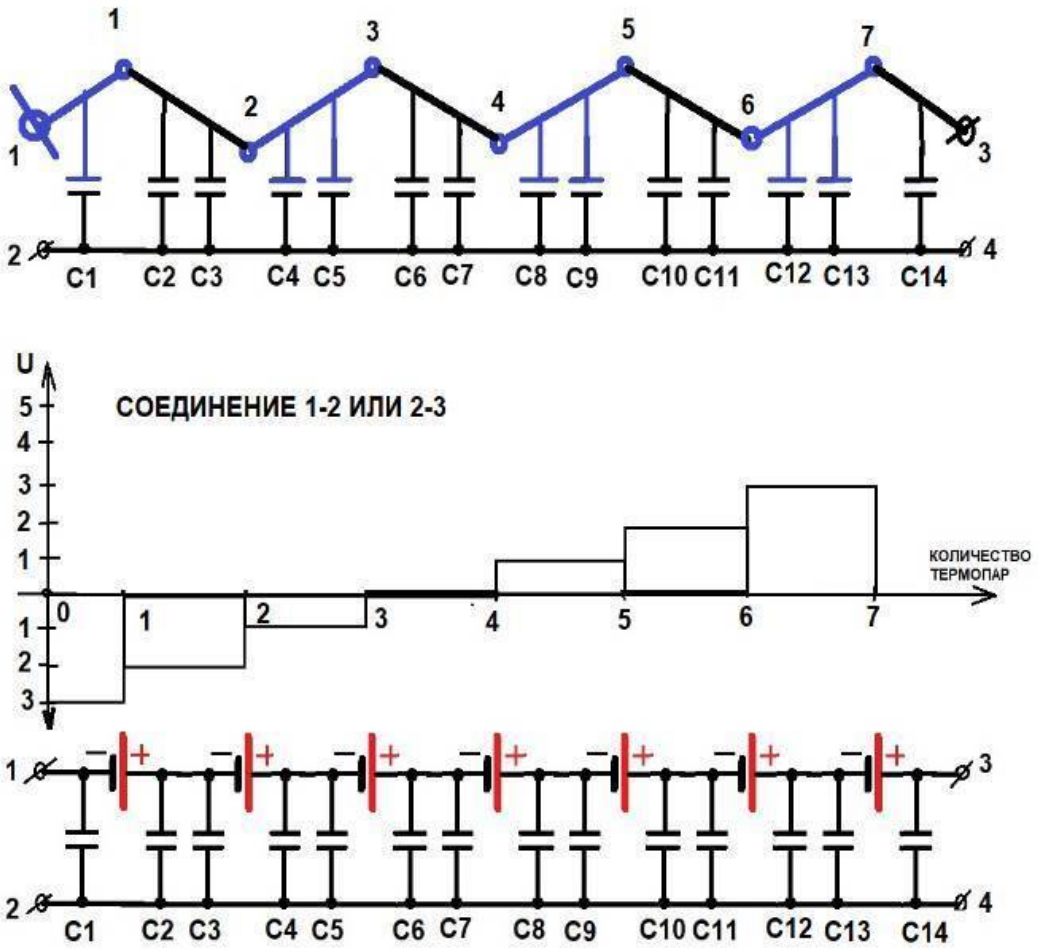

Рис. 22. Схема емкостной термоэлектрической батареи в режиме делителя напряжения с графиком напряжений заряда конденсаторов.

В каждом из двух накопителей все конденсаторы соединяются параллельно с общей емкостью:

C1=C2=C0*n

Где:

n- количество термопар

C0- емкость одного конденсатора.

Напряжение на выходе:

Uвых = U2 = U0/2

Где:

U0- напряжение термоэлектрического генератора.

U2 – выходное напряжение одного из двух емкостных накопителей энергии.

Энергия, запасенная в одном накопителе:

W= кореньC2*U22/2

В формуле корень связан с тем, что каждый конденсатор накопителя заряжается до напряжения текущей термопары + напряжение предыдущих термопар.

Режим 3. Емкостная термоэлектрическая батарея с двумя идентичными накопителями энергии (C1 и C2) с управлением зарядом/разрядом емкостных накопителей.

Эквивалентная схема представлена на Рис. 23.

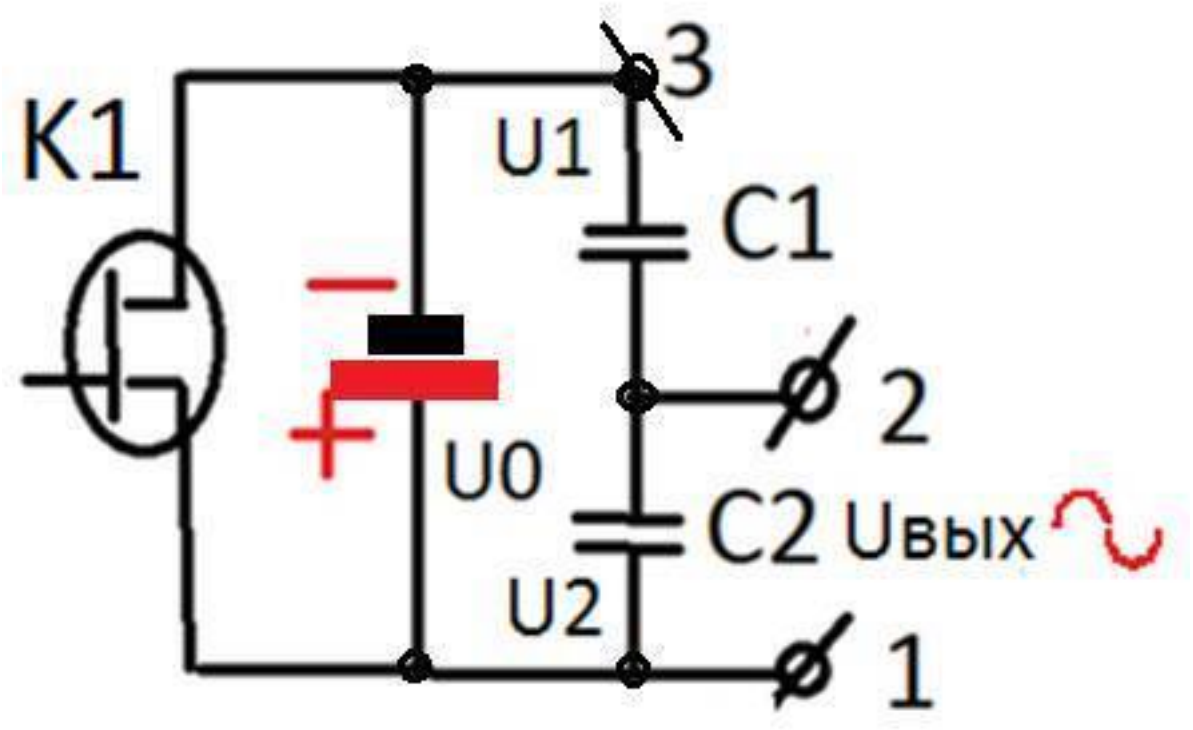

Рис. 23. Эквивалентная схема ёмкостной термоэлектрической батареи в режиме делителя напряжения с управлением зарядом/разрядом.

Представляет собой два идентичных емкостных накопителя энергии, включенные последовательно по типу емкостного делителя напряжения с коммутирующим ключом К1.

Выходное напряжение – переменное. Снимается с контактов – 1-2 одного емкостного накопителя энергии. Термоэлектрический генератор заряжает два накопителя одновременно.

Ключ К1 обеспечивает ток короткого замыкания в цепи всех термопар. Управление коммутацией тока короткого замыкания ключом К1 приводит к тому, что все параллельно соединенные конденсаторы обоих накопителей заряжаются до половины напряжения питания.

U1=U2=U0/2

Где:

U0- напряжение термоэлектрического генератора.

U1 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

U2 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

В противном случае каждый конденсатор накопителя заряжался бы до напряжения текущей термопары + напряжение предыдущих термопар, как было заявлено выше в 1 и 2 режиме.

Схема емкостной термоэлектрической батареи с графиком напряжений заряда конденсаторов двух емкостных накопителей представлена на Рис. 24.

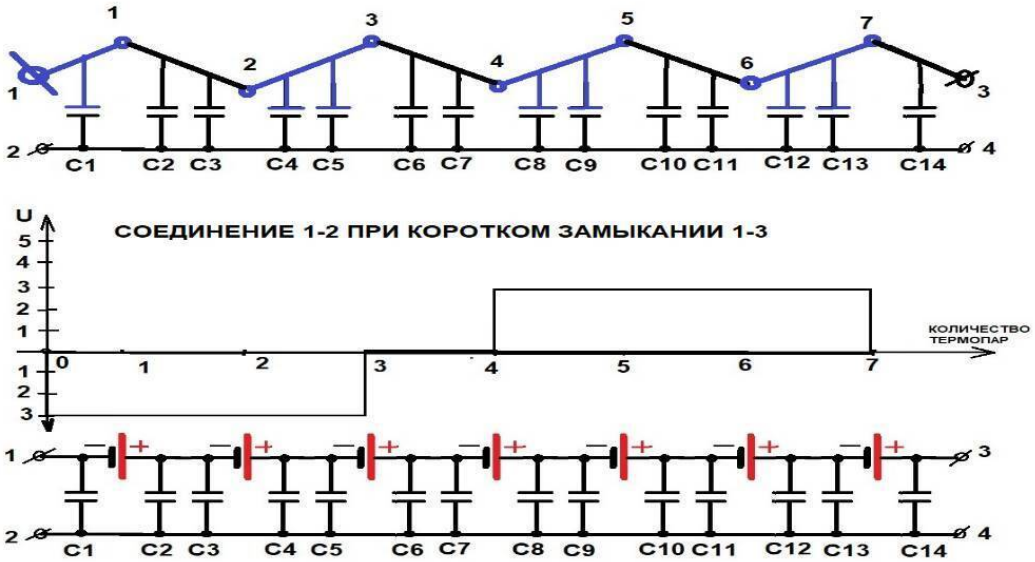

Рис. 24. Схема емкостной термоэлектрической батареи в режиме делителя напряжения с управлением зарядом/разрядом и графиком напряжений заряда конденсаторов.

В каждом накопителе все конденсаторы соединяются параллельно с общей емкостью:

C1=C2=C0*n.

Где:

n- количество термопар.

C0 – емкость одного конденсатора.

Выходное напряжение – переменное:

Uвых = U1+U2 = Uo

Где:

U0- напряжение термоэлектрического генератора.

U1 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

U2 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

Общая энергия системы:

W= C2*Uвых2/2

Режим 4. Емкостная термоэлектрическая батарея с двумя идентичными накопителями энергии (C1 и C2) и индуктивным накопителем с управлением зарядом/разрядом емкостных накопителей.

Эквивалентная схема представлена на Рис. 25.

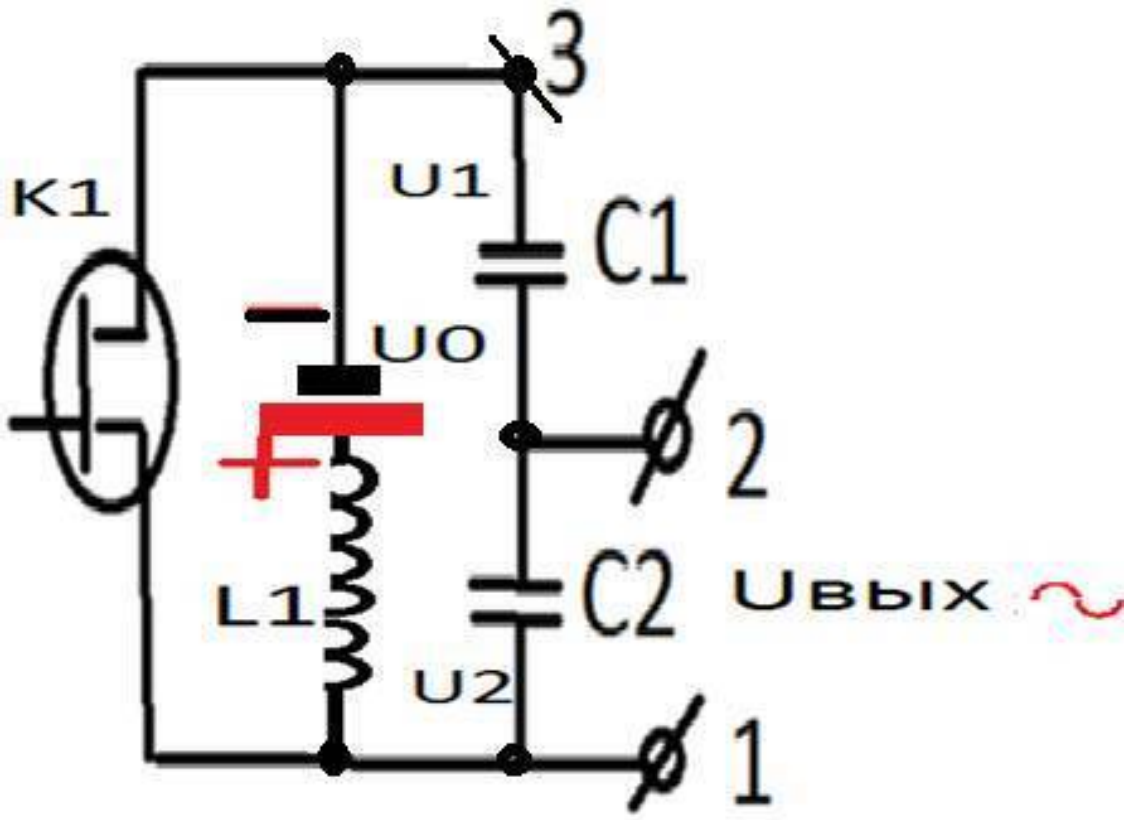

Рис. 25. Эквивалентная схема емкостной термоэлектрической батареи в режиме делителя напряжения с управлением зарядом/разрядом и индуктивным накопителем.

Представляет собой два идентичных емкостных накопителя энергии, включенные последовательно по типу емкостного делителя напряжения с коммутирующим ключом К1 и дополнительным внешним индуктивным накопителем L1.

Выходное напряжение – переменное. Снимается с контактов – 1-2 одного емкостного накопителя энергии. Термоэлектрический генератор заряжает два накопителя одновременно.

Ключ К1 обеспечивает ток короткого замыкания в цепи всех термопар. Управление коммутацией тока короткого замыкания ключом К1 совместно с индуктивным накопителем L1 приводит к тому, что все параллельно соединенные конденсаторы обоих накопителей заряжаются не до половины напряжения питания, как в предыдущем режиме, а до напряжения питания.

U1=U2= Uo.

Где:

U0- напряжение термоэлектрического генератора.

U1 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

U2 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

В противном случае каждый конденсатор накопителя заряжался бы до напряжения текущей термопары + напряжение предыдущих термопар, как было заявлено выше в 1 и 2 режиме.

Схема емкостной термоэлектрической батареи с графиком напряжений заряда конденсаторов двух емкостных накопителей представлена на Рис. 26.

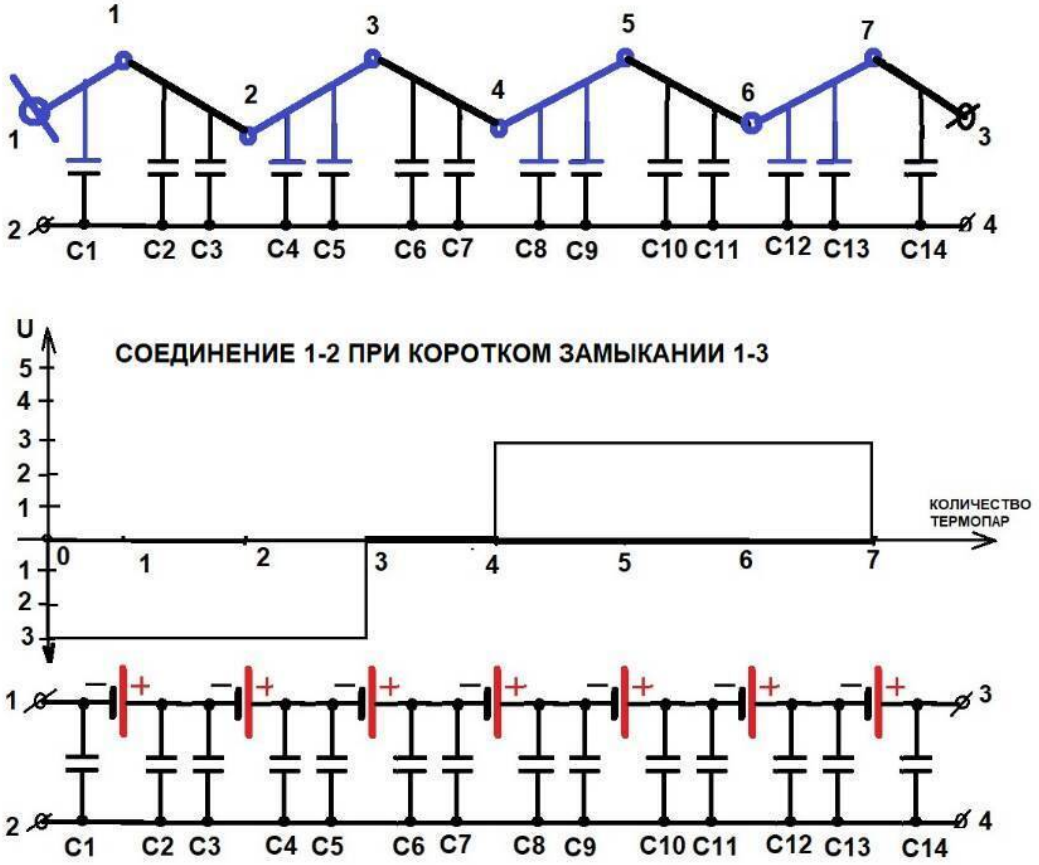

Рис. 26. Схема емкостной термоэлектрической батареи в режиме делителя напряжения с управлением зарядом/разрядом и графиком напряжений заряда конденсаторов.

В каждом накопителе все конденсаторы соединяются параллельно с общей емкостью:

C1=C2=C0*n

Где:

n- количество термопар.

C0 – емкость одного конденсатора.

Выходное напряжение – переменное:

Uвых = U1+U2 = 2U0

Где:

U0- напряжение термоэлектрического генератора.

U1 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

U2 – выходное напряжение одного емкостного накопителя энергии.

Общая энергия системы:

W= C2*(2U0)2/2

Ориентировочные расчетные характеристики

Для оценки уровня энергетических характеристик и КПД предлагаемой емкостной термоэлектрической батареи с индуктивным накопителем для утилизации низко потенциального тепла рассмотрим хромель-копелевые термопары и DT = 50 градусов.

Значения запасенной энергии в емкостной термоэлектрической батарее в зависимости от типа и размеров используемых конденсаторов приведены в следующей таблице.

Таблица № 2

	Тип емкостного накопителя	Выходное напряжение	Количество конденсаторов	Площадь одного конденсатора	Высота диэлектрика - пленка - 0,01 мм. (обычный конденсатор)		Высота диэлектрика - оксид алюминия - 0,1 мкм. (электролитический конденсатор)		Высота диэлектрика - двойной электрический слой - 0,1 нм (ионикс)	
					Емкость накопителя	Энергия накопителя	Емкость накопителя	Энергия накопителя	Емкость накопителя	Энергия накопителя
		В	Шт.	М2	Фарад	Джоуль	Фарад	Джоуль	Фарад	Джоуль
1	Емкостной накопитель со смешанным включением конденсаторов без управления зарядом/разрядом	5	1613	0,2	0,0000000001	0,0000000012	0,00000011	0,0000014	0,0001	0,001
2	Емкостной накопитель без управления зарядом/разрядом	5	1613	0,2	0,000285	0,060	0,285	1,889	285	59,733
3	Емкостной накопитель с управлением зарядом/разрядом	5	1613	0,2	0,000285	0,0036	0,285	3,568	285	3568
4	Емкостной накопитель с управлением зарядом/разрядом и индуктивным накопителем	5	1613	0,2	0,000285	0,014	0,285	14,270	285	14274

Исходя из вышеизложенного, для практических целей, режимы работ емкостного термоэлектрического генератора № 3 и № 4 являются основными для генерации переменного электрического тока.

В этом случае классический металлический термоэлектрический генератор работает не на нагрузку, а на заряд/перезаряд двух емкостных накопителей энергии. И далее, только один емкостной накопитель энергии питает нагрузку переменным током заряда/перезаряда.

Главный недостаток любых термоэлектрических генераторов, как большое внутреннее сопротивление перестает быть значимым. На первый план выходит время заряда/перезаряда двух емкостных накопителей энергии.

Для подтверждения работоспособности идеи был проведен эксперимент, см. рис. 27, на котором проверялась энергетика одного ёмкостного накопителя при токе короткого замыкания во втором и наоборот.

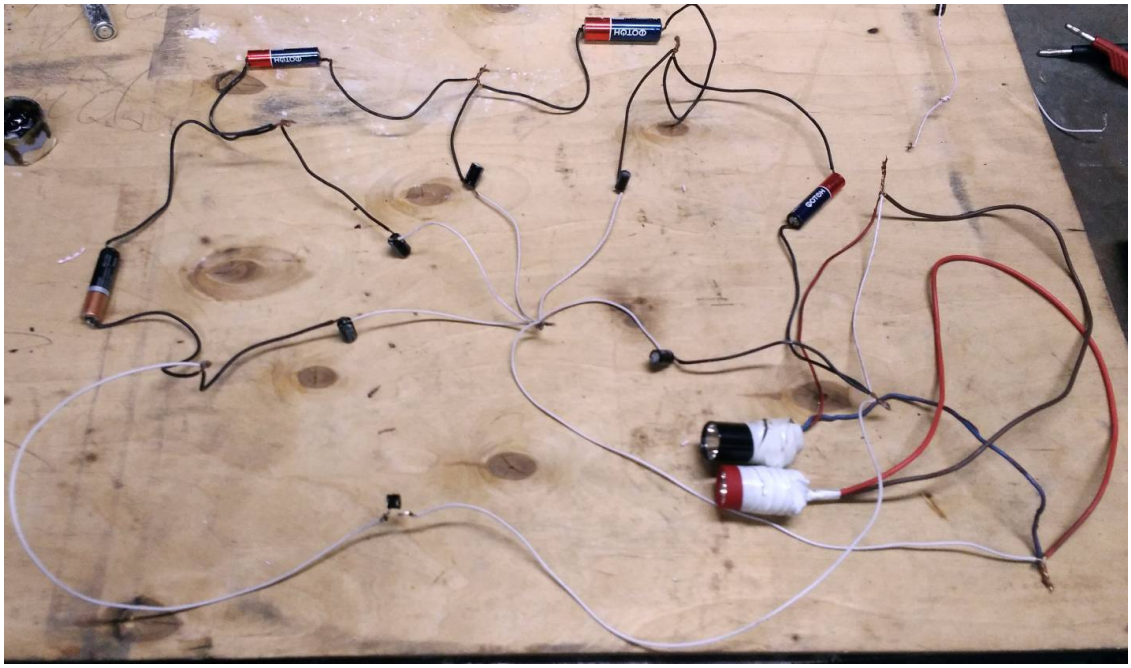

Рис. 27. Эксперимент – энергетика одного ёмкостного накопителя при коротком замыкании второго, и наоборот.

В качестве термопар использовались батарейки на 1.5 вольт.

В качестве двух емкостных накопителей энергии использовались электролитические конденсаторы. Общая емкость каждого емкостного накопителя – 60 мкФ.

В качестве нагрузки использовались два светодиода, включенные параллельно и противополярно.

Результат коммутации тока короткого замыкания термоэлектрического генератора или заряд/перезаряд двух емкостных накопителей энергии визуализируется светодиодами. Переменный ток в нагрузке визуализируется, как поочередная работа двух, включенных противополярно светодиодов.

В этом случае ток в нагрузке зависит только от емкостей двух накопителей энергии и времени их заряда/перезаряда.

Примечание.

Приведенные в вышепоименованной таблице расчетные данные по энергетике емкостных накопителей, запитанных классическими термопарам, термоэлектрического генератора подтверждают заявленное.

Ток в нагрузке зависит только от емкостей двух накопителей энергии и времени их заряда/перезаряда.

Оперируя энергетикой емкостных накопителей в десятки и более джоулей для общего напряжения, вырабатываемого всеми термопарами, например, в 5 вольт можно получить переменный ток в нагрузке, измеряемый амперами!

КПД классического термоэлектрического преобразователя уровня 1 % перестает быть актуальным!

5.8. Линейный полупроводниковый теплообменник функциональной контактной активности с управляемым полем точечных градиентов температур

В данной работе изложены принципы конструкции и управления линейным полупроводниковым теплообменником с формированием управляемого поля точечных температурных градиентов. Используя эффект Пельтье на объёмных полупроводниковых элементах и новую схему фазового развёртывания питающих напряжений, удаётся локально повышать или понижать температуру в отдельных «точках» теплообменника длиной L1, перемещая их вдоль общей линейки длиной L. Предложенная архитектура обеспечивает десятки градусов разброса как в сторону нагрева, так и в сторону охлаждения, при этом конструкция остаётся простой и унифицированной.

Введение.

Линейный полупроводниковый теплообменник с управляемым полем точечных градиентов температур представляет собой инновационное устройство, позволяющее точно контролировать температурные градиенты в различных точках своей структуры. Это достигается за счет подачи возбуждающих напряжений противоположной полярности с определенной частотой и фазовым сдвигом, что приводит к формированию локализованных зон с удвоенным напряжением и, соответственно, изменением температуры.

За основу взят эффекте Пельтье. Эффект Пельтье – электротермическое явление нагрева и охлаждения мест контакта (спая) двух разнородных проводников (металлов, полупроводников), по которым течёт ток. Когда электрический ток пропускают по цепи мест контакта (спая) двух разнородных проводников (металлов, полупроводников), в одном контакте (спае) выделяется тепло, а в другом – поглощается. Это и известно, как эффект Пельтье.

При контакте металлов эффект Пельтье (нагрев/охлаждение) составляет нескольких градусов. При контакте полупроводников эффект Пельтье (нагрев/охлаждение) составляет десятки градуса.

Конструктивное исполнение теплообменника.

В конструктивном плане теплообменник представляет собой сборку последовательно соединённых контактных разностей потенциалов (КРП):

– из разнородных металлических проводников.

– из объёмных полупроводников.

Наиболее перспективными являются теплообменники на объёмных полупроводниках.

Рассмотрим теплообменник на объёмных полупроводниках.

Линейный полупроводниковый теплообменник с управляемым полем точечных градиентов температур по конструктивному исполнению похож на элемент Пельтье. Состоит из множества последовательно чередующихся объёмных полупроводников n-типа и p-типа, которые соединены медным проводником через медные теплообменные пластины, рис. № 28.

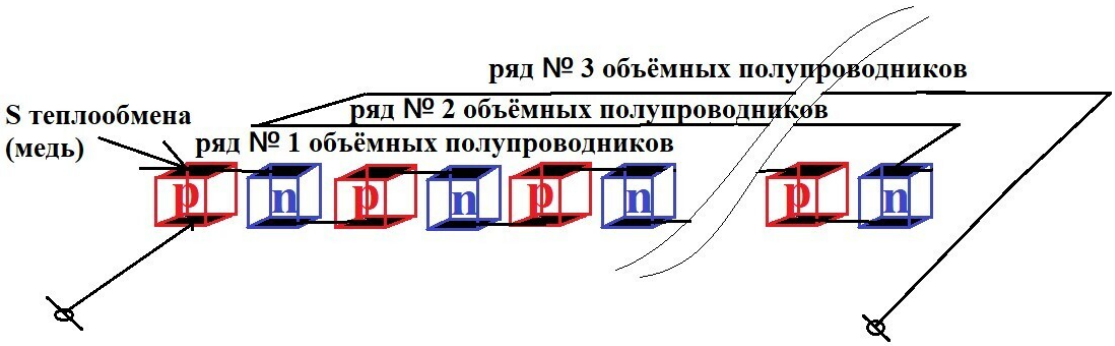

Рис. № 28. Линейный полупроводниковый теплообменник.

Линейка из множества последовательно чередующихся объёмных полупроводников n-типа и p-типа собирается, например, змейкой, непосредственно по всей поверхности или в объёме технологического оборудования, материалов, веществ, соединения и т.п.

Объёмные полупроводники можно взять из готовых элементов Пельтье.

Рис. № 29. Элемент Пельтье в разобранном виде.

В настоящее время промышленность выпускает большую линейку элементов пельтье с полупроводниковыми элементами кубической и прямоугольной формы размерами от 1 до 10 мм.

Принцип работы системы управления

Управление градиентами температур отдельных объёмных полупроводников осуществляется с помощью специальной системы развёртки питающего напряжения.

Система развёртки питающего напряжения построена на основе нового инновационного способа развертки питающего напряжения в длинном проводнике (электрической цепи).

Схематически, способ управления градиентами температур представлен на рис. № 30.

Для управления питанием отдельных источников теплообмена в линейный полупроводниковый теплообменник подают с обоих сторон возбуждающие напряжениях противоположной полярности.

Управлении фазовыми соотношениями двух возбуждающих напряжениях противоположной полярности происходит в высокочастотном трансформаторе Т1 с двумя обмотками со средними точками.

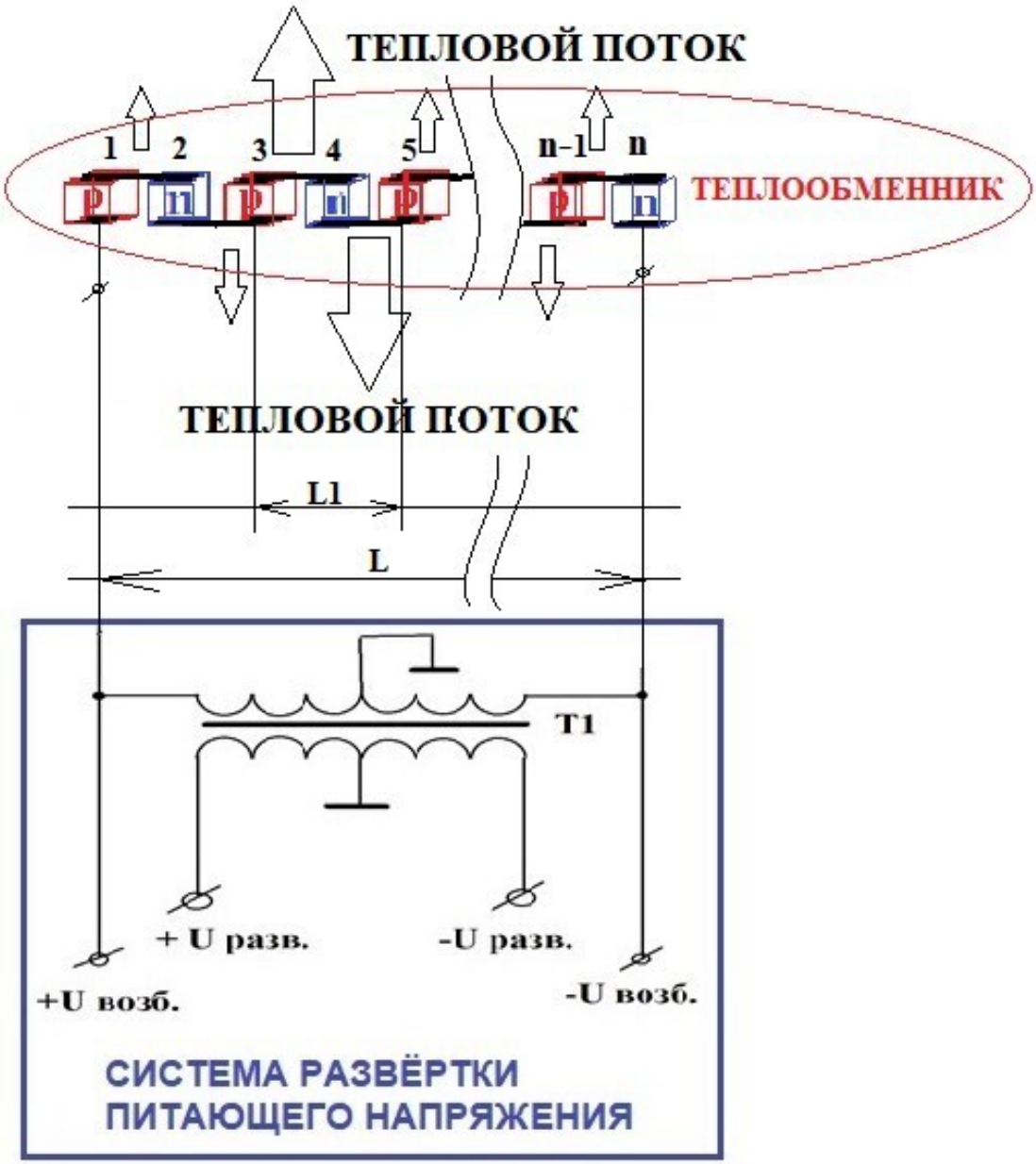

Рис. № 30. Схема реализации способа управления градиентами температур.

Частота возбуждающих напряжений Uвозб. противоположной полярности равной:

F возб. = C / (2*L) Где:

C – скорость света, м/сек.

L – длина теплообменника (длинна последовательной сборки объёмных полупроводников различной структуры), м.

Одновременно в полупроводниковый линейный теплообменник подается с двух сторон напряжение развертки

Uразв., противоположной полярности с частотой:

Fразв. = (C*L1) / L

Где:

L1 – размер “точек” теплообмена (сборок объёмных полупроводников), м.

С – скорость света, м/сек.

L – длина теплообменника (длинна последовательной сборки объёмных полупроводников различной структуры), м.

Трансформатор Т1 изменяет фазы двух возбуждающих напряжений разной полярности так, что они встречаются и пересекаются на элементе длины проводника L1.

За каждый такт напряжения возбуждения в полупроводниковом теплообменнике формируется элемент длинной L1, в котором течет ток с напряжением:

U = 2 * U возб.

График изменения напряжений в полупроводниковом теплообменнике показан на следующем рисунке.

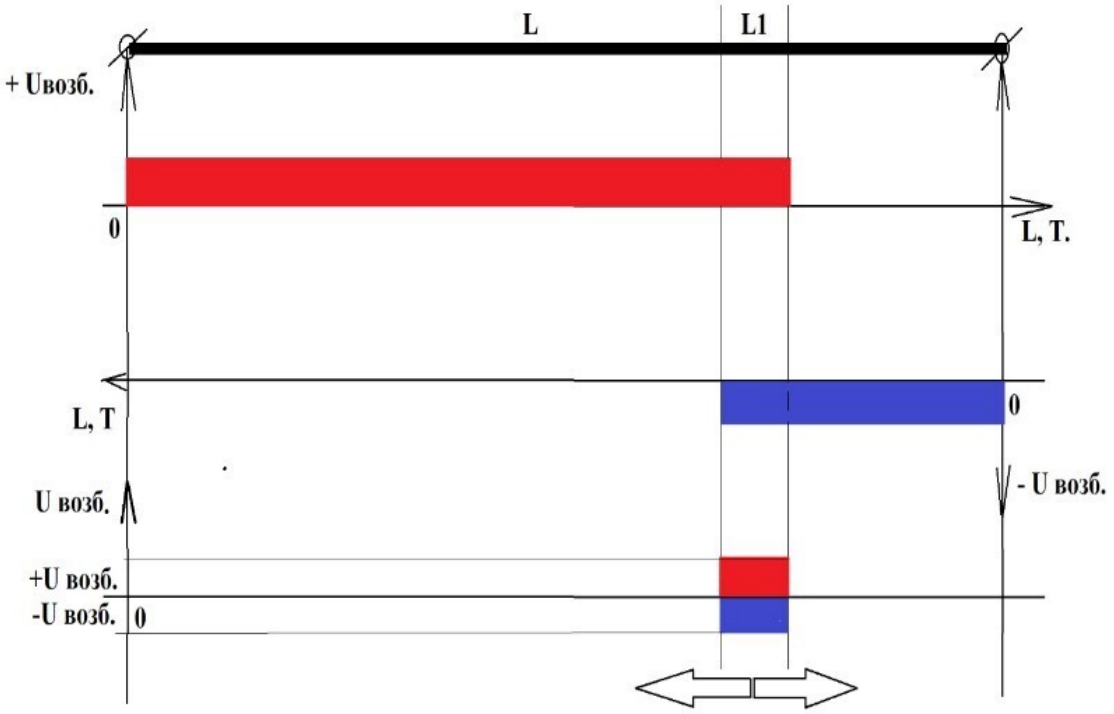

Рис. № 31. График изменения напряжений в полупроводниковом теплообменнике.

Благодаря управлению фазовыми сдвигами – в каждом такте подачи напряжений возбуждений присутствует строго заданное место L1 в полупроводниковом теплообменнике общей длинной L, по которому протекает ток с напряжением:

U = 2 * U возб.

Все последовательно соединённые объёмные полупроводниковые элементы теплообменника, при подаче напряжения возбуждения (U возб.) становятся источниками небольшого (фонового) равномерного теплообмена по аналогии с процессами, которые протекают в элементе Пельтье.

Ситуация с теплообменом меняется, когда в каждый такт подачи напряжения возбуждения (U возб.) по выбранному участку длинны L1 протекает ток с удвоенным напряжением возбуждения (U = 2 * U возб.). На участке длинны L1, объёмные полупроводниковые термоэлементы становятся источником дополнительного теплообмена, местом приложения которого можно управлять по аналогии, как управляется развёртка изображения в телевизоре.

В линейном полупроводниковом теплообменнике с управляемым полем точечных градиентов температур, температурное поле состоит из множества “точек” (сборок объёмных полупроводников) теплообмена с независимым управлением положительными и отрицательными температурными градиентами. Отдельными “точками” теплообмена можно управлять (нагревом / охлаждение) в пределах десятков градусов. Размер “точек“ теплообмена зависит от выбора размеров объёмных полупроводников.

Преимущества.

– Точность и гибкость. Возможность независимого управления каждой точкой теплообмена позволяет проводить термофизические и термохимические процессы с высокой точностью.

– Простота конструкции. Устройство имеет простое конструктивное исполнение, что облегчает его воспроизведение в лабораторных условиях.

– Отсутствие недостатков матричных теплообменников. Линейная структура и система управления развёрткой питающих напряжений позволяют избежать проблем, присущих матричным теплообменникам.

Применение.

Линейный полупроводниковый теплообменник предназначен для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), а также для проведения различных термофизических и термохимических процессов внутри и на поверхности различных материалов и веществ.

Таким образом, данное устройство предоставляет уникальные возможности для точного и гибкого управления температурными градиентами, что открывает новые перспективы в области термофизических исследований и технологий.

5.9. Генерация и электростатическая локация на основе гексагональных топологий функциональной контактной активности полупроводников p-n типа и металлов

Рассматривается возможность генерации электрического потенциала в гексагональной (шестигранной) многоконтурной структуре на основе систем с контактной разностью потенциалов, включающих p–n-переходы, в условиях действия электростатического поля Земли и флуктуационного отклонения от термодинамического равновесия. Предложена модель объёмного накопления заряда в полупроводниковых структурах за счёт взаимодействия барьерной и диффузионной ёмкости с внешним электростатическим фоном. Обсуждаются ограничения, обусловленные законом Вольта и термодинамикой, а также возможные направления обхода этих ограничений путём создания неравновесных условий.

Введение.

Электрическое поле Земли у её поверхности составляет в среднем 120–150 В/м. Несмотря на высокую величину этого поля на больших масштабах, практическое применение его для непосредственной генерации электричества традиционными средствами представляется затруднительным. Это обусловлено равномерностью поля на макроуровне и отсутствием направленного движения носителей заряда в условиях термодинамического равновесия.

Принципиальным ограничением в использовании контактных разностей потенциалов в таких системах является закон Вольта, согласно которому в замкнутом металлическом контуре при термодинамическом равновесии сумма контактных ЭДС всегда равна нулю. Исключение представлены случаи, в которых система выведена из равновесия, например, за счёт внешнего теплового градиента. Однако в равновесных схемах без внешнего воздействия ожидаемое напряжение должно стремиться к нулю, а ток короткого замыкания отсутствовать.

Тем не менее, возможны условия, при которых даже в казалось бы равновесной среде проявляются эффекты, обусловленные:

– флуктуационно-неравномерным распределением электростатических зарядов в атмосфере и на поверхности Земли;

– микронеоднородностями температуры в материалах (анизотропия теплопроводности, локальные неоднородности);

– накоплением объёмного заряда в ёмкостях p–n-переходов под действием внешнего слабого поля;

– асимметричной охваткой электрического поля Земли в многоузловых гексагональных структурах с неидентичной топологией элементов.

Ограничения, накладываемые термодинамикой.

Рассмотрим контакт металлов с различной работой выхода. При их соединении возникает контактная разность потенциалов. Однако ток не возникает, поскольку электроны перераспределяются до тех пор, пока внутреннее электрическое поле не компенсирует энергетическую разницу, установив равновесие. Аналогичное поведение проявляется и в контактах металл–полупроводник и p–n-переходах. Таким образом, при отсутствии градиентов (температурных, химических и пр.) система не может служить источником энергии.

Формально:

сумма (Vконтактных) = 0 (в замкнутом контуре при T = const)

Возможности и ограничения генерации.

Неравновесные условия.

Контактные системы могут давать ЭДС, если один или несколько компонентов изменяют свои характеристики под действием внешних факторов (освещение, магнитное поле, радиация,

заряды и пр.). Например, фотопереходы, где эффективность обусловлена изменением барьерной высоты при освещении или магниторезистивные эффекты в магнитных полупроводниках.

Таким образом, при создании пространственно-временной асимметрии система может демонстрировать нетривиальное поведение: локальное увеличение плотности электронов в одной зоне способно изменять ёмкость перехода, формируя узкую пиковую зону генерации.

Электрическое поле Земли

Напряжённость поля Земли в 120–150 В/м теоретически способна поляризовать непрерывную диэлектрическую среду и формировать ёмкостное накопление заряда. Однако генерация возможна только при наличии:

– замкнутого асимметричного пути зарядов (например, p–n–p–n цепочки);

– неоднородного поля вдоль длины цепочки;

– возможностей накопления (ёмкостное запаздывание).

Гексагональные контуры и топология сети.

Предлагается использование повторяющейся гексагональной структуры, состоящей из p–n элементов, соединённых по типу "пчелиных сот". Вся система формирует множественные контурные путевые цепи, каждая из которых обеспечивает определённую контактную разность потенциалов.

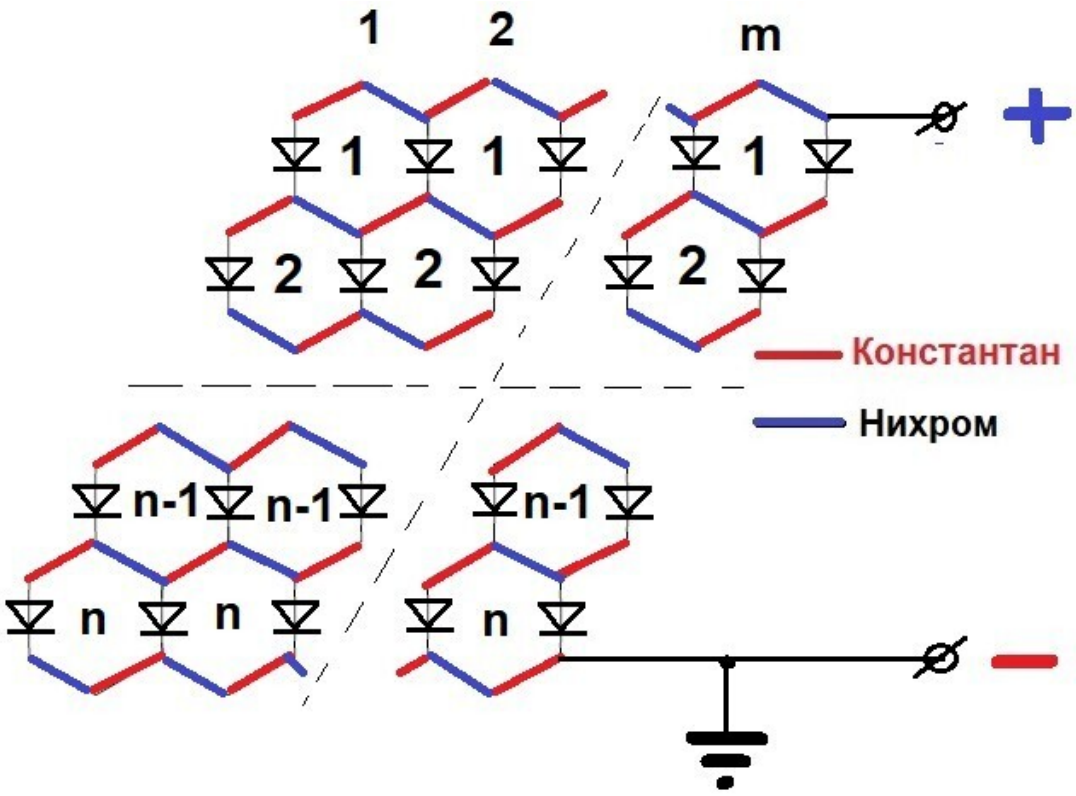

Рис. 32. Пример гексагональной топологической схемы.

При воздействии естественного поля Земли на системе создаётся общая потенциальная разность, зависящая от взаимного расположения элементов, углов и направления встречного поля. Асимметрия по полю и пространству приводит к появлению результирующих напряжений на клеммах, особенно заметных при использовании чувствительного вольтметра с высоким входным сопротивлением.

Особенности физики p–n-перехода.

Барьерная ёмкость (C_b) и диффузионная ёмкость (C_d) в полупроводниковом переходе могут выступать, как накапливающие элементы:

$Q = C_b \cdot V + C_d \cdot dV/dt$

Электрический фон планеты (в т. ч. шумовые электростатические колебания, фоновые атмосферные разряды, градиенты ионосферы) в течение времени могут приводить к периодическому «перераспределению» зарядов внутри ёмкостей переходов, не вызывая токов, но формируя напряжение на выходе системы.

Экспериментальная проверка.

Гексагональная топология состоит из 48 идентичных, последовательно соединённых по диагонали электрических контуров. Каждый контур состоит из двух полупроводников, двух металлов из константана и двух металлов из нихрома. Узловые точки – контактных разностей потенциалов 3-х материалов – константан, нихром и полупроводник.

Конструктивное исполнение системы показано на следующем рисунке.

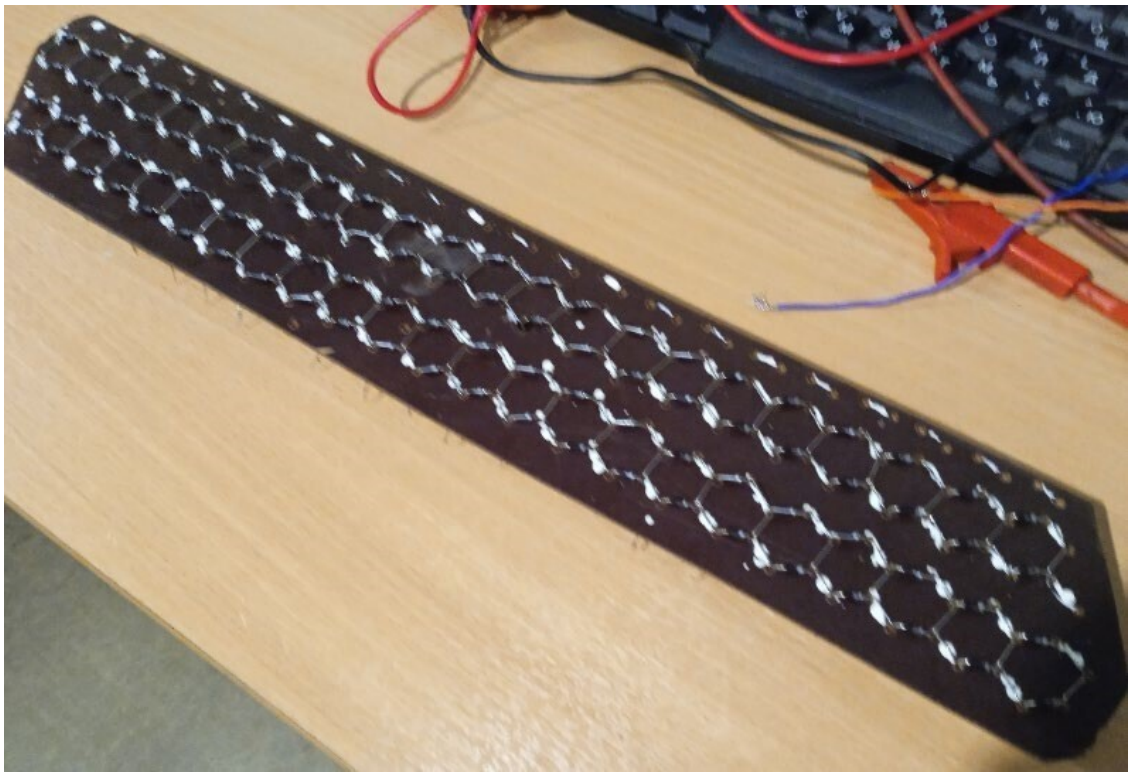

Рис. № 33. Гексагональная топология системы источника электрической энергии.

Экспериментом подтверждены следующее характеристики:

При заземлении такой системы:

– Выходное напряжение системы возрастает до 12,3 вольт.

– Выходное напряжение изменяется на уровне десяток милливольт при повороте системы (изменении ориентации) в магнитном поле земли.

– Ток короткого замыкания – 13.2 мкА.

– Ток короткого замыкания стабилен при непрерывном измерении в течении нескольких дней.

– Добавление нового ряда по диагонали в гексагональной топологии увеличивает пропорционально ток короткого замыкания без значительного увеличения выходного напряжения.

Перспективы исследований

– Моделирование поведения сетей из p-n-переходов в переменных электростатических и магнитных полях.

– Экспериментальная верификация шумовой генерации в статичных электроёмкостных структурах.

– Создание схем с управляемой топологией накопления и рекомбинации заряда в многоузловых сетях.

– Разработка сенсорных систем на базе гексагональных топологий, способных реагировать на слабые электромагнитные поля естественного происхождения.

Вывод.

В системе происходят сложные взаимодействия между различными компонентами и внешними условиями.

Подтверждается влияние электрического заряда земли, отдельных электрических зарядов и магнитного поля земли на создание временной асимметрии в гексагональной топологической схеме (множеству шестигранных контуров, по типу пчелиных сот с контактной разностью потенциалов) для генерирации электричества в условиях термодинамического равновесия. Барьерная и диффузионная емкости каждого полупроводника будут являются накопителями заряда земли в объёме p-n перехода. Таким образом электрический заряд земли совместно с контактной разностью потенциалов формирует объемный заряд в барьерной и диффузионной емкости p-n перехода.

Работа системы за пределы термодинамического равновесия и проявленные при этом эффекты является новым и интересным направлением в электрической генерации. Предварительно, экспериментальными работами подтверждено, что такая система, при нарушении термодинамического равновесия (например, общий нагрев) – не нуждается в дополнительном охлаждении каких-либо противоположных узлов, как у элемента Пельтье. В этом случае можно предположить, что замена в системе одного типа полупроводника на другой должна генерировать электричество уже от общего охлаждения системы, но это задел на будущие ОКР и публикации по ним.

Благодаря возможности накопления заряда не на обкладках, как у классического конденсатора, а в объёме p-n перехода – гексагональная топологическая схема полупроводников и металлов с контактной разностью потенциалов без заземления превращается в высокочувствительный датчик электрического поля.

Использование гексагональной топологии в качестве датчиков измерения и регистрации изменений в уровне различных электростатического и магнитного полей будет полезна в различных областях науки и техники, например: мониторинг уровней загрязнений, радиационных полей и температурных изменений окружающей среды, контроль качества воздуха, влияния электростатических полей на различные физические процессы, такие как поведение частиц, движение жидкостей и газов, а также химические реакции, мониторинг производственных процессов и оборудования, медицинская диагностика, мониторинг уровни электростатического поля вокруг защищаемых объектов, электростатическая локация и т.п.

5.10. Генерация электрического напряжения на основе гексагональной топологии функциональной контактной активности в системе «константан – нихром – медь с оксидом меди (р-тип)

В работе представлены результаты экспериментального исследования системы, построенной на основе гексагональной топологии, использующей материалы с различной работой выхода электронов – константан, нихром и медь, прошедшая термообработку с формированием на её поверхности слоя полупроводника р-типа (CuO). Подтверждена способность структуры генерировать электрическое напряжение в условиях, близких к термодинамическому равновесию. Анализируется макротопология системы, поведенческие особенности выходных параметров в зависимости от ориентации относительно магнитного поля Земли и присутствия электростатических зарядов поблизости. Обоснована перспективность использования полученной структуры в качестве датчика слабых полей.

Введение.

Использование контактной разности потенциалов различных металлов в термодинамически замкнутых системах традиционно рассматривалось как энергетически бесперспективное направление ввиду невозможности получения направленного тока без внешнего нарушения равновесия (температурного, химического и др.). Однако появление новых геометрических и топологических подходов к организации многоконтурных цепей позволило экспериментально выявить нетривиальные эффекты при взаимодействии материалов с различной электрохимической активностью, способных к формированию неэквивалентных локальных потенциалов.

Конструкция экспериментальной установки.

Компонентами гексагональной топологии являются:

– Константан (сплав никеля и меди) – известен низкой термоЭДС, стабильной работой выхода;

– Нихром (сплав никеля и хрома с алюминием) – обладает выраженной активной работой выхода и устойчив в высокотемпературной среде;

– Медь, прошедшая термообработку на открытом пламени – на поверхности меди при обжиге до красного состояния формируется тонкий слой оксида меди (CuO), обладающего полупроводниковыми свойствами р-типа.

Система состоит из 37 взаимосвязанных электрических контуров, соединённых в форму большого шестигранника:

– Каждый элементарный контур представляет собой шестиугольник, состоящий из чередующихся участков проволок из константана, нихрома и меди с оксидным слоем;

– Все узлы сети были обожжены до температуры красного каления, обеспечивая формирование CuO на участках из меди;

– Общая структура имеет размерность 4 единичных контура по стороне (условный радиус гексасоты);

– Схема включена без гальванического заземления, напряжение снимается с концов выбранных диагоналей структуры.

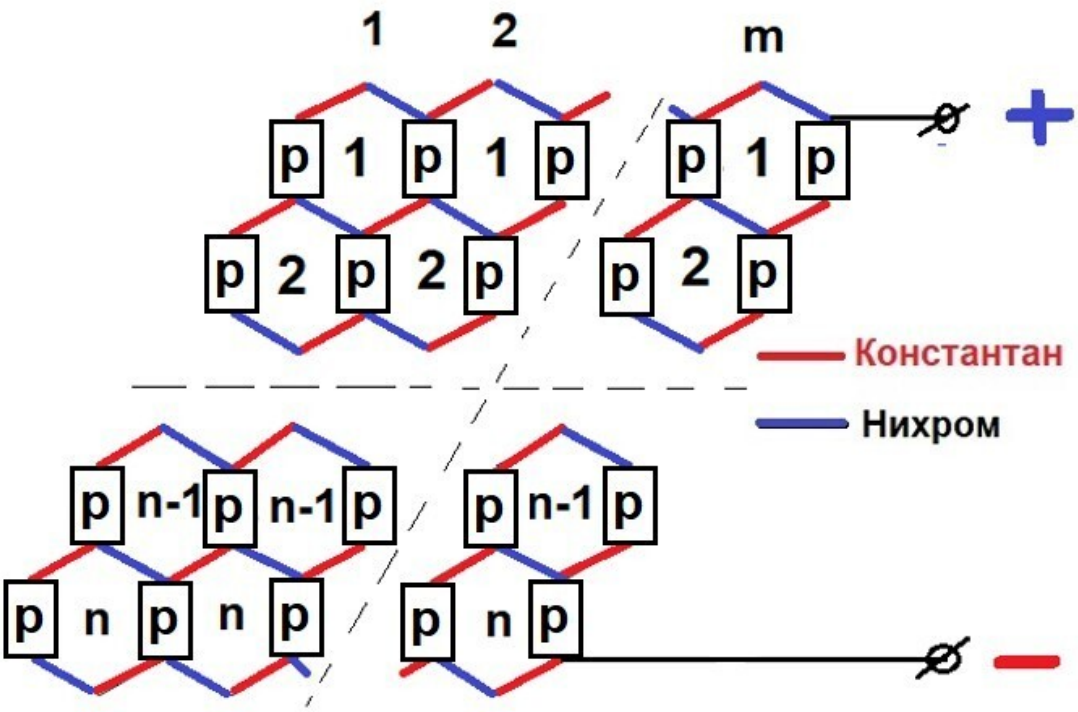

Рис. 34. Схематическое изображение гексагональной структуры и узловых соединений.

Экспериментальная проверка.

Гексагональная топология состоит из 37 идентичных электрических контуров, которые в свою очередь представляли один большой шестигранник.

Каждый контур состоит из последовательно включённых металлов (константан и нихром) и медных проводников, которые прошли термическую обработку. В этом случае на поверхности меди сформирован тонкий слой полупроводника р – типа.

Технология изготовления полупроводника р-типа из медной пластины достаточно проста. Обжиг при высокой температуре меди формирует на её поверхности тонкий слой оксида меди, который является полупроводником р-типа.

В практическом плане сначала была сформирована (связана) гексагональная топология системы из множества узлов 3-х проволок различных материалов – константан, нихром и медь.

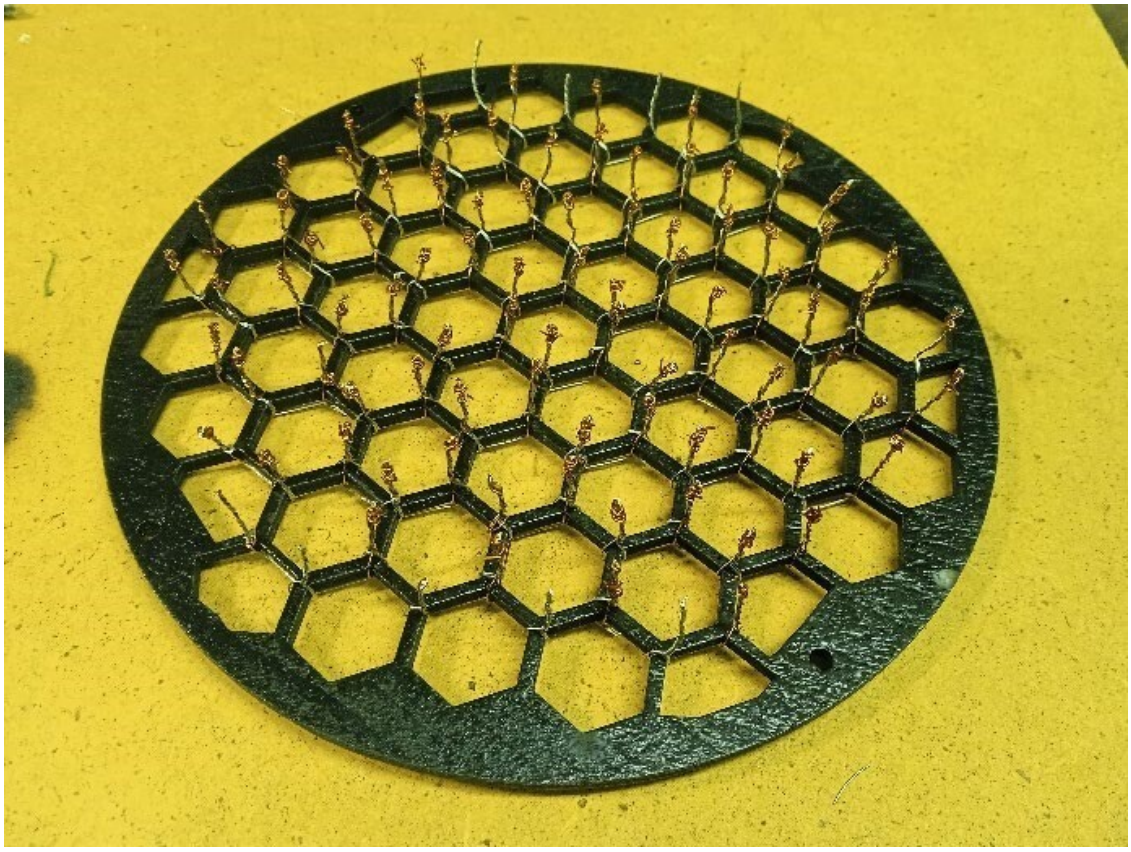

Рис. № 35. Гексагональная топология системы из константана, нихрома и меди.

Затем все узлы (связки) были обожжены горелкой до красна, для целей формирования поверх медных проволок слоя полупроводника р-типа из оксида меди.

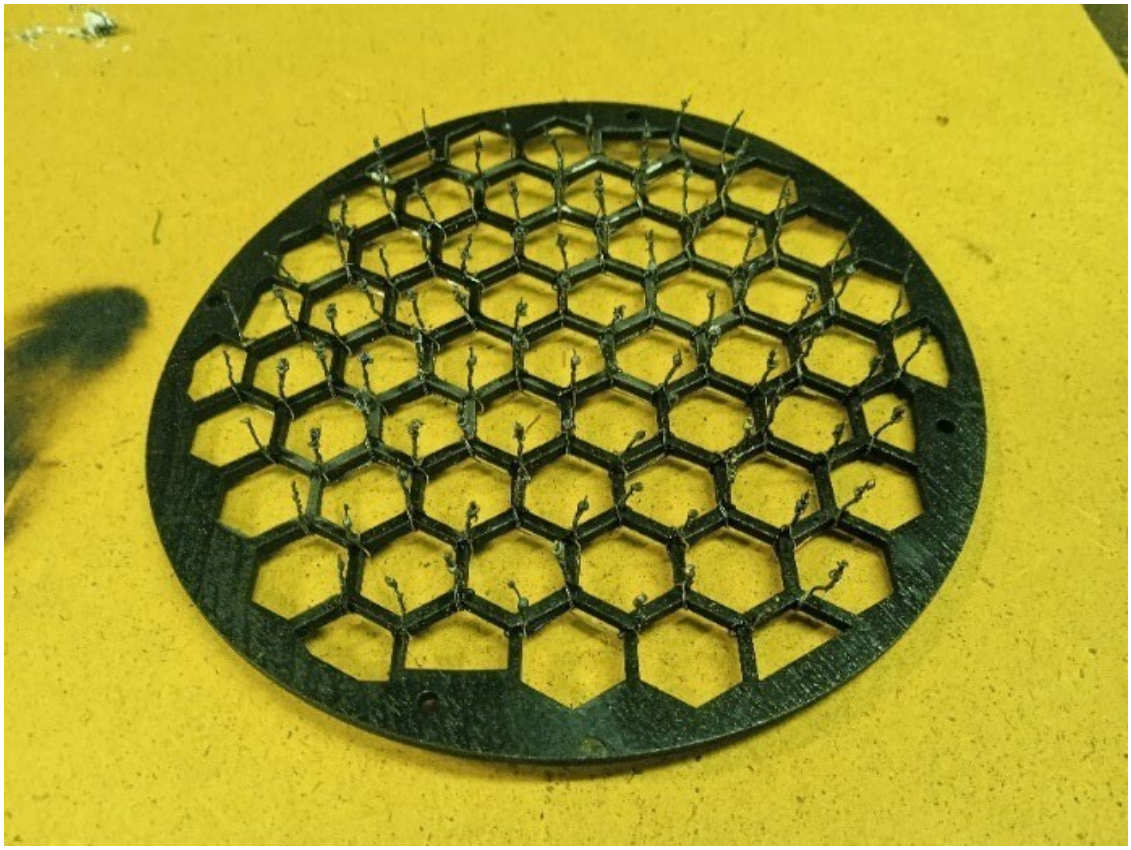

Рис. № 36. Гексагональная топология системы из константана, нихрома **и полупроводника р-типа** на основе оксида меди.

Экспериментальные результаты.

Статические характеристики выходного напряжения:

– Минимальное фиксированное напряжение: 0,02 мВ (в положении минимального отклика);

– Максимальное фиксированное напряжение: 0,4 мВ (в положении максимального отклика);

– Напряжение отмечает выраженную зависимость от:

• положения человека вблизи системы (до 0,5 м);

• ориентации оси структуры относительно вектора магнитного поля Земли;

• действующих локальных электростатических зарядов (например, заземлённая рука, предметы).

Динамические колебания выходного сигнала.

– При снятии показаний между двумя вертикальными диагоналями отдельных контуров фиксировалось переменное напряжение на частотах 0,5–1 Гц;

– Амплитуда этих колебаний зависит от положения объекта (человека), параметров заземления и наклона конструкции;

– Эффекты нелинейны по отношению к типу металлических узлов и, по-видимому, опосредованы микроэлектростатическими колебаниями среды.

– Электрический ток максимальный измеренный ток короткого замыкания – 10 мкА. Характер тока имеет пульсирующую (непостоянно-импульсную) форму и фазовую связанность с переменным напряжением между диагоналями.

Физическая интерпретация результатов.

Формирование полупроводниковых свойств на медных участках (CuO-r-типа) приводит к образованию диодно-подобного элемента в каждом узле с возможностью накопления объёмного заряда в зоне барьерной и диффузионной ёмкости;– Эффекты асимметрии формируются за счёт пространственной и энергетической неидентичности комбинированных переходов константан–CuO–нихром, что хронически нарушает условие "нулевого" суммарного напряжения, при неравномерном фоне внешнего электростатического поля. При гексагональной компоновке действуют не только линейные, но и контурные законы, создающие множественные локальные асимметрии, потенциально способные объединяться в макроскопический результат.

Роль внешних полей.

Электрическое поле Земли (120–150 В/м) формирует пространственный заряд внутри чувствительного слоя p-типа (CuO). Магнитное поле Земли и его ориентация по отношению к структуре также влияют на выходной сигнал – что подтверждает возможность проявления эффекта магнетопотенциала.

Перспективы применения.

Учитывая высокую чувствительность системы к малейшим отклонениям во внешнем поле, она может быть применима:

– для мониторинга электростатических нагрузок вблизи технических объектов;

– в экологических системах слежения за аэрозольно-зарядовым составом атмосферы (гроза, пыль, радиоактивные выбросы);

– в технологиях «электростатической локации» маломощных объектов;

– в медицинской диагностике как пассивный регистратор биоактивности или внешнего поля больных тканей;

– в неинвазивной оценке удалённого воздействия плавающих или газообразных сред на структуры.

Заключение.

Экспериментально подтверждена возможность формирования выходного напряжения в гексагональной топологической электрической структуре, построенной из чередующихся проводников с различной функцией выхода – включая формирование полупроводникового слоя p-типа. Присутствие переменного выходного сигнала при ориентации в естественном поле Земли, а также отклик на влияние человека вблизи, доказывает, что система регистрирует слабые отклонения внешних полей и может использоваться как чувствительный датчик. Работа за пределами термодинамического равновесия и наблюдаемые вызванные этим эффекты открывают новые направления разработки в области альтернативной генерации энергии и сенсорики.

Будущие исследования.

– Замена p-типа (CuO) на n-тип (например, ZnO) для проверки эффекта генерации при общем охлаждении системы;

– Моделирование ёмкостной и контурной взаимосвязи между шестигранными узлами;

– Разработка контроля выходного потенциала с целью его усиления или конвертации в заряд рабочих ёмкостей;

– Валидация датчиков в полигонных условиях (на открытом воздухе, в чистых и загрязнённых зонах);

– Интеграция с повышающей DC-DC обвязкой для питания маломощной электроники (BIOS, IoT).

5.11. Эксперименты: влияние внешних факторов на гексагональную топологию функциональной контактной активности полупроводников и металлов

ЭКСПЕРИМЕНТ № 1:

Гексагональная топология с последовательным включением полупроводников с контактной разностью потенциалов

Цель:

Оценка электрофизических характеристик гексагональной схемы, в которой полупроводниковые элементы (сформированные на поверхности меди после высокотемпературного обжига) включены последовательно с участками из разнородных металлов (константана и нихрома).

Методика:

А) Изучалась система, состоящая из 23 гексагональных электрических контуров, построенных по «сотовому» принципу: в каждом контуре – полупроводник (CuO) включён последовательно с двумя различными металлами.

Б) Для отдельного элемента применялась модель: 7 последовательно соединённых диодов (p–n элементов) и проводников с направлением от константана к нихрому (– константан + нихром).

В) Использовалась схема без гальванического заземления. Измерения напряжений производились в термодинамически стабильных условиях (t = 24 C).

Конструкция и примеры соединений представлены на следующем рисунке.

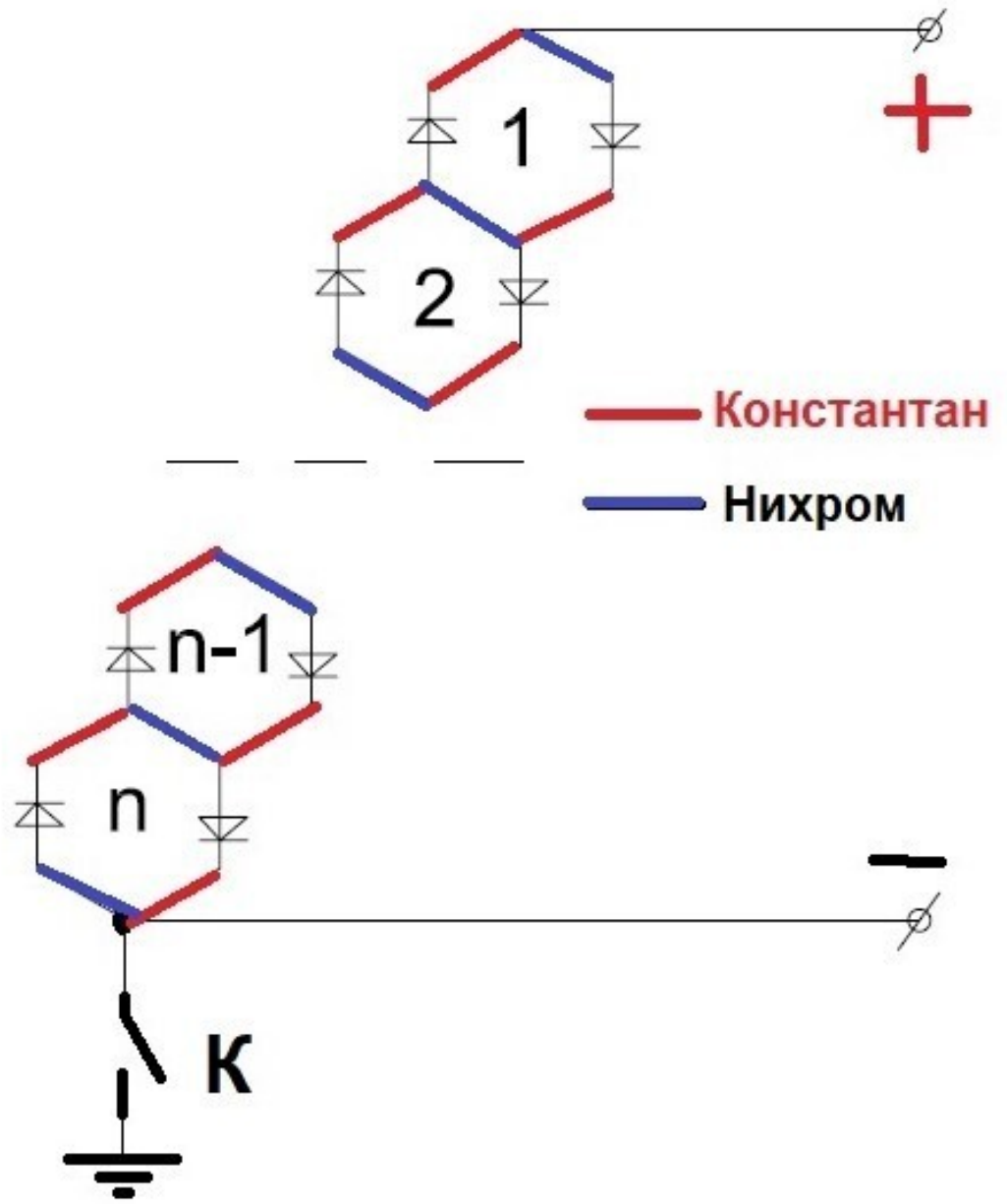

Рис. 37. Схема эксперимента: структура гексагональной ячейки из металлов и полупроводника (р-типа).

Вариант конструктивного исполнения системы, у которой полупроводники в каждом контуре включены последовательно показан на следующем рисунке.

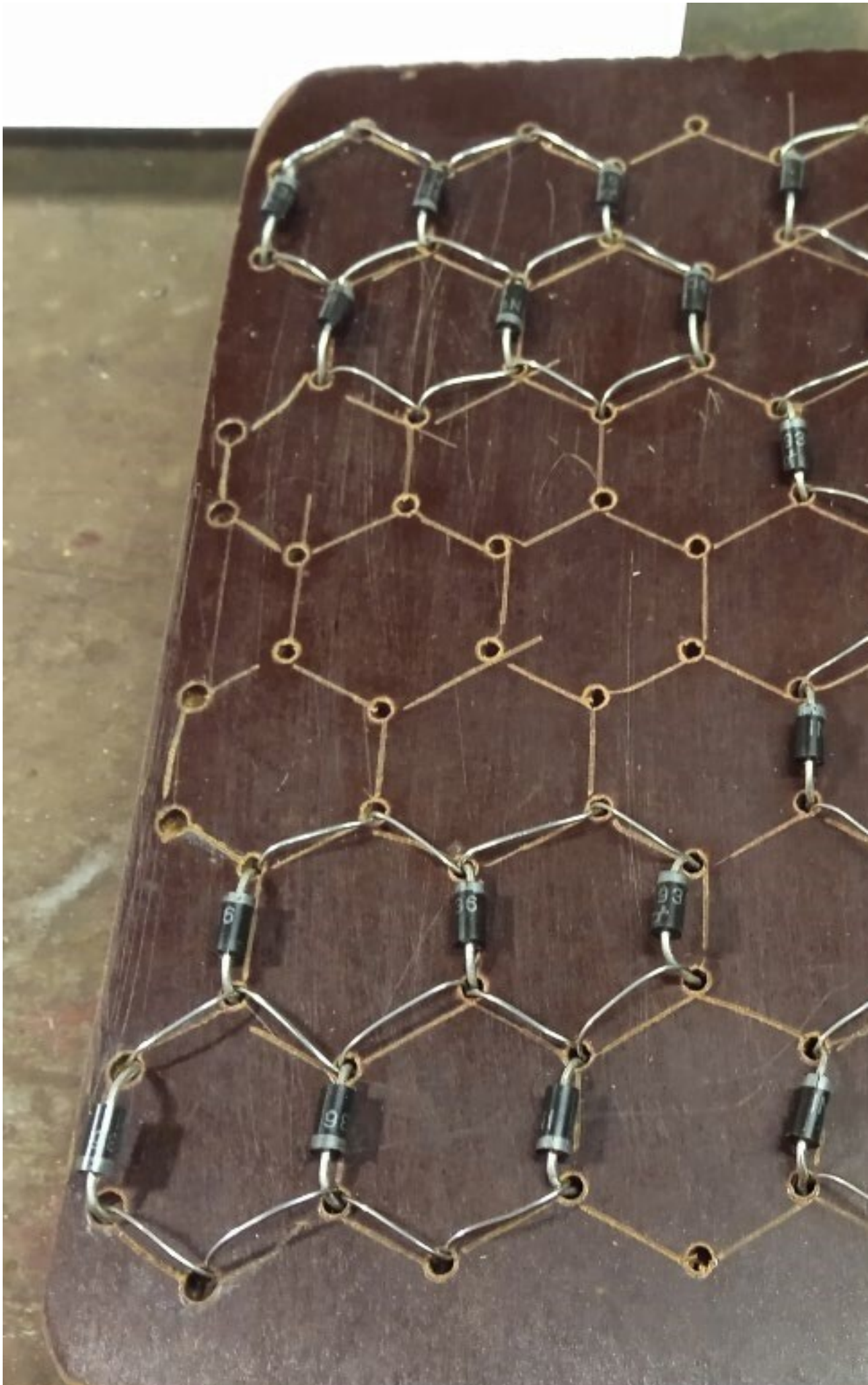

Рис. № 38. Варианты конструктивного исполнения систем.

Результаты:

Сводные значения выходных характеристик приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты измерений (Эксперимент № 1)

Термодинамическое равновесие, t= 24 градуса.				
Система	U вых., мВ.	ΔU вых. мВ. (человек приближается к системе с расстояния 2-х метров)	Ток к.з., мкА	Распределение напряжений по контурам, мВ.
23 контура	30	5	-	4; 3; 5; 4; 6; 5; 7;6 … (увеличивается по типу: ↓↑↓ ↑↓↑↓↑…)

Наблюдения:

– Зависимость выходного напряжения от положения человека (в пределах 2 м).

– Отсутствие коротко-замыкающего тока при любых конфигурациях.

– Динамика напряжения по цепи: на чётных контурах U вых. возрастает на +2…3 мВ, тогда как на нечётных снижается на 1 мВ.

– Суммарное выходное напряжение не является простой алгебраической суммой напряжений с отдельных контуров.

– Распределение показаний напряжения по гексагональной структуре демонстрирует признаки взаимной асимметрии, не поддающиеся простому линейному моделированию.

Вывод:

– В системе фиксируются тонкие токовые и напряженческие асимметрии, обусловленные сложным взаимодействием контактных потенциалов, внешнего электрического и магнитного поля Земли, а также присутствием приближающихся зарядов (человека как объекта).

– Гексагональная топология проявляет себя как чувствительная к изменениям электрического поля, а изменение напряжения по направлениям может быть интерпретировано аналогично фазированной антенной решётке.

– Заземление системы не влияет на чувствительность.

– Зафиксирован потенциал применения топологии как пассивного пространственного датчика перемещений зарядов или источников поля.

ЭКСПЕРИМЕНТ № 2

Гексагональная топология с встречно включёнными полупроводниками и разнородными металлами

Цель:

Анализ поведения гексагональной полупроводниково-металлической структуры, в которой элементы соединены встречно как по направлению включения p–n-переходов, так и по ходу токов в смежных контурах.

Методика:

А) Исследовалась модель схемы, в которой полупроводниковые элементы (оксид меди p-типа) были включены встречно-параллельно внутри каждого контура, а гексагональная топология формировалась из чередующихся участков из константана и нихрома.

Б) Прототип содержал 4 встречно включённых диода и металлических проводника (константан – диод – нихром), отключённых от земли.

В) Измерения проводились в термостатированных условиях при температуре окружающей среды 24 С. Все участки подвергались одинаковой термической обработке.

Схема эксперимента представлена на следующих рисунках.

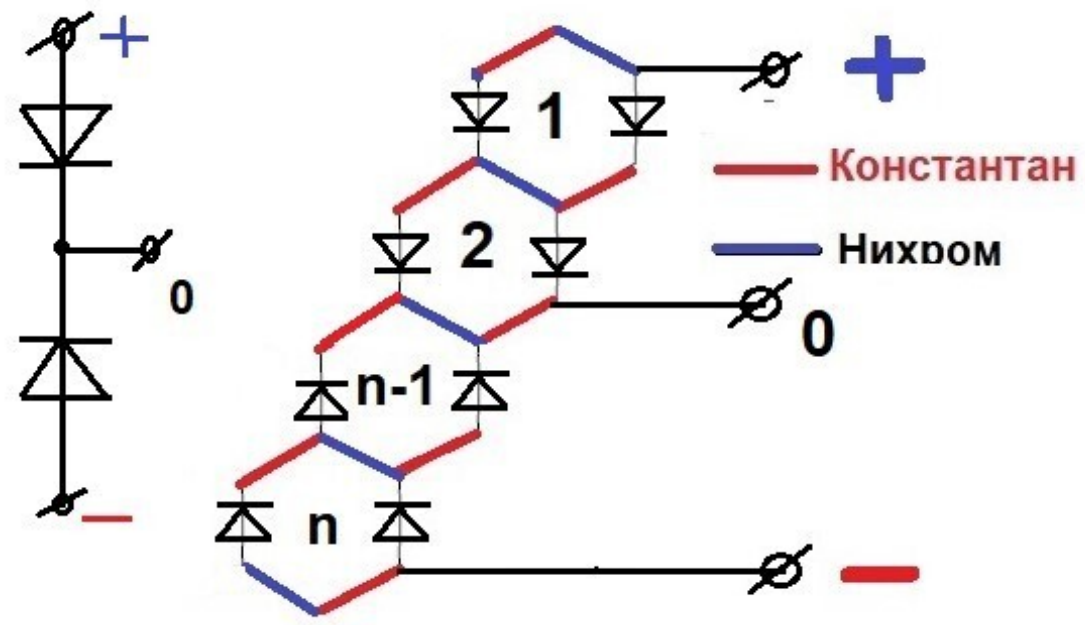

Рис. № 39. Схема эксперимента.

Вариант конструктивного исполнения системы, у которой полупроводники в каждом контуре включены встречно показан на следующем рисунке.

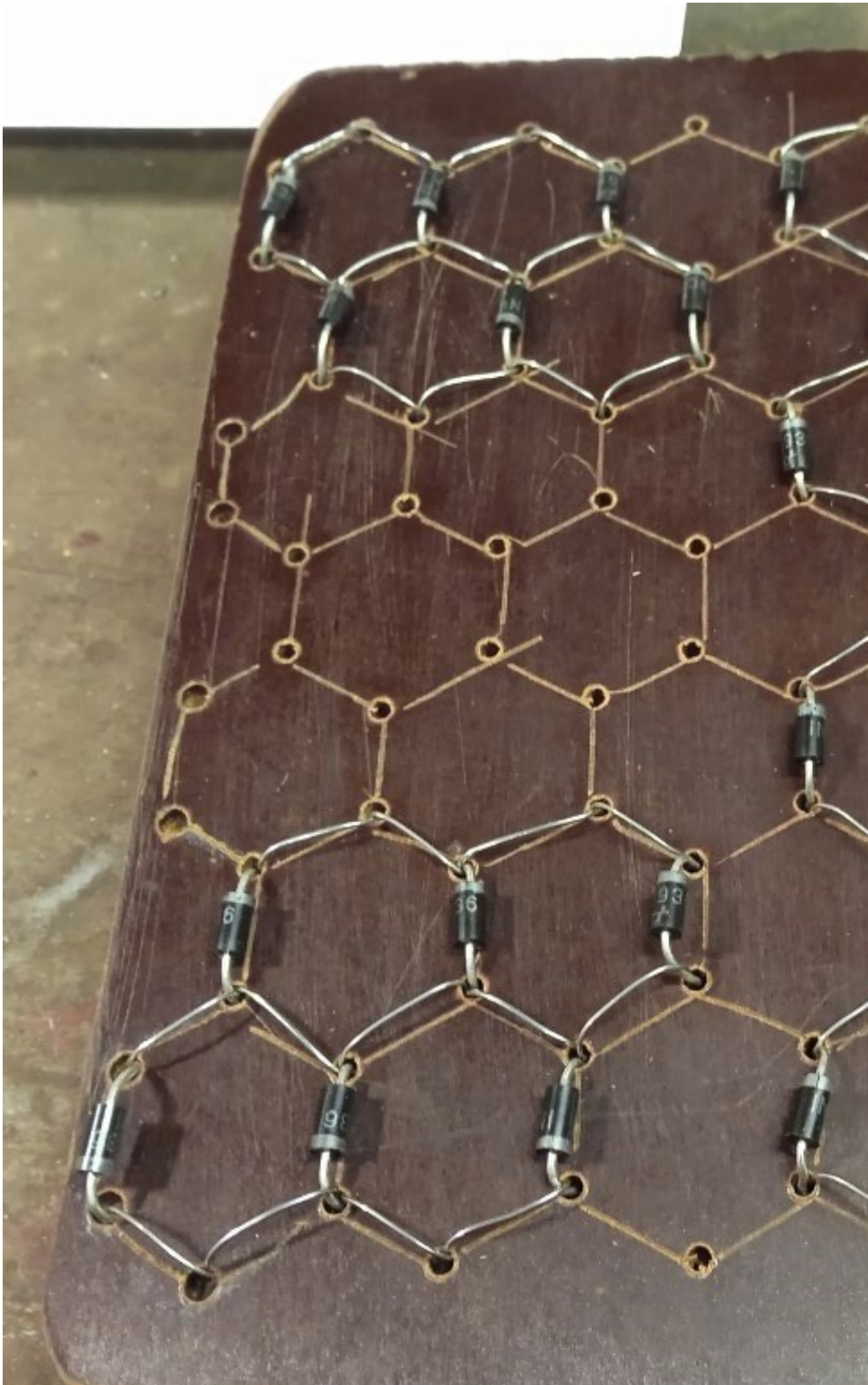

Рис. № 40. Варианты конструктивного исполнения систем.

Результаты эксперимента сведены в таблицу 4.

Таблица 4. Параметры выходного сигнала для встречно включённых элементов

Термодинамическое равновесие, t=24 градуса.			
Система	U вых., мВ.	ΔU вых. мВ. (человек приближается к системе с расстояния 2-х метров)	I к.з., мкА
2 контура, подключение + -	0,02	0,005	НЕТ!
1 контура, подключение + 0	0,02	0,005	5

Наблюдения:

– Независимо от количества контуров и типа подключения, фиксировалось выходное напряжение порядка 0,02 мВ.

– При подключении двух контуров в схеме «+ –» ток короткого замыкания отсутствовал.

– При одностороннем подключении («+ 0») ток короткого замыкания достигал 5 мкА.

– При приближении человека к системе (2 м) наблюдалось увеличение выходного напряжения на 5 мкВ.

– Распределение напряжений не является симметричным по отношению к физической оси симметрии системы, что указывает на возникновение локальных асимметрий.

Вывод:

– Даже при встречновключённых p–n-переходах и металлических участках структура продолжает демонстрировать наличие выходного напряжения, чувствительного к электростатическому окружению.

– Фиксируется слабая взаимосвязь между проводимостью и направлением электрического поля, что может свидетельствовать о сложных ёмкостных и диффузионных процессах в зонах контакта.

– Заземление не влияет на чувствительность к переменам в локальном электростатическом фоне.

– Выходное напряжение нестабильно и определяется как внутренней структурой включения, так и положением внешнего объекта (например, человека), что подтверждает возможность использования схемы в качестве детектора присутствия и изменения электростатического или магнитного поля.

ЭКСПЕРИМЕНТ № 3

Гексагональная топология с встречно включёнными полупроводниками и последовательным соединением контуров

Цель:

Исследование выходных характеристик и чувствительности гексагональной электроцепи, в которой полупроводники включены встречно с разнородными металлами внутри каждого элемента, а сами гексаконтуры соединены последовательно между собой.

Методика:

А) Анализировалась система на основе гексагональной топологии, в которой полупроводники (CuO, p-типа) включены встречно с участками из константана и нихрома в каждом контуре. Контуры соединялись строго последовательно, в цепь от 1 до 46 элементов.

В) Исследования проведены на следующих семи образцах:

1. Одиночная термопара: (– константан / + нихром);
2. Один диод;
3. 6 последовательно соединённых диодов;
4. 6 диодов и участков – константан / + нихром;
5. 14 контуров;
6. 23 контура;
7. 46 контуров.

С) Эксперименты проводились как с заземлением, так и без него. Напряжение и токи короткого замыкания измерялись при t = 24 С. Также определялась зависимость выходных параметров от:

– приближения человека (2 м);

– ориентации конструкции относительно магнитного поля Земли.

Схемы экспериментов и вариантов конструктивной реализации систем приведены на следующих рисунках.

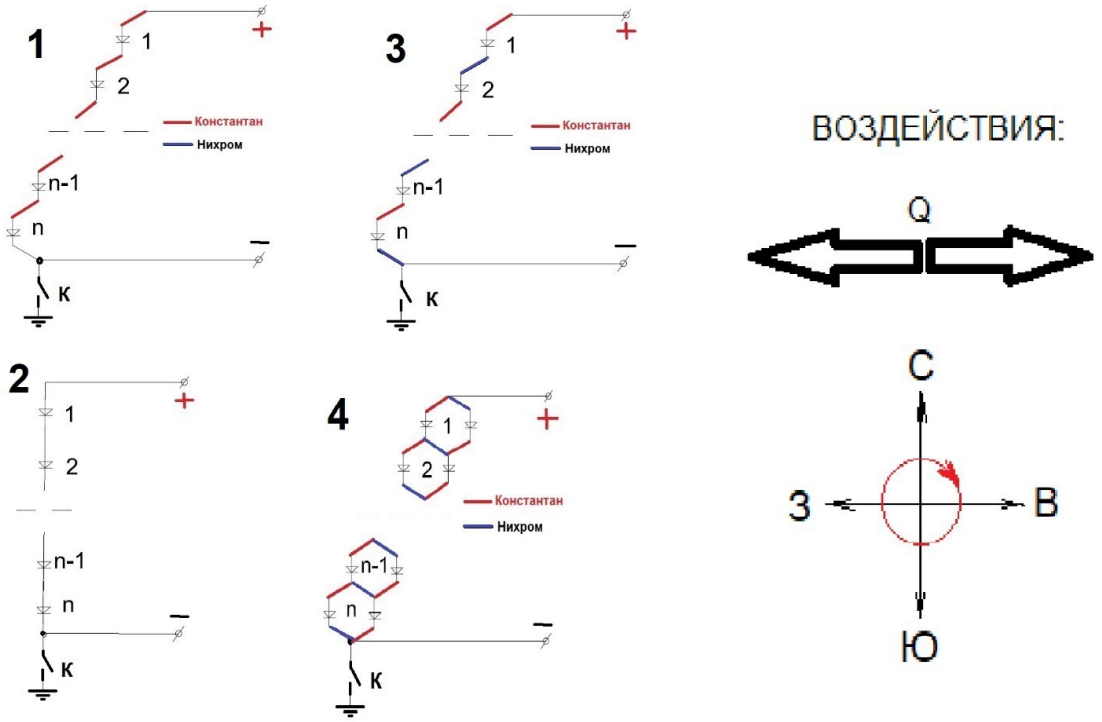

Рис. 41. Схемы экспериментов.

Рис. № 42. Варианты конструктивного исполнения систем.

Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5. Показатели выходного напряжения и тока

Термодинамическое равновесие, t=24 градуса.								
Система	Система без заземления				Система заземлена			
	U вых., В.	I к.з., мкА	ΔU вых. мВ. (человек прибл. к системе с расстояния 2-х метров)	ΔU вых. мВ. (ориентация в магнитном поле земли. Перераспределения на отдельных контурах)	U вых., В.	I к.з., мкА	ΔU вых. мВ. (человек прибл. к системе с расстояния 2-х метров)	ΔU вых. мВ. (ориентация в магнитном поле земли. Перераспред. отдельных контурах)
1 термопара	0,035	0	0	0	0,035	0	0	0
1 диод	U1 = 0,001 U2 = 0,35	0	U1= 0.002 U2 =0.020	0	U1 = 0,001 U2 = 0,35	0	U1= 0.002 U2 =0.020	0
6 диодов	0,11	0	0,02	0	2	0	0,005	0
6 диодов и проводников	0,125	0	0,03	0	2,4	0	0,005	0
6 контуров	0,14	0,09	0,04	0	2	0,5	0,005	0
14 контуров	0,29	0,19	0,09	0,01	3	1	0,01	0
23 контуров	0,35	0,37	0,14	0,02	6,2	6,5	0,02	0
46 контуров	0,67	0,93	0,4	0,05	12,3	13,2	0,03	0

Наблюдения:

– При увеличении количества гексогональных контуров происходит нарастание общего выходного напряжения, однако зависимость не является линейной.

– У заземлённой 46-контурной системы выходное напряжение составило 12,3 В, при токе короткого замыкания 13,2 мкА.

– Напряжение на первом контуре составило 5 В, вместо ожидаемых ≈0,56 В (из расчёта равномерного распределения) – выявлено асимметричное распределение потенциала.

– Разность напряжений между соседними контурами колеблется от 0,2 до 0,7 В и зависит от ориентации относительно поля Земли.

– При приближении человека (даже без прикосновения и на расстоянии до 2 метров) фиксируется изменение выходного напряжения до 0,4 мВ.

Вывод:

– В системе с гексагональной топологией и встречно-последовательным соединением p–n переходов формируется совокупный объёмный заряд в барьерной и диффузионной ёмкости, стабилизируемый контактными разностями потенциалов и фоновой зарядовой средой Земли.

– Это проявляется в выраженных градиентах напряжений и наличию неравномерной генерации, несмотря на нахождение системы в условиях термодинамического равновесия.

– Возникает эффект «сверхпозиционного потенциала» – суммирующегося по мере увеличения числа контуров, но не линейно.

– Реакция системы на местоположение наблюдателя (влияние внешнего статического заряда) указывает на чувствительность к электростатическому фону, что может быть использовано для пространственной локализации объектов – аналог фазированной антенной решётки.

– Конструкция демонстрирует свойства электрета с объёмной поляризацией и потенциально может применяться как сенсор слабых полей или в автономной микро-генерации.

ЭКСПЕРИМЕНТ № 4

Исследование отдельного элемента источника электрической энергии на основе полупроводников и металлов с контактной разностью потенциалов в условиях термодинамического равновесия

Цель:

Оценка возможности генерации электрического сигнала (напряжения и тока короткого замыкания) в элементарной системе, состоящей из одного или нескольких p-типа полупроводников, соединённых через разнородные металлические проводники (константан и нихром), при отсутствии теплового или внешнего электрического воздействия.

Методика:

A) Исследуемая система состоит из пяти последовательно включённых полупроводниковых участков (CuO, сформированного термообжигом медной проволоки) с закороткой через разнородные металлы (константан – нихром).

B) Для сравнения регистрировались параметры одиночной термопары и одиночного диода, подключённых отдельно к милливольтметру в прямом и обратном направлениях.

C) Основной режим эксперимента – измерение выходного напряжения (Uвых) и тока короткого замыкания (Iк.з.) при последовательном отключении отдельных полупроводников из цепи.

Схема экспериментального узла приведена на рис. 43.

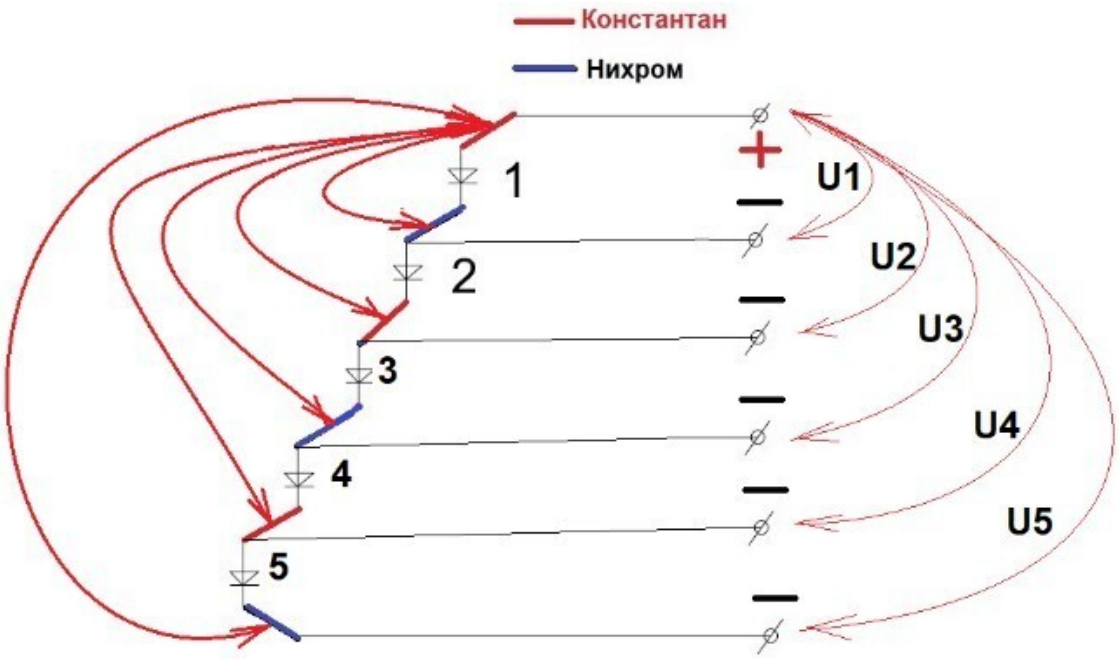

Рис. № 43. Схема эксперимента

Результаты сведены в таблице 6.

Таблица 6.

Система	Включение	U вых., мВ.	I к.з., мкА	I к.з., мкА
1 термопара	Прямое и обратное включение к милливольтметру.	0,035	0	0
1 диод	Прямое и обратное включение к милливольтметру.	U1= 001, U2= 0,35.	0	0
Последовательное включение полупроводников и разнородные металлических проводников	Короткое замыкание 1 полупроводника.	0,16	1,5	1,5
	Короткое замыкание 2-х полупроводников.	0,08	0,7	0,7
	Короткое замыкание 3-х полупроводников.	0,16	1,4	1,4
	Короткое замыкание 4-х полупроводников.	0,09	0,89	0,89
	Короткое замыкание 5-ти полупроводников.	0,16	1,5	1,5

Наблюдения:

– Один полупроводник, соединённый с двумя разнородными металлами, даёт максимально стабильный выходной сигнал: Uвых = 0,16 мВ и Iк.з. = 1,5 мкА;

– Изменение количества включённых в цепь полупроводников не оказывает устойчивого влияния – ток и напряжение изменяются нерегулярно. Это говорит о нелинейном распределении ёмкостей и напряжений;

– Отдельная термопара и одиночный диод, как субъекты сравнения, не демонстрируют выходного тока короткого замыкания при равновесных условиях;

– Изменение взаимной ориентации диодов или металлов не критично в пределах данного эксперимента;

– Показатели не зависят от заземления системы и положения наблюдателя (отсутствует влияние электростатического заряда человека).

Вывод:

– Полученные результаты показывают, что даже один полупроводник, соединённый с двумя разнородными металлическими проводниками, способен генерировать устойчивое напряжение и ток короткого замыкания в условиях термодинамического равновесия.

– Эффект не достигается ни при использовании изолированного полупроводника, ни при использовании простой термопары; он возникает исключительно в сочетании «полупроводник – металл1 – металл2».

– Реакция системы на изменение количества закороченных элементов носит волнообразный (дискретный) характер, что позволяет предполагать наличие внутренних резонансных ёмкостных и/или диодных эффектов.

– Работа системы не зависит от приближения человека или внешних полей, а генерируемое напряжение постоянно в указанных условиях.

– Такой элемент можно условно рассматривать как простейший «ячеистый» элемент генератора на основе контактной разности потенциалов с встроенной функцией накопления заряда в полупроводниковом объёме p-n типа – аналог элементарной формы электрета.

Таким образом, эксперимент подтверждает возможность создания минимального источника сигнала в замкнутой системе в условиях, близких к равновесным, только за счёт контактных и полупроводниковых свойств материалов. Это открывает перспективу дальнейших разработок в области автономных микроисточников и сенсорных ячеек.

Общий вывод по всем экспериментальным работам (эксперименты № 1–4):

В результате серии экспериментальных исследований, выполненных на гексагональных топологиях электрических контуров, основанных на системах из полупроводников p-типа (оксид меди), соединённых с разнородными металлами (константан, нихром), получены следующие обобщённые результаты и выводы:

1. Электрогенерация без внешнего воздействия:

Во всех конфигурациях – как при последовательном, так и встречно-последовательном включении контуров – наблюдается генерация выходного напряжения и/или тока короткого замыкания в условиях, близких к термодинамическому равновесию (t = 24 C, отсутствие теплового или светового воздействия), что является нетривиальным результатом с точки зрения классической электрофизики. Это стало возможно только при использовании гетерогенных материалов на границах металл–полупроводник.

2. Роль материала и направления соединения:

– Конфигурации с чередованием константана и нихрома обеспечивают направленное движение заряда за счёт разности их функций выхода;

– Наибольшее напряжение и устойчивость сигнала наблюдаются в системах с последовательным включением полупроводников через разнородные металлы (эксперименты № 1 и № 3);

– Системы с встречно-параллельным включением (эксперимент № 2) демонстрируют минимальные выходные значения, однако сохраняют отклик на внешние электростатические поля.

3. Гексагональная топология как усилитель и «фокусатор»:

Наличие многоконтурной гексагональной структуры приводит к суммарному накопительному эффекту, аналогичному сетке электрета или аккумуляторной решётке. Выходное напряжение при последовательном включении 46 гексаконтуров достигло 12,3 В при токе короткого замыкания до 13,2 мкА (эксп. № 3), несмотря на то, что напряжение на одном отдельном контуре составляет 0,1–0,16 В.

4. Чувствительность к внешним полям:

– Зафиксированы надёжные изменения выходного напряжения при приближении человека без физического контакта (2 м – ΔU до 0,4 мВ), что указывает на высокую чувствительность к электростатическому полю;

– Системы демонстрируют фазоподобное поведение при изменении ориентации в магнитном поле Земли – напряжения перераспределяются по узлам;

– Заземление практически не влияет на чувствительность, что говорит о внутренней поляризации и способности системы работать как плавающий источник/датчик.

5. Выходные параметры не линейны:

Суммарное напряжение не является арифметической суммой напряжений с отдельных контуров, а ток короткого замыкания не пропорционален числу элементов. Напряжение на отдельных контурах изменяется нелинейно, что может быть объяснено контурными колебаниями ёмкостей и взаимодействием с внешним электростатическим ландшафтом (подобие фазированной антенной решётки).

6. Эффективность миниатюрных ячеек:

Показано, что даже одна ячейка (полупроводник + константан + нихром) даёт стабильно измеряемый ток (1,5 мкА) и напряжение 0,16 мВ – что открывает путь к созданию микроисточников питания или пассивных сенсоров внешнего поля.

7. Объёмная накопительная природа эффектов:

Подтверждено, что заряд в системе накапливается не на обкладках, а в объёме p–n перехода – в барьерной и диффузионной ёмкости. Это делает изучаемые структуры по свойствам близкими к электрета – твёрдотельному носителю постоянного внутреннего поля, не зависящему от внешнего источника тока.

8. Потенциал практического применения:

– Пассивные сенсоры электростатического и магнитного поля;

– Источники питания ультранизкой мощности для систем IoT;

– Электростатическая и магнитометрическая локация объектов;

– Системы анализа загрязнения и радиационного фона через флуктуации электрических свойств среды;

Заключение:

Все четыре эксперимента подтверждают, что гексагональная топология, полупроводниковая активная поверхность (p-тип оксида меди), комбинированная с электростатически разнородными металлами, позволяет реализовать эффект самоподдерживающейся генерации выходного сигнала в отсутствие классических внешних факторов возбуждения. Эти явления дают основание говорить о принципиально новом подходе к энергоактивной топологии и сверхчувствительной электроемкостной сенсорике. Работа систем за пределами идеального термодинамического равновесия требует дополнительного теоретического осмысления и разработки моделей описания на основе нелинейной электростатики, физики контактных переходов и вариативной ёмкости.

5.12. Гексагональные топологии контактной активности как электрические преобразователи различных типов микрофлуктуаций

Согласно закону Вольта, в замкнутой цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, в условиях полного термодинамического, оптического или электромагнитного равновесия, алгебраическая сумма контактных разностей потенциалов (КРП) равна нулю. Это объясняется тем, что в состоянии равновесия происходит равномерное распределение электронов, полностью компенсирующее разницу работ выхода материалов на их границах, что предотвращает возникновение направленного движения электрических зарядов и, соответственно, макроскопического тока. Следовательно, попытки генерации электрической энергии за счёт КРП в таких идеальных равновесных условиях противоречили бы закону сохранения энергии. Для инициирования устойчивого тока в классических системах требуется внешнее энергетическое воздействие, такое как тепловое поле, световое излучение, электромагнитное излучение или радиация, нарушающее это равновесие.

Тем не менее, достижение абсолютного динамического равновесия в любой физической системе практически невозможно. Это обусловлено фундаментальными внутренними процессами, такими как тепловые флуктуации и квантово-механическое туннелирование, которые постоянно вызывают стохастические отклонения от идеального равновесного состояния. Эти микроскопические возмущения приводят к возникновению случайных, преходящих микротоков в замкнутых электрических цепях. Магнитуда этих токов, как правило, крайне мала, что затрудняет их детектирование без высокочувствительной измерительной аппаратуры. Величина и характер этих микротоков зависят от множества параметров, включая температуру окружающей среды, степень чистоты используемых материалов и наличие в них примесей.

Таким образом, даже в условиях относительного динамического равновесия, система характеризуется непрерывным протеканием этих микроскопических токов. Основная идея концепции ФКА заключается в целенаправленном усилении данных микротоков до уровня, достаточного для существенного воздействия на общее выходное напряжение системы и обеспечения эффективной генерации электрической энергии.

В контексте данной задачи особый интерес представляет гексагональная топология замкнутых контуров, напоминающая структуру пчелиных сот.

Данная система состоит из множества идентичных электрических замкнутых контуров, которые могут быть соединены последовательно или параллельно. Каждый элементарный контур включает в себя четыре проводника с КРП (например, нихром и константан) и два полупроводниковых элемента p-типа, соединённых последовательно.

Ключевой особенностью предложенной структуры является то, что каждый контур связан с соседними контурами через общий металлический проводник или полупроводниковый элемент p-типа. В условиях относительного динамического равновесия это обеспечивает возможность взаимного влияния микротоков, протекающих в отдельных контурах, на токи в смежных контурах и на функциональность всей системы.

С практической точки зрения, гексагональная топология допускает три основных типа конфигураций отдельных контуров:

1. Последовательное включение.

Разнородные металлические проводники соединены последовательно по всему контуру.

Рис. № 44. Последовательное включение отдельных контуров гексагональной топологии.

2. Параллельное включение.

Разнородные металлические проводники включены параллельно между полупроводниковыми элементами р-типа.

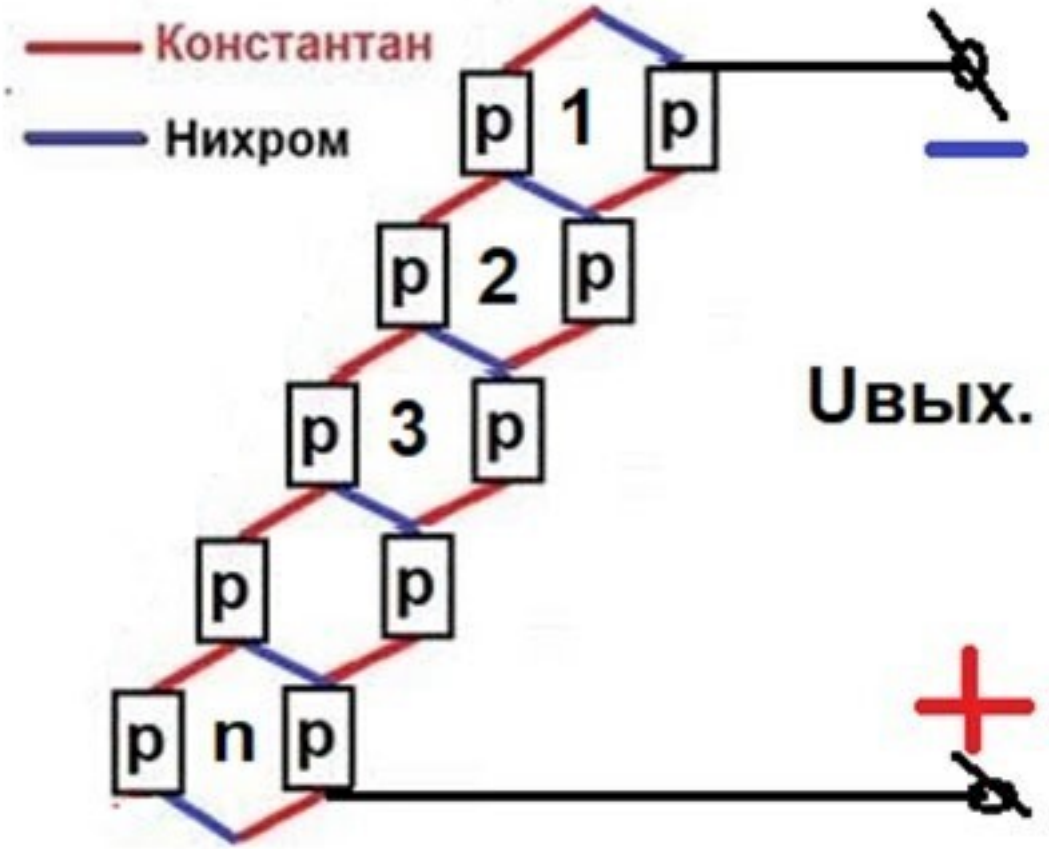

Рис. № 45. Параллельное включение отдельных контуров гексагональной топологии.

3. Смешанное включение.

Комбинация последовательного и параллельного соединений.

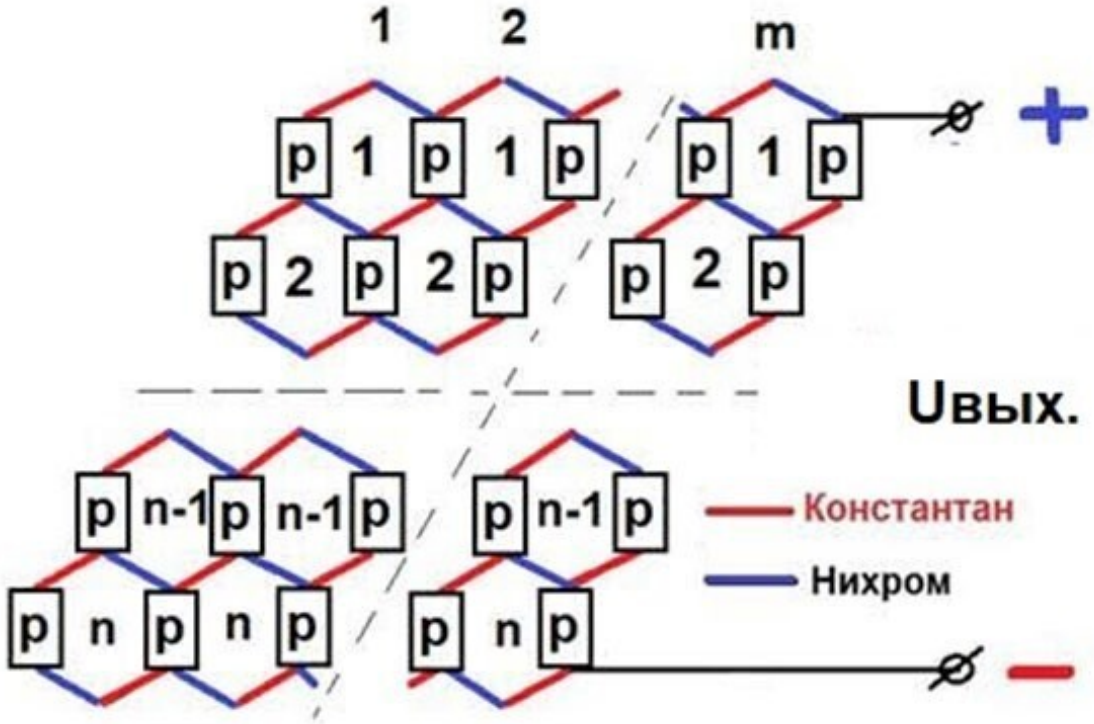

Рис. № 46. Смешанное включение отдельных контуров гексагональной топологии.

В гексагональной топологии КРП отдельных замкнутых контуров (структура типа 'пчелиных сот') особую практическую значимость представляет использование “непрямляющих” омических контактов. Примером такого контакта является соединение полупроводниковых элементов (например, p-типа) с металлическими проводящими пластинами, аналогичное используемому в термоэлектрических преобразователях Пельтье. Важность использования полупроводниковых элементов p-типа заключается в том, что они, в отсутствие контакта с материалом n-типа, не формируют p-n-перехода. Следовательно, в таком узле не возникают барьерные и диффузионные ёмкости, что делает каждый узел гексагональной топологии менее чувствительным к внешним электростатическим наводкам. Дополнительным преимуществом является относительно низкое внутреннее сопротивление одного полупроводникового элемента, составляющее приблизительно 3 Ом.

Экспериментальная верификация.

Для экспериментальной проверки концепции были использованы полупроводниковые элементы p-типа, извлечённые из коммерческого термоэлектрического модуля Пельтье. Модуль был нагрет до 250 С на электрической плитке, после чего верхняя крышка была удалена, и полупроводниковые элементы размером 1,5 мм были извлечены.

Сортировка данных элементов по их электрофизической структуре (p- или n-тип) оказалась нетривиальной задачей. Идентификация на основе измерений внутреннего сопротивления была затруднительна, поскольку внутреннее сопротивление каждого элемента составляло приблизительно 3 Ом и демонстрировало незначительные вариации в зависимости от ориентации подключения измерительных щупов микровольтметра к различным граням элемента.

При механическом контакте (с использованием зажима) двух противоположных граней одного полупроводникового элемента с разнородными металлическими проводниками (нихром и константан) наблюдалось до шести различных показаний микровольтметра, зависящих от ориентации контакта с элементом и полярности подключения. Дополнительно, локаль-

ный нагрев такой структуры воздухом дыхания человека приводил к появлению ещё шести различных показаний микровольтметра.

Для однозначной идентификации типа проводимости (n- или p-структура) каждого полупроводникового элемента была разработана и изготовлена конфигурация, названная “КРП типа паука”.

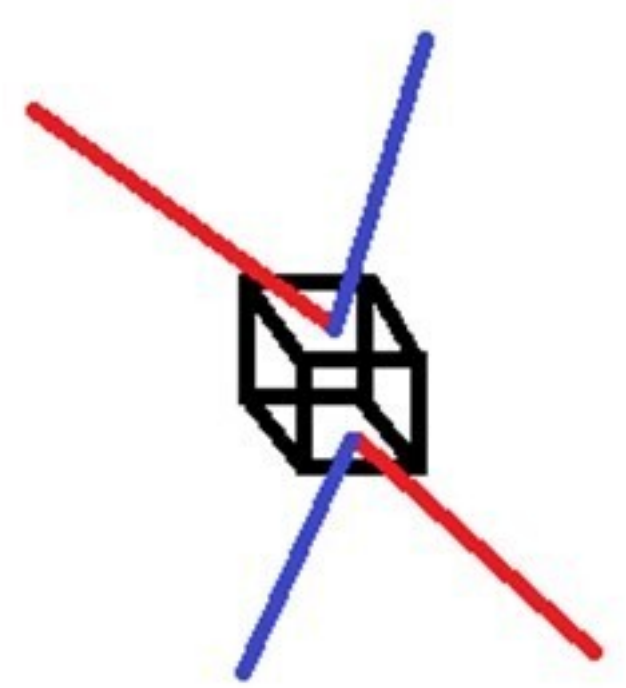

Рис. № 47. КРП по типу паука между полупроводниковым кубиком, нихромом и константаном с одной стороны и нихромом и константаном с другой стороны кубика.

Данная конфигурация состояла из исследуемого полупроводникового элемента, к которому с каждой из двух противоположных сторон подключались контакты из пары нихром-константан.

Измерения микровольтметром, выполненные для десяти полноценных КРП типа “паука” (состоящих из трёх разнородных материалов), позволили однозначно идентифицировать тип проводимости каждого полупроводникового элемента. Кроме того, было обнаружено интересное явление: приблизительно у 50% исследованных КРП типа 'паука' выходное напряжение между однородными проводниками (например, константан – полупроводниковый элемент – константан) увеличивалось до 0,2 мВ при локальном нагреве воздухом дыхания человека. Для остальных КРП типа “паука” это увеличение составляло до 0,06 мВ. Для подтверждения классификации элементов по типу проводимости были использованы эталонные полупроводниковые элементы известной структуры, извлечённые из нового термоэлектрического модуля Пельтье, что позволило верифицировать ранее идентифицированные образцы.

Дополнительно, было зафиксировано следующее явление: выходное напряжение КРП типа “паука” между однородными проводниками (константан – полупроводниковый элемент – константан и нихром – полупроводниковый элемент – нихром) демонстрировало схожие по абсолютной величине значения, при этом изменяя полярность при локальном нагреве воздухом. Данное наблюдение представляет интерес, поскольку, исходя из классических представлений, ожидались бы значительно различающиеся показания вольтметра.

Прототип источника электрической энергии на основе концепции КРП в условиях термодинамического равновесия, выполненный в гексагональной топологии, состоял из 37 иден-

тичных электрических контуров, образующих единую крупную шестиугольную структуру. Каждый контур включал в себя последовательно соединённые металлические проводники (константан и нихром) и полупроводниковые элементы p-типа.

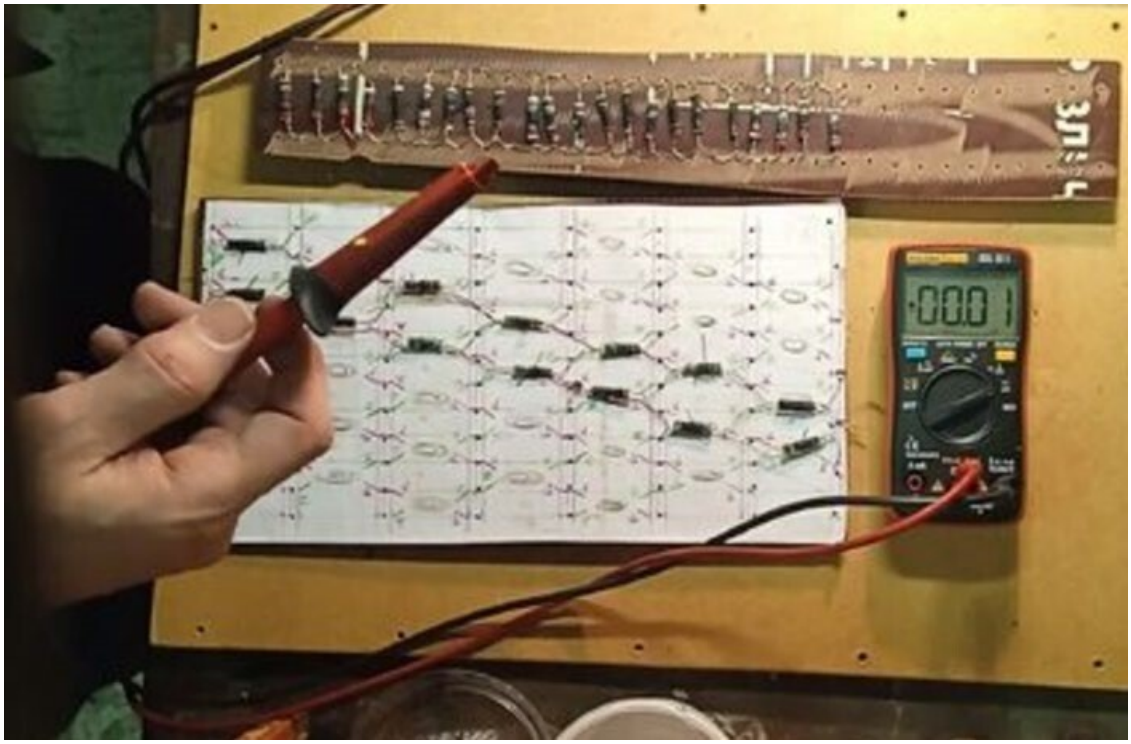

Рис. № 48. Последовательное и параллельное включение отдельных контуров гексагональной топологии.

Видеоматериалы, демонстрирующие экспериментальную работу системы и подтверждающие её характеристики, доступны по ссылке: Дзен Видео: Экспериментальная работа с подтверждёнными характеристиками систем.

Выводы

Функционирование описанных систем характеризуется сложным взаимодействием между их внутренними компонентами и внешними условиями. В каждом контуре гексагональной топологии возникают временные токовые асимметрии, обусловленные влиянием геомагнитного поля, электрических полей и наличием дискретных электрических зарядов в окружающей среде. Эти асимметрии оказывают влияние как на соседние контуры, так и на общую систему, приводя к наблюдаемым аномальным распределениям выходных напряжений.

Разработка и функционирование таких систем за пределами строгого термодинамического равновесия и демонстрируемые при этом эффекты представляют собой новое и перспективное направление в области электрической генерации. Предварительные экспериментальные данные подтверждают, что при нарушении общего термодинамического равновесия (например, при общем нагреве) данная система не требует принудительного охлаждения определённых контактных разностей потенциалов, в отличие от классических термоэлектрических элементов Пельтье. Напротив, она может генерировать электричество за счёт естественного теплообмена с окружающей средой. Более того, изменение типа используемого полупроводника может обеспечить генерацию электричества при общем охлаждении системы. Этот подход позволяет избежать необходимости в дополнительном внешнем охлаждении или нагреве специфических КРП, что является значительным преимуществом по сравнению с традиционными методами. Подобные системы обладают потенциалом для применения в условиях, где стан-

дартные источники энергии неэффективны или неприменимы, например, при экстремально низких или высоких температурах.

5.13. Уникальная металлическая ткань для специальных целей

Разработка передовой экипировки и защитных покрытий для применения в экстремальных условиях – будь то военные операции, спасательные миссии или исследования – требует инновационных подходов, выходящих за рамки пассивных материалов. Существует насущная потребность в системах, которые не только обеспечивают физическую защиту, но и активно поддерживают жизнедеятельность, мониторят состояние пользователя и являются самодостаточными в плане энергообеспечения. Предлагаемая концепция уникальной ткани для специальных целей отвечает этим вызовам, интегрируя разнородные металлические проводники в структуру текстиля для создания интеллектуальных, многофункциональных систем.

Принципы функциональной контактной активности металлических проводников в текстиле.

В основе функциональности предлагаемой ткани лежит использование функциональной контактной активности (ФКА), например, в гексагональной топологии, формируемой на границах раздела между разнородными металлическими проводниками. В отличие от классических представлений, согласно которым сумма контактных разностей потенциалов (КРП) в замкнутой цепи равна нулю (закон Вольта) при термодинамическом равновесии, ФКА-материалы в гексагональной топологии демонстрируют способность генерировать устойчивую ЭДС и ток. Этот эффект достигается за счет:

Динамической асимметрии КРП.

Механические деформации (изгибы, растяжения), термомеханические воздействия или изменяющиеся внешние поля могут создавать временные асимметрии в распределении контактных потенциалов на многочисленных металл-металлических переходах в плетении ткани.

Взаимодействия с внешними полями.

Сами разнородные металлические элементы, обладая различными работами выхода электрона, могут взаимодействовать с внешними электрическими и магнитными полями (например, электрическим полем Земли), что приводит к модификации КРП и индукции токов.

Интеграция таких металлических нитей или сеток (например, из пар нихром/константан, медь/никель) в структуру ткани создает распределенную сеть активных генераторов и сенсоров, способных к автономной работе.

1. Генерация энергии от движений и окружающей среды.

Способность ткани автономно генерировать электрическую энергию является краеугольным камнем ее функциональности.

Технические решения:

– Механоэлектрические преобразователи на основе деформации. Вплетение в ткань разнородных металлических нитей, соединенных в многочисленные микроконтуры. При растяжении или изгибе ткани (движениях пользователя, вибрациях) происходит динамическое изменение площадей контакта, давления в точках соединения и, возможно, кристаллической структуры на границах раздела металлов. Это вызывает временные флуктуации КРП и генерацию электрического тока. Пример, использование спиральных или зигзагообразных структур из биметаллических нитей, где каждое движение вызывает повторяющиеся деформации и генерацию импульсов тока.

– Термоэлектрические цепи.

Формирование множества микротермопар из разнородных металлических нитей по всей площади ткани. Эти термопары способны улавливать даже минимальные температурные градиенты, возникающие между телом пользователя и окружающей средой, или между раз-

личными участками ткани, подверженными неравномерному нагреву (например, солнцем). Активное изменение конфигурации металлических проводников для оптимизации поглощения/выделения тепла и увеличения термоэлектрической генерации.

– Электромагнитная и электростатическая индукция.

Вплетение металлических контуров, способных индуцировать токи под воздействием изменяющихся магнитных полей (например, от движущихся источников, силовых линий Земли). Динамическое перемещение или деформация заряженных металлических поверхностей в ткани для генерации тока из статических электрических полей.

2. Адаптация микроклимата в сложных условиях.

Уникальная ткань способна динамически управлять своим тепловым и влажностным режимом, используя свойства металлических проводников.

Технические решения:

– Активный терморегулирующий слой.

Использование специально разработанных металлических нитей с контролируемым электрическим сопротивлением. При подаче на них тока (генерируемого самой тканью) они могут локально нагреваться, обеспечивая активный обогрев пользователя в холодное время или в условиях быстрого охлаждения. Интеграция микроскопических биметаллических "лепестков" или "волокон" в ткань. При изменении температуры или при подаче тока (для активного нагрева/охлаждения одной из сторон) эти элементы могут изгибаться, открывая или закрывая микропоры в ткани, тем самым регулируя вентиляцию и теплоотдачу.

Управление влагоотведением.

Металлические нити могут быть покрыты гидрофильными или гидрофобными слоями, чьи свойства (например, смачиваемость) могут изменяться под воздействием слабого электрического поля. Это позволяет активно "прокачивать" влагу от кожи наружу или, наоборот, задерживать ее. Поверхности металлических нитей могут быть электрохимически модифицированы для изменения их коэффициента излучения в ИК-диапазоне, что позволяет активно регулировать теплообмен излучением.

3. Точное отслеживание состояния пользователей.

Встроенные в ткань металлические сенсоры обеспечивают непрерывный и неинвазивный мониторинг физиологических показателей.

Технические решения:

– Электрофизиологические датчики.

Использование разнородных металлических контактов, непосредственно контактирующих с кожей, для регистрации биоэлектрических сигналов электрокардиография (вплетение электродов для мониторинга сердечной активности), электромиография (отслеживание мышечной активности и усталости), электродермальная активность (измерение изменения проводимости кожи, связанного со стрессом и эмоциональным состоянием).

– Механические датчики.

Изменение сопротивления металлических нитей при растяжении/сжатии для оценки движений суставов, позы, дыхания, а также для обнаружения ударов или деформаций ткани.

– Емкостные датчики.

Измерение изменения емкости между металлическими слоями при контакте с телом или изменении влажности кожи.

– Датчики температуры.

Интеграция миниатюрных термопар или терморезисторов из различных металлов для локального измерения температуры кожи.

4. Специальные защитные покрытия для персонала и техники.

Металлические компоненты ткани позволяют создавать активные и адаптивные защитные системы.

Технические решения:

– Электромагнитное экранирование и маскировка.

Сети из металлических нитей с управляемым резистивным нагревом, способные создавать паттерны ИК-излучения, имитирующие окружающую среду или разрушающие тепловой силуэт объекта, обеспечивая активную маскировку в ИК-диапазоне.

– Датчики ударных нагрузок и пробитий.

Распределенная сеть металлических датчиков, способных регистрировать механические воздействия, определять их силу, направление и локализацию, а также мгновенно сигнализировать о пробитии или структурном повреждении.

Заключение и перспективы.

Уникальная ткань для специальных целей, основанная на инновационном применении разнородных металлических проводников и принципов функциональной контактной активности, представляет собой прорыв в области многофункциональных текстильных систем. Способность к автономной генерации энергии, динамической адаптации микроклимата, точному мониторингу состояния и многоуровневой защите, реализуемая преимущественно за счет свойств самих металлических элементов, открывает беспрецедентные возможности для повышения эффективности, безопасности и автономности в самых требовательных условиях.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию КРП-эффектов в металлических системах, разработку масштабируемых производственных процессов для вплетения и интеграции сложных металлических микроструктур, улучшение долгосрочной стабильности и надежности в экстремальных условиях. Внедрение такой технологии может радикально изменить подходы к созданию индивидуальной экипировки, защитных покрытий и "умных" материалов в ближайшем будущем.

5.14. Гибкий без батарейный вибрационный сенсор на основе распределенной сети термоэлектрических элементов

Мониторинг вибраций является критически важной задачей во множестве областей, включая промышленную диагностику, структурный мониторинг, системы безопасности, робототехнику и носимую электронику. Существующие вибрационные сенсоры зачастую требуют внешнего электропитания, что ограничивает их автономность, масштабируемость и возможности развертывания в труднодоступных или обширных системах. Развитие гибкой электроники и технологий сбора энергии открывает перспективы для создания безбатарейных сенсорных систем. Данная статья описывает инновационный подход к разработке такого сенсора, который использует вибрацию не только как измеряемый параметр, но и как источник энергии для своего функционирования, действуя как "распределенная сеть термоэлектрических нейронов".

Принцип действия.

Предлагаемый вибрационный сенсор основан на преобразовании механической энергии вибрации в электрический сигнал посредством термоэлектрического эффекта, обусловленного динамическими микроскопическими температурными градиентами.

Возникновение температурных градиентов при вибрации.

Любая механическая вибрация в материале вызывает сложный комплекс физических явлений, приводящих к локальным и временным изменениям температуры:

Внутреннее трение (демпфирование).

При циклической деформации материала (растяжение-сжатие, изгиб) часть механической энергии рассеивается в тепло из-за внутреннего трения на атомном и молекулярном уровнях, а также на границах зерен в поликристаллических материалах. Это рассеивание энергии приводит к микроскопическому, локализованному нагреву.

Эффект термоупругости.

Быстрые адиабатические изменения объема материала под действием механических напряжений приводят к локальному изменению температуры. Например, сжатие вызывает нагрев, а растяжение – охлаждение. При вибрации эти процессы происходят циклически и могут формировать динамические температурные градиенты между областями растяжения и сжатия.

Трение на границах раздела.

В случае многослойных или композитных структур, а также при наличии дефектов (трещин, пор), вибрации могут вызывать микроскопическое трение на границах раздела материалов или поверхностях дефектов, что также приводит к локальному выделению тепла.

Таким образом, механическая вибрация эффективно преобразуется в динамический, пространственно и временно изменяющийся термопрофиль в материале.

Преобразование термопрофиля в электрический сигнал.

Для детектирования этих микроскопических температурных градиентов используется распределенная сеть термоэлектрических элементов (спаев), интегрированных в гибкую матрицу сенсора. Каждый "спай" представляет собой точку контакта двух разнородных проводящих материалов, образующих термопару. При наличии разности температур между таким спаем и другим участком цепи (или между двумя спаями) возникает термоэлектрическая электродвижущая сила (ЭДС) – эффект Зеебека.

В предлагаемом сенсоре, когда вибрация вызывает динамические температурные градиенты, эти спаи реагируют как "распределенная сеть термоэлектрических нейронов". Каждый спай генерирует мгновенный электрический сигнал, пропорциональный локальному градиенту

температуры. Совокупность сигналов от множества таких спаев, расположенных с высоким пространственным разрешением (до миллиметров), позволяет не только обнаруживать факт вибрации, но и отличать её характеристики – амплитуду, частоту, направление распространения и даже источник, анализируя временные задержки и пространственное распределение температурных волн.

Техническая реализация и характеристики.

Структура Сенсора:

Гибкая подложка.

Использование полимерной пленки (например, полиимид, ПЭТ) или текстильной основы (тонкие волокна) обеспечивает гибкость, легкость и возможность интеграции сенсора на неровные поверхности.

Распределенная сеть термоэлектрических материалов.

На поверхность подложки наносятся (например, методом напыления, печати, или вплетения) тонкие пленки или нити из двух или более разнородных металлических/полупроводниковых материалов (например, Bi/Sb, Ni/Cu, или даже тонкие пленки из различных полимерных термоэлектриков). Эти материалы формируют множество термоэлектрических спаев, расположенных с заданным шагом (например, от миллиметрового до микрометрового масштаба).

Топология сети.

Спаи могут быть соединены последовательно для увеличения общего выходного напряжения или параллельно для увеличения выходного тока, а также в матричную структуру для пространственной локализации источника вибрации или гексагональную топологию.

Энергопитание и автономность.

Принципиальное преимущество данного сенсора заключается в его безбатарейном функционировании. Энергия, необходимая для генерации сигнала, берется непосредственно из механической вибрации, которую сенсор детектирует. Это устраняет необходимость во внешних источниках питания, снижает массу и габариты системы, а также значительно увеличивает срок службы и надежность в автономных применениях.

Разрешение и Масштабируемость.

Пространственное разрешение.

Разрешение сенсора определяется плотностью расположения термоэлектрических спаев. При возможности формирования спаев с расстоянием порядка миллиметров, сенсор способен "видеть" локальные особенности вибраций и даже отслеживать их распространение. С использованием нанотехнологий, разрешение может быть доведено до микрометров.

Масштабируемость.

Технология позволяет масштабировать сенсорные сети от небольших локальных патчей до обширных площадей, покрывающих крупные конструкции, что делает его применимым для мониторинга мостов, самолетов, трубопроводов, а также для создания "умных" поверхностей.

Отличие и преимущества.

Данный подход выгодно отличается от традиционных вибрационных сенсоров:

Безбатарейность.

Исключение необходимости во внешнем питании или замене батарей.

Пассивное детектирование и самопитание.

Вибрация является одновременно и измеряемым параметром, и источником энергии.

Гибкость и адаптивность форм-фактора.

Возможность нанесения на неровные, изогнутые поверхности.

Высокое пространственное разрешение.

Способность различать источники вибрации и их распространение.

Надежность.

Отсутствие движущихся частей и минимизация активных электронных компонентов повышает долговечность.

Способность отличать вибрации как изменяющийся термопрофиль.

Это уникальная характеристика, позволяющая не просто регистрировать наличие вибрации, но и анализировать её внутренние эффекты в материале.

Области применения.

Гибкие без батарейные вибрационные сенсоры имеют широкий спектр потенциальных применений:

Структурный мониторинг.

Непрерывный контроль целостности мостов, зданий, трубопроводов, ветряных турбин, самолетов и других крупномасштабных инженерных сооружений, выявление усталостных трещин и дефектов.

Промышленная диагностика.

Мониторинг состояния вращающихся механизмов, станков, насосов для раннего обнаружения неисправностей и оптимизации технического обслуживания.

Носимая электроника и медицина.

Интеграция в одежду или медицинские устройства для мониторинга двигательной активности, дыхания, сердечного ритма через вибрации тела, а также для детектирования тремора.

Безопасность.

Системы обнаружения проникновения (например, по вибрации почвы или ограждений), мониторинг периметра.

Робототехника.

Разработка "умной кожи" для роботов, обеспечивающей тактильное восприятие и обратную связь, а также для самодиагностики роботов.

Автомобильная промышленность.

Мониторинг вибраций двигателя, подвески, шин для оптимизации производительности и безопасности.

Заключение.

Концепция без батарейного вибрационного сенсора, использующего динамические термопрофили, возникающие при вибрации, и распределенную сеть термоэлектрических элементов, представляет собой перспективное направление в сенсорных технологиях. Способность сенсора к самопитанию, высокая гибкость, масштабируемость и пространственное разрешение открывают новые горизонты для непрерывного, надежного и экономически эффективного мониторинга в различных критически важных областях. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на оптимизации термоэлектрических материалов для низкоамплитудных вибраций, разработке передовых алгоритмов обработки сигналов для точной дифференциации вибрационных паттернов и создании методов массового производства таких гибких сенсорных матриц.

5.15. Уникальные "термосигнатурные отпечатки": Идентификация и верификация электронных устройств

В мире, где подделки и несанкционированный доступ становятся всё более серьёзной проблемой, критически важны новые, надёжные методы аутентификации электронных устройств. Представьте себе "цифровой отпечаток" устройства, который невозможно скопировать или воспроизвести, подобно уникальной биометрии человека. Именно такую революционную возможность предлагают новые материалы – проводники с функциональной контактной активностью (ФКА).

Суть "термосигнатурного отклика" – неповторимые "ДНК" устройства

Традиционные методы идентификации (серийные номера, программные ключи) уязвимы для подделок и взломов. Новая концепция основана на уникальной реакции специальных проводников или кабелей, интегрированных в электронные устройства. Когда через такой проводник пропускается диагностический сигнал развёртки, например, по принципу телевизионной развёртки, он генерирует совершенно неповторимую картину термоэлектрической активности.

Что это значит? ФКА-проводник, состоящий из множества микроскопических спаев разнородных металлов, реагирует на проходящий электрический сигнал не только как обычный проводник. В зависимости от своей уникальной внутренней микроструктуры, сочетания металлов, толщины, формы спаев и их расположения, он создаёт сложный, многомерный отклик. Этот отклик проявляется в виде тонких локальных изменений температуры, которые, в свою очередь, генерируют специфическую термоэлектрическую электродвижущую силу (ЭДС).

Получаемая "карта" ЭДС, её амплитудные и временные характеристики – это и есть "термосигнатурный отпечаток" устройства. Он подобен биометрическим данным, таким как отпечаток пальца или рисунок радужной оболочки глаза, но для электроники. Главное: этот "отпечаток" невозможно воспроизвести, даже если попытаться в точности скопировать геометрию проводника, поскольку он зависит от случайных, но стабильных микроскопических особенностей материала, возникающих в процессе производства.

Механизм формирования и считывания.

После изготовления такой уникальный проводник сохраняет свой "отпечаток" стабильно на протяжении всего срока службы. Считывание происходит очень просто:

Интеграция "Идентификационной Нити".

В ключевой проводник или кабель системы (например, силовой кабель, шину данных) встраивается "идентификационная нить" – это может быть микрокабель длиной от 10 до 100 см, состоящий из ФКА-материалов. Он включается в схему как пассивный элемент, не влияющий на её основное функционирование.

Диагностический сигнал развёртки.

Периодически или по запросу система подаёт на этот микрокабель специальный сигнал развёртки. Это может быть импульсный сигнал, изменяющийся по частоте или амплитуде, который "прощупывает" уникальные термоэлектрические свойства интегрированного проводника.

Снятие и анализ отклика.

В ответ на этот сигнал с "идентификационной нити" снимаются данные – форма отклика, уровень ЭДС, сигнатура временной и амплитудной характеристики, динамика изменения сигнала во времени и его максимальные/минимальные значения.

Верификация.

Полученный "термосигнатурный ответ" затем сравнивается с эталонным "отпечатком", хранящимся в базе данных или непосредственно в памяти устройства. Если отклик совпадает

с эталоном в пределах допустимых допусков, устройство признаётся подлинным; в противном случае оно может быть идентифицировано как подделка или несанкционированный компонент.

Применение.

Возможности использования "термосигнатурных отпечатков" крайне широки:

Определение моделей, партий и версий.

Производители могут присваивать уникальные "отпечатки" различным моделям, партиям или версиям электрооборудования, что упрощает логистику, инвентаризацию и контроль качества.

Верификация подлинности электронных устройств.

Защита от контрафактной продукции. Например, потребитель или сервисный центр может быстро проверить подлинность устройства, просто подключив его к диагностическому сканеру.

Контроль несанкционированного доступа.

Если критически важные системы содержат такие "идентификационные нити", любая попытка заменить оригинальный компонент на поддельный или модифицированный будет немедленно обнаружена при сканировании. Это критически важно для объектов с повышенными требованиями к безопасности, таких как военная техника, промышленные контроллеры или банковское оборудование.

Мониторинг состояния и износа.

Теоретически, тонкие изменения в "термосигнатурном отпечатке" со временем могут указывать на износ или деградацию материала, позволяя прогнозировать поломки и планировать обслуживание.

Заключение.

Идентификатор на основе "термосигнатурного отпечатка" представляет собой мощный инструмент для обеспечения подлинности и безопасности электронных устройств. Его уникальность, невозможность подделки и стабильность делают его идеальным решением для противодействия растущим угрозам в сфере контрафакта и кибербезопасности. Эта технология открывает новую эру в области верификации, переводя её из плоскости программных и криптографических решений в сферу уникальных физических свойств самих материалов.

5.16. Термоэлектрический генератор для наборов по выживанию

В условиях тотальной инновационализации, в настоящее время, практически все конструктивные исполнения современных термоэлектрических генераторов предлагаются промышленностью исключительно на полупроводниковой базе. Связано это с большим КПД, который могут обеспечить полупроводниковые термоэлементы по отношению к классическим проволочным термоэлектрическими элементам.

При этом упускается из виду тот факт, что полупроводниковые термоэлектрические элементы на несколько порядков дороже, по весу тяжелее и по конструктивному исполнению не совершенны. Главный недостаток полупроводниковых термоэлектрических генераторов, как не герметичность корпуса сужает сферы применения. К тому же из предлагаемых промышленностью готовых полупроводниковых модулей в аварийных ситуациях достаточно сложно собрать, например, простой электрический генератор для зарядки смартфона или для питания светильника.

Здесь уместно напомнить фразу, что всё новое, это хорошо забытое старое.

Ещё во времена Великой Отечественной войны использовались термоэлектрические генераторы, которые одевались на стекло керосиновой лампы, и питали радиостанции наших разведчиков.

На основании вышеизложенного предлагается производить костровые проволочные термоэлектрические генераторы для комплектования наборов по выживанию из нового инновационного проводника с знакопеременной контактной разностью потенциалов.

Проводник с знакопеременной контактной разностью потенциалов как основа термоэлектрического генератора для набора по выживанию.

Классический проволочный термоэлектрический генератор с выходным напряжением в 5 воль, с энергией от костра, представляет собой 180 проволок из хромеля и 180 проволок из копеля, например, диаметром 1 мм и длинной каждая по 200 мм. Проволоки сварены концами между собой последовательно змейкой в общую электрическую цепь. Длинна такой электрической цепи – 72 метра. Вес такого проволочного термоэлектрического генератора составит примерно 400 грам.

Термо ЭДС для одного такого спая, например, из хромеля и копеля даёт 0,028 В при разности температур в 450 градусов.

180 таких спаев проволок с разностью температур в 450 градусов на концах способны обеспечить бесперебойным питанием/зарядом любой гаджет напряжением 5 вольт, или для целей аварийного освещения.

Использование такого проволочного термоэлектрического генератора простое. Технически это выглядит следующим образом.

В земле (песке) делается углубление 0,2 метра и диаметром в 0,3 метра. Внутри углубления размещается 180 термопар термоэлектрического генератора по спирали с меж проволочным расстоянием в 15-20 мм так, чтобы не было электрического контакта между соседними проволоками. Это может быть обеспечено, например, листьями или ветками деревьев. Проволоки засыпаются землёй (песком) по уровню верхних спаем элементов термоэлектрического генератора. Сверху разводится костёр. Термоэлектрический генератор выдаёт 5 вольт пока горит костёр.

В этом случае, верхние спаи термоэлектрического генератора будут всегда находиться с температурой 500-600 градусов. Нижние спаи термоэлектрического генератора в земле на глубине в 200 мм будут всегда находиться при температуре не более 50 градусов.

Вариант использования проводника с знакопеременной контактной разностью потенциалов как основа термоэлектрического генератора для набора по выживанию показана на следующем Рис.49.

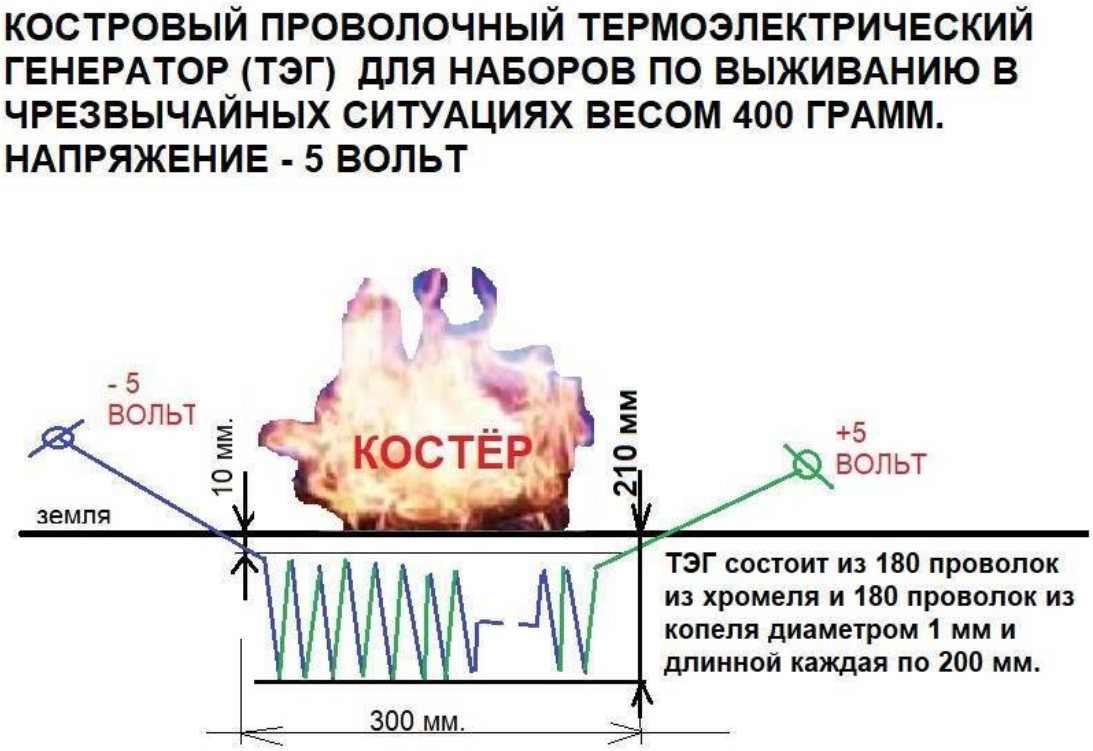

Рис. 49. Костровый проволочный термоэлектрический генератор (ТЭГ) для наборов по выживанию в чрезвычайных ситуациях.

Такое исполнение достаточно для обеспечения аварийного заряда/питания напряжением 5 воль любого гаджета или для целей аварийного освещения.

Вывод

На основании вышеизложенного, предлагается небольшими партиями производить готовые к применению костровые проволочные термоэлектрические генераторы на напряжение 5 вольт для комплектования наборов по выживанию в чрезвычайных ситуация.

Технология изготовления проста. Последовательно свариваются металлические проволоки длинной по 200 мм и диаметром в 1 мм из хромеля и копеля змейкой в общую электрическую цепь длинной 72 метр.

Общие характеристики такого проволочного термоэлектрического генератора, как:

– количество термопар – 180 штук,

– высота -200 мм,

– диаметр “связки” – 50 мм,

– общая длинна – 72 метра,

– вес – 400 грамм, выходное напряжение – 5 вольт.

позволят в аварийной ситуации с помощью костра обеспечить аварийное питание / зарядку любому электронному устройству или обеспечить аварийное питание, которое будет зависеть исключительно от костра.

Пока горит костёр – термоэлектрический генератор обеспечивает аварийное питание.

5.17. Контактно-волновая энергоантенна. Принцип работы, физическая реализация и направления применения

Представлена концепция принципиально новой архитектуры приёмопередающих систем – контактно-волновой энергоантенны, основанной на функциональной контактной активности (ФКА). Такие антенно-подобные структуры регистрируют не столько резонансную частоту внешнего сигнала, сколько пространственно-временную структуру, форму, фазу и энергетическую модуляцию сигнала. Это позволяет использовать в условиях ограничения традиционных радиочастотных приёмников при ближнепольном взаимодействии, импульсной передаче, связи через низкоэнергетические флуктуации и в электронно-насыщенной среде. Рассматриваются принципы работы, отличие от классических антенн, теоретическое обоснование, примеры конструктивной реализации и оборонно-гражданские применения.

Введение.

Современные антенны разрабатываются на основе резонансного подхода: геометрия проводника, материал, диэлектрическая подложка и форма элемента подбираются таким образом, чтобы длина волны λ сигнала соответствовала размерам антенны (λ/2, λ/4 и др.). Такой подход хорошо работает в фиксированных частотных диапазонах (Wi-Fi, GPS, RFID, MT-сети и т.п.), но имеет ряд ограничений:

– Ограниченная ширина полосы пропускания (BAD при UWB);

– Чувствительность к электромагнитным помехам;

– Неэффективность при регистрации импульсных, нестабильно-модулированных или составных сигналов;

– Зависимость от ориентации и расстояния до источника;

– Критичность точной настройки.

В условиях ультраширокополосных сред, цифровой постобработки сигнала и стелс-коммуникации возникает необходимость разработки новых типов приёмников, способных регистрировать энергоструктуру входного сигнала вне зависимости от резонансной частоты. Именно такую возможность дает описание ФКА-структур как пространственно-чувствительных материалов.

Идея "контактно-волновой энергоантенны" на основе ФКА.

Идея "контактно-волновой энергоантенны" на основе ФКА не заменяет классическую радиофизику – она расширяет её рамки, вводя новую парадигму получения / регистрации сигнала в условиях, где частотная селективность уступает место формоселективности и топоселективности.

Почему это не противоречие физике?

1. Не антенна в обычном смысле, а сенсорно-детектирующая плоскость ФКА-структура не обязательно максимизирует излучаемую мощность – как у стандартной антенны. Она может быть пассивной системой, воспринимающей энергоинформационные паттерны (не столько частоты, сколько фазовые модуляции, градиенты, временные формы). Это ближе к "фазовой апертуре", чем к диполю.

2. Использование флуктуационных токов и асимметрий ФКА-системы чувствительны к временным и пространственным флуктуациям внешнего поля. Их реакция может проявляться не только в виде классического тока, но и как изменение распределения потенциалов, теплоотдачи, ёмкости и локальной ЭДС. Это делает возможным регистрацию сигнала без резонансного тюнинга – через изменение физического состояния (подобно фазовому переходу).

3. Распределённое возбуждение вместо точечного. Классическая антенна – это точка входа сигнала. В ФКА-решётке каждый узел воспринимает сигнал как часть формы. Система реагирует не на амплитуду на определённой частоте, а на изменение формы/развертки. Можно

сказать, что "резонанс" происходит не в частотной области, а в пространственно-временной структуре.

4. Когерентная интеграция по фазе сигнала. Если узлы ФКА находятся в правильно организованной топологии, под действием внешнего поля они могут войти в пространственную когерентность ("резонанс ФКА"), усиливая сигнал не за счёт геометрии проводника, а за счёт направленной координации токов – эффект аналогичный тому, как работает волновая оптика или фаза возбуждения антенн в решётке.

5. Применение вне области классической антенн. Классические антенны плохо работают с ультраширокополосными импульсами, полями ближнего действия, шумоподобными сигналами. ФКА-плоскость может служить пассивным примитивным "демодулятором" сложных воздействий – реагируя на структуру, а не волну. Здесь нет противоречия: просто другая задача.

Пример аналогии.

Представьте себе, что классическая антенна – это музыкальный инструмент, натянутый на определённой частоте (например, гитара на ноту «ля»). Он отлично воспринимает (или воспроизводит) свою "ноту".

ФКА-плоскость – это песок, насыпанный на металлическую мембрану. В неё попадает любой звук, и в зависимости от частоты/временной структуры создаётся определённая интерференционная картина. Она не усиливает резонанс, но показывает характер сигнала. Мы считываем отклик не частотно, а структурно.

Таким образом классические антенны рассчитаны на частоты – и это неоспоримая физика.

Но ФКА-устройства в предложенной парадигме не являются антеннами в строгом смысле. Это нелинейные распознаватели формы сигнала, работающие в пространственно-временных развертках и энергетических паттернах.

Их можно использовать совместно с классическими антеннами: первая регистрация/выборка сигнала формационного типа – затем его анализ на частотном уровне. Или наоборот – модуляция на ФКА-решётке сигнала, подаваемого в стандартный передатчик.

Контактно-волновая энергоантенна – это распределённая структура, созданная на основе материалов с функциональной контактной активностью (КРП-ячейки: металл–металл, металл–полупроводник), воспринимающая внешнее воздействие (электромагнитное поле, импульс, электрический ток) не как частотный сигнал, а как пространственно-временное изменение параметров среды (напряжённости, плотности потока мощности, фазы, сигнатуры форм).

Принцип регистрации.

В отличие от резонансных антенн, Контактно-волновая энергоантенна основана на нелинейной реакции локальных ФКА-узлов:

– каждый узел имеет свою КРП-специфику и чувствительность к направленным или модулированным фронтам поля;

– при совпадении формы импульса с "внутренней топологией" узла, возникает локальная генерация ЭДС;

– множество узлов объединяется в матрицу, пространственное распределение ЭДС формирует сигнатуру возбуждения;

– сигналы не складываются по волне, а суммируются как откликных зон ЭДС.

Эффект пространственно-временной когерентности.

При внешнем возбуждении импульсной или структурированной формой сигнала, цепочка узлов ФКА может самосогласоваться, создавая "волновой" отклик – фронт движения энергии вдоль антенны. Это аналог стоячей волны возбуждения, но не в традиционном поле, а в функциональной активности материала.

Физическое обоснование.

Разнородные металл-металл или металл-полупроводник контакты характеризуются контактной разностью потенциалов (КРП), зависящей от работы выхода и локального состояния:

– температура (эффекты Зеебека, Пельтье);

– локальное поле (эффекты сразу на нескольких электронами);– геометрия и ориентация области контакта.

В неравновесных условиях каждый контакт способен кратковременно или устойчиво генерировать ЭДС при градиенте энергии.

Роль эффектов накопления.

В эти узлы вшиты области насыщаемой ёмкости: благодаря барьерной и диффузионной ёмкости p–n переходов или электрохимических фаз, даже короткое воздействие приводит к изменению состояния (энергетического и электрического) для будущего отклика – тем самым реализуется зависимость отклика от предыдущей истории (временная чувствительность).

Вывод.

Контактно-волновая энергоантенна представляет собой новый класс приёмно-энергетических структур, регистрирующих не конкретную частоту внешнего сигнала, а его энергетическую сигнатуру. Базируясь на функциональной контактной активности, такие элементы обладают сверхширокой полосой воспринимаемой информации и пространственно-зависимым откликом, идеальны для задач пассивной радиолокации, скрытой связи, энергетически автономной сенсорики и нового поколения электроматериалов.

5.18. Функционально-активная контактная коммуникация без радиоформата через структурированные поля локального взаимодействия.

Аннотация.

Предлагается новая концепция межобъектной коммуникации, основанная на функциональной контактной активности (ФКА) – физическом явлении, которое позволяет преобразовывать рассеянные виды энергии (электростатические, тепловые, механические флуктуации) в полезные сигналы на границах разнородных проводящих сред. Эта статья описывает метод энергоинформационного обмена между двумя физическими системами без радиоволн, при котором передача данных осуществляется через управляемые локальные изменения физической среды – тепла, поля, напряжения, контактной разности потенциалов (КРП). Анализируются физические принципы, отличие от классических методов связи, возможные реализации, области применения и преимущества данного подхода.

Введение.

Связь между двумя физически независимыми объектами – основа современных информационных технологий. Подавляющее большинство каналов связи использует электромагнитные волны (радиочастоты, оптику, микроволны) или проводные системы (USB, Ethernet, CAN-шины и пр.).

Однако одновременно в науке и технологиях существует растущая потребность в:

– сверхнизкоэнергетических каналах;

– физически неклонируемых интерфейсах;

– встраиваемой связи на микро- и наноуровне;

– биоэлектрической и биоаналоговой связи;

– защите от перехвата, подделки, имплантации помех и EMI-загрязнения.

Предлагаемая ФКА-коммуникация без радио – это способ пассивной передачи данных через слабоэнергетические, структурные и контактные взаимодействия, в частности, через механизмы:

– микротепловых градиентов;

– локальных электрических полей и зарядов;

– активации контактных интерфейсов между разнородными средами.

Функционально-активная контактная коммуникация создана для ситуаций, когда:

– нельзя излучать;

– нельзя воспроизвести сигнал;

– надо учесть тело, ткань, среду, прикосновение;

– перегрузка частотного ресурса делает обычную связь невозможной;

– функциональность важнее, чем ширина канала.

– расстояние между приёмником и передатчиком – не более 5-10 см.

Физическая основа.

Функциональная контактная активность (ФКА).

ФКА – это способность межфазных границ (металл–металл, металл–полупроводник, полупроводник–полупроводник) изменять распределение зарядов, контактные потенциалы и токи под действием флуктуаций внешних факторов (температуры, давления, электрических и электростатических полей). Эти процессы сопровождаются:

– появлением ЭДС (эффект Зеебека / контактных КРП);

– динамической модуляцией токов;

– запоминанием возбуждений через ёмкостные узлы барьеров Шоттки или p-n переходов.

2. Типы каналов передачи в ФКА-коммуникации.

– Тепловой (нагрев от тела, дыхания, ИК-излучения)

– Электростатический (касание, поле ладони)

– Ёмкостной (влияние на диэлектрические свойства среды)

– Механический (вибрация, акустический контакт)

– Потенциальный (контакт КРП у двух материалов)

Принцип действия ФКА-коммуникации.

Идея состоит в том, чтобы одна система "зашивала" данные в структуру энергетического воздействия (например, форму температурной вспышки, электростатическую маску), а другая реагировала на это в своём ФКА-контуре, регистрируя отклик (напряжение, ток, сигнатуру изменения импеданса/КРП).

Модель «сенсор–ответчик».

Сторона А: содержит ФКА-узлы, чувствительные к внешним стимулам.

Сторона В: содержит источник структурированной передачи (нагрел, коснулся, навёл заряд и т.п.).

При встрече или приближении – ответная функциональная активация (заряд, напряжение, вход в резонанс, изменение ёмкости).

Примеры реализации.

– Контактная идентификация пользователя.

Сенсор в телефоне или блоке оружия реагирует только на прикосновение с биополе конкретного пользователя. Регистрация электростатической подписи. Реакция ФКА-узлов как цифровой отпечаток.

– Скрытая передача между двумя устройствами.

Два робота соприкасаются контактными пластинами. Один формирует тепловой импульс глазами, второй отвечает ЭДС-откликом. Передача закодированной команды без передачи в эфир.

– Беспроводной "жест-контакт".

Человек прикладывает палец к ключу. Структура КРП реагирует – идентификация произошла. Нет батарейки, нет протокола, но сигнал зарегистрирован.

– Имплант + носимое устройство.

Внутренний сенсор (в организме) и носимая система обмениваются данными электростатическим способом. Биоинтерфейс в реальном времени.

Преимущества.

– Невозможность копирования сигнала (радио-подделка не работает);

– Отсутствие излучения = физическая невидимость;

– Полная энергетическая автономность (работает на микроджоулях или пассивно);

– Структурная защита: уникальный отклик каждого устройства;

Ограничения.

– Невозможно использовать на расстояниях больше 5–10 см;

– Не подходит для высокоскоростной передачи потоков данных;

– Уязвимость к шуму среды там, где границы слишком размыты (вода, перегретая атмосфера).

Аналоги.

– PUF на кремнии – аналог цифровой сигнатуры, но без связи;

– Индуктивные быстроразрядные EM-ключи (NFC только в 1 см и с питанием)

– «Направленный резонанс» трибоэлектрических генераторов;

– Жестовая аутентификация в нейроинтерфейсах.

Применения.

– Защиту от подделок (именно такой материал нельзя клонировать);

– Тактильная связь в военных операциях (к шлему дотронулся – команда прошла);
– Аутентификация дрона/терминала без передачи по воздуху;
– Биологическое кодирование сигналов без цифры;
– Медицинская микроэлектроника (чип без питания, но с откликом).

Заключение.

ФКА-коммуникация без радиоформата предлагает не просто новый тип связи, а новую форму взаимодействия между объектами. Она основана не на волне, а на эквивалентном энергетическом взаимодействии структур, которые невозможно подделать, перехватить или клонировать. Это связь, в которой действуют не биты, а энергия, структура и материя как носитель кода. Такие принципы особенно актуальны для ближайшего будущего интеллекто-ориентированных, автономных, децентрализованных систем.

5.19. Энергетическая маскировка объектов на основе функциональной контактной активности

Аннотация.

В статье предлагается концепция и обоснование объёмного или оболочного материала, построенного на принципе функциональной контактной активности (ФКА), способного динамически генерировать тепловые и электростатические отклики, имитирующие сигнатуру реального объекта. Такой материал может использоваться для маскировки техники, человека, инфраструктуры от ИК-детекторов, радаров, тепловизоров и электромагнитных средств наведения. Рассматриваются физические принципы действия, архитектурные схемы и потенциальные сферы применения в оборонных, специальных и гражданских проектах.

Введение.

Современные системы разведки и обнаружения все чаще используют мультиспектральные подходы: оптические, инфракрасные, радиолокационные, электростатические сенсоры для определения местоположения живых объектов и техники. Классические способы маскировки (теплозащитные покрывала, экраны, поглотители) лишь частично уменьшают сигнатуру, но не подменяют её.

Энергетическая маскировка предлагает не "прятать", а "обманывать" – создавать активный материал, способный имитировать профиль цели, используя локальные генерации ЭДС, температуры и электростатики.

Физико-математическая основа.

Контактная разность потенциалов.

Материалы с ФКА обладают физически обусловленной способностью на границах разнородных проводников (например, Cu–NiCr, W–Al) формировать пространственно ограниченную контактную разность потенциалов (КРП), что при наличии даже слабых внешних флуктуаций (температура, электростатика) может вызывать реакцию в виде ЭДС (эффект Зеебека, Пельтье).

Локальное управление температурой.

Используя последовательность металлических переходов с противоположной полярностью (положительные и отрицательные коэффициенты Зеебека), можно направлять ток так, чтобы вызвать:

– локальный нагрев (эффект Пельтье, прямой ток);

– локальное охлаждение (обратный ток).

Это может формировать температурную "карту", идентичную тепловому профилю живого тела или двигателя.

Электростатическая сигнатура.

ФКА-материалы с накоплением заряда в p-n переходе или на барьерных контактах способны поддерживать собственную поляризацию даже без внешнего поля, имитируя "присутствие тела" в осях электростатических сенсоров.

Принцип действия энергетической маскировки:

Имитация тепловой сигнатуры человека или машины.

Материал-композит формирует зоны повышенной и пониженной температуры с перемещаемыми «горячими пятнами» в диапазоне 27–42 °C – идентично телу человека, животного или выхлопу двигателя.

Формирование радиолокационного образа.

На основе комбинации проводящих/диэлектрических включений (псевдоотражателей) и пассивных микрогенераторов ЭДС имитируется радиолокационное отражение цели даже при отсутствии реально излучающей антенны.

Маскирование тела в ИК и РЧ-диапазоне.

Многослойная структура ФКА-декоя с управляемыми фазами возбуждения позволяет согласовать выходной спектр – за счёт геометрии, термо-профиля и реакции на внешнее поле.

Имитация динамики движения.

Послойная активация ФКА-ячей на поверхности (например, в рукаве костюма) позволяет создать иллюзию пульсации, движения, переноса тепла – для обмана интеллектуального анализа по ИК-видео/радару/AI-алгоритмам.

Архитектура энергетической маскировки.

– Активные мембраны с чередующимися зонами КРП (например, линия нихром–медь–оксид меди);

– Блоки возбуждения (токовые импульсы, фазосдвигающие трансформаторы);

– Температурные компенсаторы (метаматериалы с меняющимся теплопереносом);

– Электростатические ловушки (поверхности, удерживающие заряд);

– Сенсор обратной связи (ИК-профиль, поле, локальный тепловизор на матрице) – для точной подстройки сигнатуры.

Заключение.

Энергетическая маскировка – это не просто утеплитель или маскировка. Это интеллектуальный материал, обладающий собственной контурной функциональностью. Он способен перекодировать взаимодействие объекта с внешней средой и сформировать активную ложную сигнатуру. Это фундаментально новый рубеж в маскировке и алогичной защите в условиях современного спектрального боя.

5.20. Функционально активная контактная система управления изменением формы и цвета термочувствительных материалов

Представлена инновационная система пространственно-адресного управления термочувствительными материалами (в том числе полимерами с памятью формы, термохромными покрытиями и электроактивными композитами) без использования традиционных проводников или распределённого нагрева. Система построена на основе цепей с функциональной контактной активностью (ФКА), обеспечивающих локальное возбуждение тепловых зон в пространственно контролируемых участках поверхности или объёма. Данный подход позволяет задавать конфигурацию формы и цвета внешней оболочки изделия (например, транспортной, робототехнической или носимой конструкции), быстро изменять её по алгоритму, и реализовывать адаптивную трансформацию без потребности в сложной механике или цифровом управлении каждого сегмента.

Введение.

Термочувствительные материалы – например, полимеры с памятью формы (SMP), термохромные краски, фазовозменяемые гели и мембраны – обладают способностью изменять механические, геометрические и оптические свойства в ответ на температурное воздействие. Однако их практическое применение в трансформируемых устройствах требует точного, быстрого, экономичного и масштабируемого способа управления температурным профилем.

Классические методы управления (теновые нагреватели, жидкостный теплоноситель, распределённые сопротивления) имеют такие недостатки, как громоздкость, инерционность и невозможность точечной адресации.

Предлагается принципиально новый способ управления – использование контактно-активных цепей, формирующих локальные зоны нагрева и охлаждения за счёт направляемой функциональной контактной активности (ФКА), обеспечивающей активацию конкретного сегмента структуры без возбуждения остального объёма.

Физическая основа.

Реализуется на границах разнородных проводников (например, нихром–медь, медь–оксид меди), где возникает контактная разность потенциалов (КРП). При подаче управляющего импульса с определённым фазовым сдвигом на концы проводника с множеством КРП, создаётся зона наложенной ЭДС в сегменте длины L1, где и возникает ток с максимальной плотностью, преобразующийся в локальный нагрев (или охлаждение – при работе на эффекте Пельтье). Эти зоны могут перемещаться вдоль структуры как «температурное окно», управляемое частотой и фазами подаваемого напряжения.

Температурное управление без эмиссии.

Система работает бесконтактно, без генерации электронных или оптических сигнатур. Управление температурой не требует непосредственного подключения к конкретному элементу или платежа приборов – температурная информация «встраивается» в физическую структуру проводника.

Архитектура системы.

Система включает:

– Биметаллический или полуметаллический диагностический провод с множеством КРП;

– Два источника напряжения с фазовой разверткой (Fвозб и Fразв);

– Неконтактно сопряжённый полимер/покрытие в зоне действия L_1 (напр. SMP, EAP, термохром);

– Алгоритм перестройки конфигурации путём перемещения «горячего» сегмента по координате проводника.

Пример: на панели автомобиля размещён полимер, изменяющий форму при 42 С. ФКА-система подаёт напряжение Uвозб и Uразв: в результате сегмент L_1 нагревается до 45 °С – и этот участок изгибается, как волосок биморфной антенны.

Функциональные возможности.

– Изменение наружной геометрии объектов: деформируемые кузова, «перенастраиваемые» формы обтекателей, крыльев, крыш;

– Переключение визуального цвета: зоны могут становиться ярче/бледнее, плавно или мгновенно, по рисунку;

– Обратное охлаждение: тот же сегмент можно использовать как точку отвода тепла (эффект Пельтье – при реверсе);

– Профили формирования формы: система может менять шаблон поведения исходя из условий – скорость, ландшафт, функциональности.

Применение.

– Транспорт: трансформируемые машины, мотоциклы, дроны с «меняемым дизайном»;

– Робототехника: адаптивные оболочки у марионеток, манипуляторов, «плавную» кинематику через оболочку;

– Архитектура: фасады, которые «закрываются» сами на солнце и открываются в тени;

– Медицина: интеллектуальные повязки, меняющие форму под анатомические параметры в зависимости от температуры тела.

Преимущества.

– Не требуется сложная адресация каждого сегмента: система управляется аналогово;

– Реализация динамически движущегося теплового пятна (температурная ПЛИС-топология);

– Возможность пассивной работы (на накопленной энергии или теле);

– Масштабируемость + совместимость с готовыми SMP/EAP.

Заключение.

Представленная система демонстрирует принципиально новую модель управления деформируемыми и визуально изменяемыми поверхностями, в которой форма и внешний вид объекта становятся программируемыми физически, а не механически. Данное решение является ключевым этапом в переходе от «материала как объекта» к «материалу как функции среды», объединив заслуги материаловедения, энергетики и полевой программируемости.

Заключение

Настоящая работа представила концепцию функциональной контактной активности (ФКА) – принципиально нового направления в физике проводящих материалов, которое переосмысливает роль межфазных границ и их взаимодействия с окружающей средой. Мы отошли от традиционной парадигмы пассивных проводников, демонстрируя, как материалы, обладающие ФКА, могут выступать в качестве активных, самодостаточных и адаптивных систем, способных к генерации энергии, прецизионному сенсорингу и управлению на микроскопическом уровне.

В рамках работы были подробно рассмотрены универсальные принципы, лежащие в основе ФКА, включая эксплуатацию динамической асимметрии контактной разности потенциалов, эффективное использование и преобразование различных флуктуаций (тепловых, электромагнитных, электростатических) в полезную электрическую энергию, а также критическую роль межфазных границ как активных функциональных элементов. Были проанализированы различные материальные реализации ФКА-систем: от металлических проводников со знакопеременной контактной разностью потенциалов, демонстрирующих термоэлектрические и электромагнитные отклики, до гибридных систем на основе контактов полупроводник-металл и полупроводник-полупроводник, отличающихся расширенными возможностями управления зарядовым состоянием и взаимодействия с внешними полями. Особое внимание было уделено инновационным методам диагностики и управления состоянием отдельных контактных сегментов, открывающим пути к созданию высокоточных распределенных сенсоров и систем локализованного температурного воздействия.

Развитие материалов с функциональной контактной активностью знаменует собой глубокий парадигматический сдвиг, обещающий кардинально изменить подход к проектированию и созданию электронных устройств и энергетических систем. Возможности, открываемые ФКА, охватывают широкий спектр потенциальных применений: от автономных источников питания и безбатарейных сенсоров до систем ранней диагностики дефектов, адаптивных терморегулирующих покрытий и интеллектуальных материалов, способных органично интегрироваться в окружающую среду и реагировать на неё. Это направление прокладывает путь к созданию технологий, которые будут характеризоваться не только повышенной энергоэффективностью и устойчивостью, но и качественно новым уровнем автономности и интерактивности.

Мы стоим лишь в самом начале этого захватывающего научного и технологического путешествия. Дальнейшие исследования в области ФКА обещают раскрыть ещё более глубокие секреты взаимодействия материи и энергии на микроуровне, способствуя созданию систем, которые сегодня мы можем лишь воображать. Эти изыскания будут включать углубленное теоретическое моделирование, разработку новых методов синтеза и характеризации материалов, а также масштабирование лабораторных демонстраций до промышленных прототипов.

Глоссарий

****Функциональная контактная активность (ФКА)** **

Свойство проводящих материалов становиться активными, "интеллектуальными" компонентами, способными самостоятельно генерировать энергию, осуществлять сенсинг и адаптироваться, используя динамическую асимметрию контактных потенциалов на межфазных границах для преобразования различных флуктуаций.

****Функционально-активные контактные материалы и системы** ** Новое поколение материалов и компонентов, обладающих свойством функциональной контактной активности (ФКА). В отличие от традиционных пассивных проводников, они являются активными и "интеллектуальными", способными к самогенерации энергии, сенсингу, самодиагностике и адаптации без постоянного внешнего источника питания, благодаря динамической асимметрии контактных разностей потенциалов на их межфазных границах.

****Асимметрия контактной разности потенциалов (КРП)****

Разница в работе выхода двух материалов на их межфазной границе, которая может изменяться во времени под воздействием внешних или внутренних флуктуаций, обеспечивая генерацию электродвижущей силы (ЭДС) в системах с функциональной контактной активностью.

****Динамическая асимметрия КРП****

Временное или управляемое изменение контактной разности потенциалов, вызванное неравновесными процессами, такими как тепловые, механические или электромагнитные флуктуации, что позволяет создавать направленный ток или энергию в системах ФКА.

****Емкостная термоэлектрическая батарея****

Устройство, использующее металлические термопары в сочетании с емкостными накопителями для преобразования низкопотенциального тепла в электрическую энергию с повышенной эффективностью за счет синергии термоэлектрического эффекта и накопления заряда.

****Интеллектуальные материалы****

Материалы, обладающие способностью к самогенерации энергии, сенсорингу, самодиагностике или адаптации к внешним условиям без внешнего источника питания, основанные на принципах функциональной контактной активности.

****Контактная разность потенциалов (КРП)****

Разность электрических потенциалов, возникающая на границе двух разнородных материалов (например, металл-металл или металл-полупроводник) из-за различий в их работах выхода или уровнях Ферми.

****Межфазная граница****

Область контакта между двумя материалами с различными физическими свойствами (например, металл и полупроводник), где происходят ключевые процессы генерации ЭДС, сенсоринга или преобразования энергии в системах ФКА.

****Неравновесные состояния****

Состояния системы, в которых параметры (например, температура, потенциал, концентрация носителей заряда) не находятся в термодинамическом равновесии, что позволяет использовать флуктуации для генерации полезной энергии или сигналов.

****Преобразование флуктуаций****

Процесс преобразования случайных колебаний (тепловых, электромагнитных, механических) в направленную электрическую энергию или сигналы, основанный на асимметричных свойствах межфазных границ в ФКА-материалах.

****Термоэлектрический эффект****

Явление генерации электрического напряжения или тока в системе под воздействием температурного градиента (эффект Зеебека) или обратное преобразование электрической

энергии в тепло (эффект Пельтье), используемое в ФКА для создания автономных источников энергии.

****Термосигнатурные отпечатки****

Уникальные электрические или тепловые характеристики материала или устройства, обусловленные микроструктурными особенностями межфазных границ, используемые для идентификации или защиты от подделок, аналогичные физически неклонируемым функциям (PUF).

****Электродвижущая сила (ЭДС)****

Разность потенциалов, возникающая в системе ФКА за счет контактных явлений, флуктуаций или термоэлектрических эффектов, используемая для генерации тока или питания устройств.

Литература

1. Займан, Дж. (1974). *Принципы теории твердого тела*. М.: Мир.

2. Абрикосов, А.А. (1987). *Основы теории металлов*. М.: Наука.

3. Гуревич, Ю.Г. (1989). *Неравновесные носители заряда в полупроводниках*. М.: Наука.

4. Волков, А.Ф., Коган, Ш.М. (1968). Флуктуации в полупроводниках. *Успехи физических наук*, 96(4), 633–664.

5. Равич, Ю.И., Ефимова, Б.А., Смирнов, И.А. (1971). *Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца*. М.: Наука.

6. Семенов, Ю.П. (1998). Контактные явления в полупроводниках. *Физика и техника полупроводников*, 32(10), 1157–1165.

7. Кузьмин, В.И., и др. (2005). Стохастические процессы в наноэлектронике. *Журнал технической физики*, 75(8), 23–30.

8. Булат, Л.П., и др. (2012). Термоэлектрические материалы и устройства: современное состояние и перспективы. *Физика твердого тела*, 54(10), 1987–1995.

Примечание

Более подробная информация о функционально-активных контактных материалах, а также сведения о экспериментальных работах и вариантах практического применения представлены в авторском исследовательском проекте: **Вихри Хауса – Инновационный шторм идей и экспериментов в науке и технике**.

Официальный ресурс: [https://vihrihaosa.ru]

Добро пожаловать!