

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. Электроника и наноэлектроника
код и наименование

Профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Термоэлектрогенератор на основе моносulfида самария
тема бакалаврской работы

Студент группы 21ПД1
номер группы

Муканбетов Б.М.
подпись, дата 09.06.25 фамилия, иниц.

Руководитель доцент
должность наименование организации

Доросинский А.Ю.
подпись, дата 09.06.25 фамилия, иниц.

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Рыжова Т.Н.
подпись, дата 18.06.25 фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 20.06.25 № 10)

Заведующий кафедрой

Пронин И.А.
подпись, дата 20.06.25 фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 20.06 № 15)

Секретарь ГЭК

Вольсков А.А.
подпись, дата 20.06.25 фамилия, иниц.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария и перспектив его применения при построении эффективных термоэлектрогенераторов	7
1.1 Понятие термоэлектрической генерации	7
1.2 Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария.....	9
1.3 Перспективы применения моносulfида самария при построении термоэлектрогенераторов	11
2 Проектирование термоэлектрогенератора на основе моносulfида самария .	15
2.1 Анализ физической модели выработки ЭДС в рабочем элементе моносulfида самария.....	15
2.2 Патентный поиск в области разработки термоэлектрогенераторов на основе моносulfида самария.....	19
2.3 Разработка конструкции и расчет основных технических параметров термоэлектрогенератора на основе моносulfида самария	33
3 Экспериментальное определение термо-ЭДС в элементах термоэлектрогенератора на основе моносulfида самария.....	38
3.1 Разработка функциональной схемы определения термо-ЭДС	38
3.2 Экспериментальные результаты измерения термо-ЭДС.....	40
4 Технология изготовления печатных плат	43
4.1 Анализ методов изготовления печатных плат.....	43
4.2 Выбор материалов и комплектующих деталей	46
4.3 Размещение радиодеталей на плате. Трассировка проводников	49
Заключение	53
Список использованных источников	54
Приложение А Техническое задание	56
Приложение Б Сборочные чертежи термоэлектропреобразователя и термоэлектрогенератора	57
Приложение В Схема электрическая структурная измерения ЭДС термоэлектрогенератора	60

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		2

Приложение г Иллюстративная часть.....	61
Приложение д Заявление и протокол проверки бакалаврской работы на оригинальность.....	62

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		3

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 71 лист, 20 рисунков, 2 таблицы, 3 листа формата А1, 18 источников, 5 приложений.

Ключевые слова: термоэдс, термоэлектрогенератор, преобразователь, установка измерения термоэдс, моносульфид самария.

Предметом исследования являлись термоэлектрические генераторы на основе моносульфида самария.

Целью работы было: разработка термоэлектрического генератора на основе термоэлектропреобразователей с использованием моносульфида самария.

В работе представлен литературный обзор современных подходов к построению термоэлектрогенераторов. Проведен анализ сферы их применения.

Проведен анализ механизма возникновения термоЭДС в термопреобразователях на основе моносульфида самария.

Предложена конструкция термоэлектропреобразователя а также термоэлектрогенератора на его основе.

Проведена разработка установки для измерения термоЭДС термоэлектрогенераторов.

По результатам проведенной работы сделаны выводы.

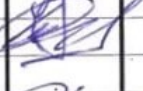
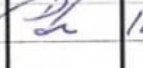
					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

Рост стоимости электроэнергии, загрязнение окружающей среды и глобальное потепление — это проблемы, с которыми мы сталкиваемся в настоящее время. Чтобы уменьшить их влияние, ученые сосредотачиваются на совершенствовании генераторов энергии на основе сбора энергии. Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) продемонстрировали свою способность напрямую преобразовывать тепловую энергию в электрическую с помощью эффекта Зеебека. Кроме того, они экологически безопасны, поскольку не содержат химических продуктов, работают бесшумно, поскольку не имеют механических структур и/или движущихся частей, и их можно изготавливать на многих типах подложек, таких как кремний, полимеры и керамика. Кроме того, ТЭГ не зависят от положения, имеют длительный срок службы и подходят для интеграции в объемные и гибкие устройства.

Исследования электропроводности полупроводников на основе редкоземельных элементов при повышенных температурах привели к открытию уникального физического явления — спонтанного возникновения электрического напряжения в однородно нагреваемом образце материала. Данный феномен обусловлен коллективной сменой валентности ионов самария, сопровождающейся резким ростом концентрации свободных носителей заряда.

В отличие от традиционных термоэлектрических устройств, функционирующих на основе эффекта Зеебека, предлагаемый преобразователь демонстрирует принципиально иную физику работы. Ключевым преимуществом является коэффициент полезного действия (КПД): даже прототипные образцы превосходят лучшие существующие аналоги в 3-4 раза. Следует отметить, что потенциал классической термоэлектрики в значительной степени исчерпан, в то время как новый подход открывает широкие возможности для совершенствования. Уже достигну-

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Введение	Литера	Лист	Листов	
Разраб		Муканбетов				у	5	62	
Пров		Доросинский							
И. Контр.		Рыжова		18.06.25					
Утв									
						Каф. "НиМЭ", группа 21ПД1.			

тые результаты обеспечивают технико-экономические предпосылки для коммерческой разработки генераторных установок. Подобные системы найдут применение во всех сферах малой энергетики, где сегодня используются ТЭГ, обеспечивая полную автономность, высокую надежность, простоту эксплуатации, долговечность, компактность и превосходные массо-габаритные показатели. Отсутствие подвижных частей и необходимости создания значительных температурных градиентов упрощает технологию производства и снижает себестоимость по сравнению как с термоэлектрическими, так и с альтернативными источниками энергии.

Актуальность темы подтверждается экономическими расчетами [1-3], показывающими конкурентоспособность ТЭГ при КПД 15% (текущие показатели <10%). Предлагаемое решение способно превысить этот порог в 2-3 раза, приближаясь к 40-50%. Это открывает перспективы для широкого внедрения в различные технические сферы: солнечные генераторы, установки на органическом топливе, изотопные и реакторные ТЭГ (*SmS* обладает рекордной радиационной стойкостью). Низкая рабочая температура преобразователя делает его идеальным для утилизации сбросного тепла (ДВС, мусоросжигание, ядерные отходы). Потенциальные области применения включают аэрокосмическую, автомобильную, судостроительную и нефтегазовую отрасли.

1 Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария и перспектив его применения при построении эффективных термоэлектродгенераторов

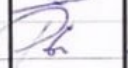
1.1 Понятие термоэлектрической генерации

Термоэлектрическая генерация представляет собой метод прямого преобразования теплоты в электроэнергию, исключая промежуточные механические стадии, характерные для традиционных электростанций. Ключевыми преимуществами являются отсутствие движущихся частей (и связанных с ними вибраций, износа), жидкостей/газов под давлением, а также универсальность по отношению к источнику тепла. ТЭГ незаменимы для энергоснабжения удаленных объектов или систем со специфическими требованиями (космос, подводные магистрали, навигация).

Уникальность генераторов на основе SmS заключается в отсутствии необходимости создания внешнего перепада температур. В отличие от классического эффекта Зеебека, где термо-ЭДС (U) пропорциональна коэффициенту Зеебека (α) и разности температур (ΔT), в SmS используется иной физический принцип.

Современные коммерческие модули ТЭГ имеют КПД 3-8%, ограниченные температурные диапазоны, могут содержать токсичные элементы, а их стоимость установленной мощности колеблется от \$10 до \$200/Вт. Разрабатываемое решение основано на новом явлении — термовольтаическом эффекте [6], принципиальное отличие которого — генерация ЭДС при равномерном нагреве без градиента температуры.

При использовании термоэлектрических генераторов на основе сульфидов самария (SmS) также отпадает необходимость создания внешнего перепада температур. Известно, что в основе термоэлектрической генерации лежит классиче-

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб		Муканбетов			Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария и перспектив его применения при построении эффективных термоэлектродгенераторов	Литера	Лист	Листов
Пров		Доросинский				y	7	62
Н. Контр.		Рыжова		16.06.15		Каф. "НиМЭ", группа 21ПД1		
Утв								

ский эффект Зеебека — возникновение термо-ЭДС при нагреве контакта двух разнородных металлов или полупроводников. Термо-ЭДС, измеряемая как напряжение U , прямо пропорциональна коэффициенту Зеебека α и разности температур ΔT между горячей и холодной сторонами термоэлемента:

$$U = \alpha \times \Delta T, \quad (1.1)$$

Классическая конструкция термоэлектрического генератора (ТЭГ) включает последовательно соединенные термопары. Каждая термопара образована полупроводниками n - и p -типа (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Конструкция термоэлектрического модуля

Элементы размещаются между керамическими пластинами, а к свободным концам подключается нагрузка. В стандартном модуле термоэлементы соединены параллельно с точки зрения тепловых потоков. Количество термопар в модуле варьируется от единиц до сотен.

В настоящее время отсутствуют материалы, полностью удовлетворяющие рыночным требованиям: высокая эффективность, низкая стоимость, длительный срок службы, широкий температурный диапазон и нетоксичность. КПД коммерческих модулей составляет 3-8% (зависит от перепада температур). Некоторые материалы токсичны. Рабочие температурные интервалы существенно различаются. Мощность современных генераторов — от микроватт до десятков киловатт.

Срок эксплуатации — от 1 до 25 лет. Стоимость установленной мощности — \$10-200/Вт.

Ключевая особенность разрабатываемого решения – генерация напряжения за счет нового физического явления, названного термовольтаическим эффектом [6]. Принципиальное отличие от классического эффекта Зеебека заключается в преобразовании тепловой энергии в электрическую при равномерном нагреве образца без градиента температур.

1.2 Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария

SmS является наиболее изученным редкоземельным полупроводником (РЗП) с уникальными свойствами: чрезвычайно низкое давление изоструктурного перехода "полупроводник-металл" (~6.5 кбар при 300 К), возможность перевода поверхностного слоя в металлическое состояние механической обработкой, фазовый переход при одноосном сжатии, рекордные значения пьезо- и тензорезисторных эффектов [2]. Эти свойства обусловлены переменной валентностью ионов Sm , эффектом самолегирования и моттовскими переходами, изучение которых на SmS наиболее информативно.

Практическая значимость исследований высока, несмотря на термостойкость SmS ($T_{пл} \sim 2300^\circ C$), существующие датчики на его основе имеют ограниченный температурный диапазон применения. Предполагаемая высокая радиационная стойкость (коррелирующая с термостойкостью) и изучение электрофизических свойств при нагреве открывают перспективы для термоэнергетического преобразования.

Принцип термовольтаического эффекта в SmS (Рисунок 1.2) связан с избыточным самарием в дефектах структуры, формирующим мелкие донорные уровни (~45 мэВ). Градиент концентрации ионов Sm в дефектах создает градиент концентрации электронов. Нагрев вызывает делокализацию электронов ($Sm^{2+} \rightarrow Sm^{3+} + e^-$) и локальные моттовские переходы с резким ростом концентрации электронов в

зоне проводимости и их диффузией в области с меньшей концентрацией. Этот импульсный процесс поддерживается нагревом.

Экспериментально зафиксирована генерация напряжения свыше 5 часов (Рисунок 1.3).

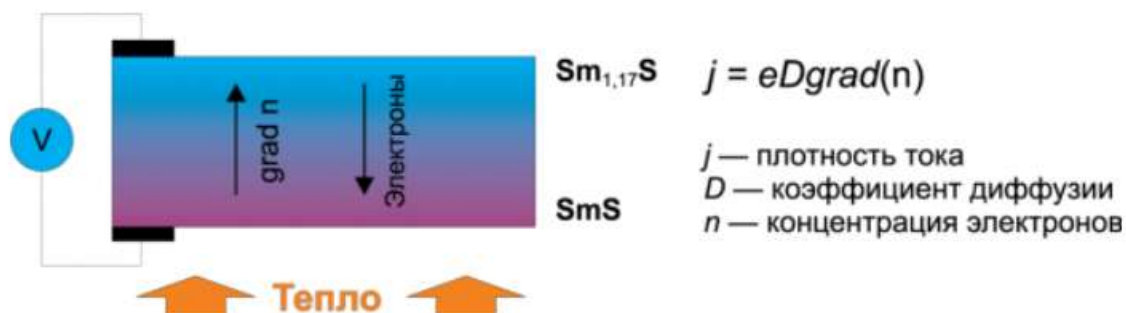


Рисунок 1.2 – Схема генерации ТЭГ на основе сульфида самария

Избыточный самарий в структурных дефектах формирует мелкие донорные уровни (~ 45 мэВ) с высокой концентрацией носителей (10^{20} – 10^{21} см $^{-3}$). Градиент концентрации ионов Sm в дефектах создает градиент концентрации электронов, служащий движущим фактором генерации напряжения. При нагреве происходит делокализация электронов ($Sm^{2+} \rightarrow Sm^{3+} + e^-$), что инициирует локальные моттовские переходы.

Концентрация электронов в зоне проводимости в этих областях резко увеличивается. Электроны диффундируют из зон с высокой концентрацией в зоны с низкой. Этот сложный импульсный процесс поддерживается постоянным нагревом и теоретически может длиться неограниченное время. На рисунке 1.3 представлен эксперимент, в ходе которого генерация напряжения продолжалась более 5 ч.

Современные лабораторные прототипы термоэлектрических генераторов (ТЭГ) на основе SmS демонстрируют удельную мощность порядка 5 мВт/см ^{2} (лучшие образцы – до 10 мВт/см ^{2}), генерируя напряжение около 50 мВ. Перспективные исследования сосредоточены на оптимизации технологии изготовления ТЭГ и разработке модулей из множества термоэлементов.

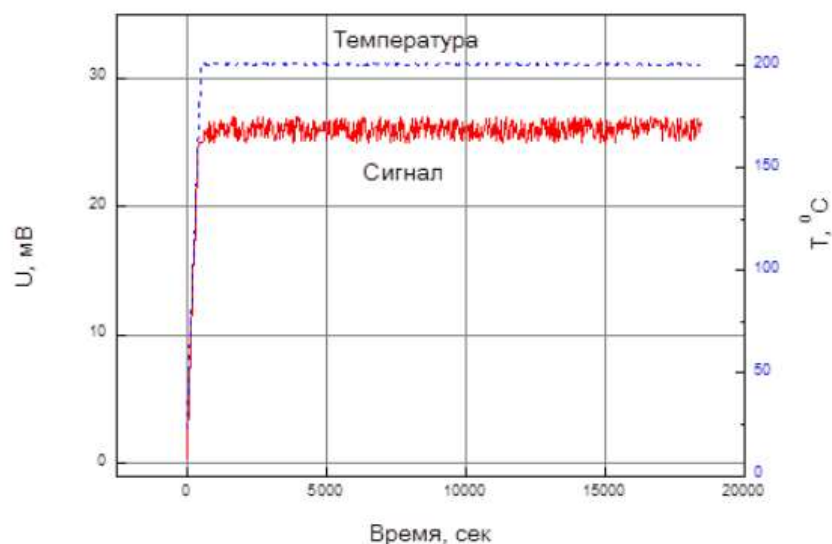


Рисунок 1.3 – Зависимость температуры и сигнала образца от времени нагрева

Ожидается, что КПД таких термоэлектрических преобразователей достигнет 15–20%, что соответствует уровню передовых мировых разработок в области термоэлектрических материалов.

1.3 Перспективы применения моносulfида самария при построении термоэлектродгенераторов

Разрабатываемые термоэлектрические преобразователи (ТЭП) предназначены для интеграции в ТЭГ малой энергетики. Их отличительные черты: автономность, надежность, простота конструкции и эксплуатации, долговечность, компактность, высокие энергетические показатели и технологичность. Потенциальные области:

- ТЭГ на органическом топливе (энергоснабжение КС, ретрансляторов, портативной электроники, систем зарядки, бортовых сетей автотракторной техники, утилизация тепла ВГ реактивных двигателей).
- Солнечные ТЭГ (рабочий диапазон SmS оптимален).
- Изотопные ТЭГ (отсутствие необходимости в температурном градиенте, высокая радиационная стойкость, КПД на порядок выше).

- Реакторные ТЭГ (решение проблем отвода тепла и радиационной деградации).
- Комбинированные установки (повышение общего КПД ядерных, ДВС, мусоросжигательных систем).

ТЭГ на органическом топливе (твердом, жидком, газообразном) для энергоснабжения станций катодной защиты газо- и нефтепроводов, радиорелейных линий, бытовой электроники, средств связи, систем освещения и зарядки аккумуляторов, включая электрооборудование автомобилей и тракторов. Сюда же относятся ТЭГ, использующие тепло выхлопных газов реактивных двигателей, отличающиеся кратковременным режимом работы (несколько минут). Возможность этих применений связана с исключительно высоким КПД преобразователей, на порядок превышающим показатели существующих аналогов.

Солнечные ТЭГ, преобразующие энергию солнечного излучения. Хотя схемы таких генераторов хорошо разработаны, их внедрение сдерживалось низким КПД доступных преобразователей. Рабочий температурный диапазон предлагаемых ТЭП идеально подходит для солнечных установок.

Изотопные ТЭГ, использующие энергию распада радиоактивных изотопов (получаемых из реакторных отходов или путем нейтронного захвата). Они применяются для питания устройств в морских условиях, труднодоступных районах и космосе. Основной недостаток обычных изотопных ТЭГ — низкие удельные тепловые потоки, требующие создания высоких термоэлементов для необходимого перепада температур. Предлагаемые преобразователи не нуждаются в градиенте температур, обладают повышенной радиационной стойкостью (снижая деградацию) и КПД, почти на порядок выше, что демонстрирует преимущества нового принципа преобразования.

Реакторные ТЭГ, использующие тепло ядерных реакторов. Технические проблемы обычных ТЭГ (отвод тепла от холодных спаев, нестабильность

полупроводников под радиацией) решаются благодаря отсутствию необходимости создания температурного градиента и высокой радиационной стойкости *SmS*.

Комбинированные энергоустановки (ядерные, ДВС автомобилей/судов, мусоросжигательные) для повышения общего КПД и полного использования тепловой энергии.

Таким образом, новые ТЭП потенциально применимы в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной, нефтегазовой отраслях и других сферах, требующих автономных источников электроэнергии.



Рисунок 1.4 – Термоэлектрические генератор под днищем *BMW*

Наиболее заинтересованными потребителями являются автопроизводители (*BMW, GM, Toyota, Nissan, Volkswagen, Volvo, Ford*), стремящиеся к утилизации тепла выхлопа (потенциал ~1200 Вт, экономия топлива 3-5%, снижение выбросов CO_2). Программа *US DoE FreedomCar* ставит цель 7.5% экономии к 2020 году, что требует более эффективных и дешевых термоэлектрических материалов. Пилотные проекты (*Lincoln MKT, BMW X6, GM Suburban, BMW 535i*) подтверждают потенциал, хотя конкуренция с альтернативами (паровая система *Honda Rankine*) остается высокой.

В настоящее время реализованы пилотные проекты с ведущими автопроизводителями (*Lincoln MKT, BMW X6, GM Suburban*). ТЭГ на *BMW X6* (на основе теллурида висмута) выдавал 600 Вт при 125 км/ч, обеспечивая экономию топлива ~1.2%. Цель *BMW* — за 10 лет достичь 10% экономии на дальних дистанциях.

Тестирование ТЭГ проводилось и на других моделях, например *BMW 535i* (схема установки показана на Рисунке 1.4).

Средняя потребность *BMW 5*-й серии в электроэнергии оценивается в 600 Вт. Зависимость мощности ТЭГ от скорости автомобиля (источник: *BMW*) представлена на рисунке 1.5.

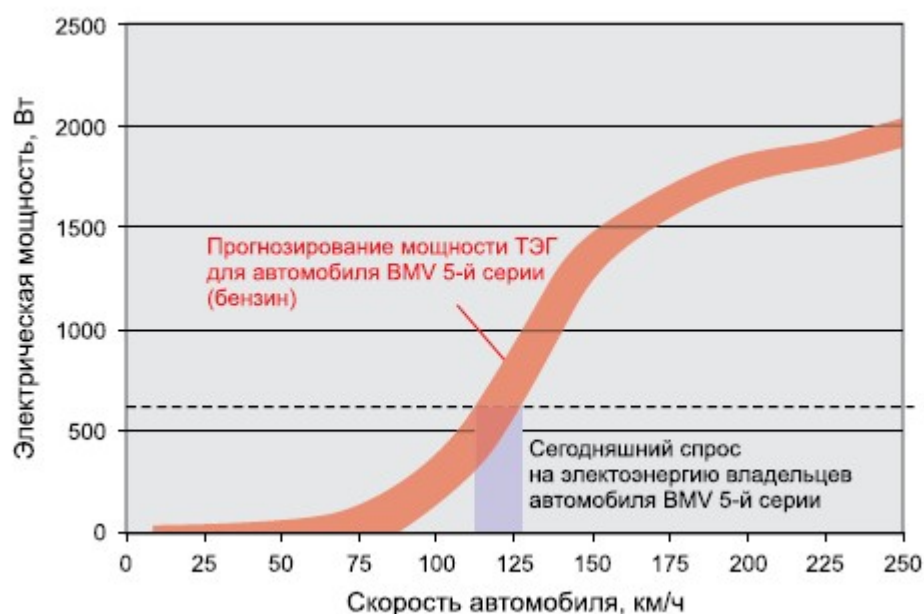


Рисунок 1.5 – Зависимость генерируемой мощности от скорости автомобиля (источник: *BMW*)

Таким образом, ТЭГ способен полностью обеспечить автомобиль электроэнергией на скоростях свыше 125 км/ч. Примечательно, что *BMW* параллельно развивает конкурирующую технологию — *BMW TurboSteamer* (паровой двигатель для утилизации тепла). Пилотный образец выдавал 10 кВт, обеспечивая 15% экономии топлива. Похоже, компания считает паровую технологию более перспективной, уделяя проекту *TurboSteamer* значительно больше внимания, чем ТЭГ.

2 Проектирование термоэлектрогенератора на основе моносulfида самария

2.1 Анализ физической модели выработки ЭДС в рабочем элементе моносulfида самария

Принцип действия основан на генерации ЭДС в SmS при равномерном нагреве [1, 2]. Наличие градиента концентрации (N_i) легирующей примеси, создающей донорные уровни, приводит при нагреве к возникновению ЭДС вдоль этого градиента. При этом напряженность электрического поля

$$E = K \cdot \text{grad } N_i, \quad (2.1)$$

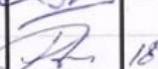
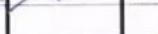
где N_i – концентрация легирующей примеси,

K – коэффициент пропорциональности, являющийся сложной функцией параметров данного полупроводника и зависящий от температуры [3].

Как видно из формулы, напряженность электрического поля определяется сложной функцией параметров полупроводника и температуры ($K(T)$). В SmS наблюдается скачок $K(T)$ на 1-2 порядка при $T=400-500$ K, связанный с фазовым переходом моттовского типа в системе дефектов. Последующая диффузия электронов в область с меньшей N_i создает напряжение (U) между электродами (рис. 2.1).

Гораздо менее ясна физика установления режима непрерывной генерации ЭДС на основе этих элементарных актов [2]. Здесь дело связано с тепловыми процессами, сопровождающими данный фазовый переход.

При коллективном опустошении уровней N_i энергия поглощается электронной системой (происходит охлаждение), т.к. электроны переходят с уровней

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Проектирование термоэлект- трогенератора на основе мо- носulfида самария	Литера	Лист	Листов	
Разраб		Муканбетов				у	15	62	
Пров		Доросинский				Каф. "НиМЭ", группа 21ПД1			
Н. Контр.		Рыжова		18.06.25					
Утв									

$E_i=0,045\text{ eV}$ в зону проводимости, повышая свою энергию. Однако, когда произошёл переход $Sm^{2+}S \rightarrow Sm^{3+}S$, энергия выделяется (имеет место саморазогрев), т.к. происходит сжатие вещества из-за существенного уменьшения размеров иона самария: ионный радиус Sm^{2+} равен 1,14 Å, а радиус Sm^{3+} - 0,96 Å. По-видимому, в SmS устанавливается некий волновой процесс, связанный с разогревом и охлаждением соседних областей вещества. Этот процесс поддерживается внешним нагревом. На данный момент этот волновой процесс экспериментально зарегистрирован нами и изучается путём Фурье-анализа выходного сигнала преобразователя.

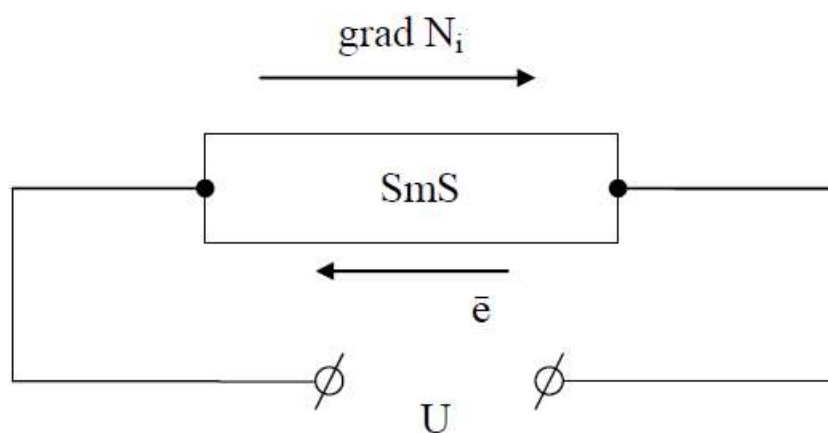
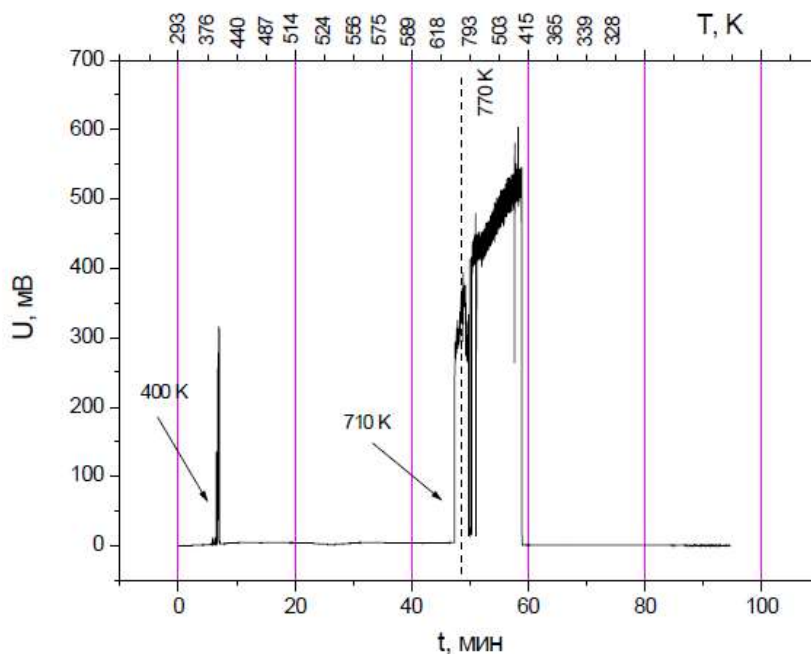


Рисунок 2.1 – Процесс возникновения ЭДС в рабочем элементе преобразователя из SmS

Физика установления режима непрерывной генерации связана с тепловыми процессами при фазовом переходе. Коллективное опустошение уровней сопровождается поглощением энергии (охлаждением), а переход $Sm^{2+}S \rightarrow Sm^{3+}S$ — выделением энергии (саморазогревом) из-за уменьшения ионного радиуса Sm (1.14 Å $\rightarrow$ 0.96 Å). Устанавливается волновой процесс разогрева/охлаждения соседних областей, поддерживаемый внешним нагревом. Температурный профиль по толщине элемента не критичен, так как эффект обусловлен градиентом концентрации, а не температуры. Экспериментальные данные (Рисунки 2.2 и 2.3) демонстрируют:

- Скачкообразное начало генерации при достижении критических параметров;
- Импульсный характер напряжения, соответствующий коллективным переходам в областях с разной степенью легирования;
- Продолжение генерации после отключения внешнего нагрева за счет саморазогрева.

Каждому импульсу напряжения соответствует локальный разогрев элемента из-за фазового перехода. Этот разогрев инициирует генерацию в соседних областях. Процесс продолжается до падения температуры ниже критического



уровня.

Рисунок 2.2 - Зависимость возникшего в макете термоэлемента на основе SmS электрического напряжения от времени и температуры среды.

Пунктирная линия - момент прекращения внешнего нагрева при максимальной температуре среды 770К. Также отмечены начальные температуры областей возникновения напряжения. Из рисунка 2.2 следует:

- 1) генерация развивается не постепенно, а скачком при достижении критического значения параметров (температуры, концентрации свободных электронов);

2) генерируемое напряжение состоит из большого числа отдельных импульсов, соответствующих коллективному изменению валентности ионов самария в различных областях преобразующего элемента, имеющих различную концентрацию свободных электронов из-за различной степени легирования SmS ;

3) генерация напряжения продолжает развиваться после выключения источника внешнего нагрева, что является следствием саморазогрева SmS , возникающего в процессе генерации и не дающего в течение некоторого времени опуститься температуре ниже критического значения.

На рисунке 2.3 представлена зависимость генерируемого напряжения от температуры ТЭП, снятая в том же эксперименте, что и кривая рисунке 2.2.

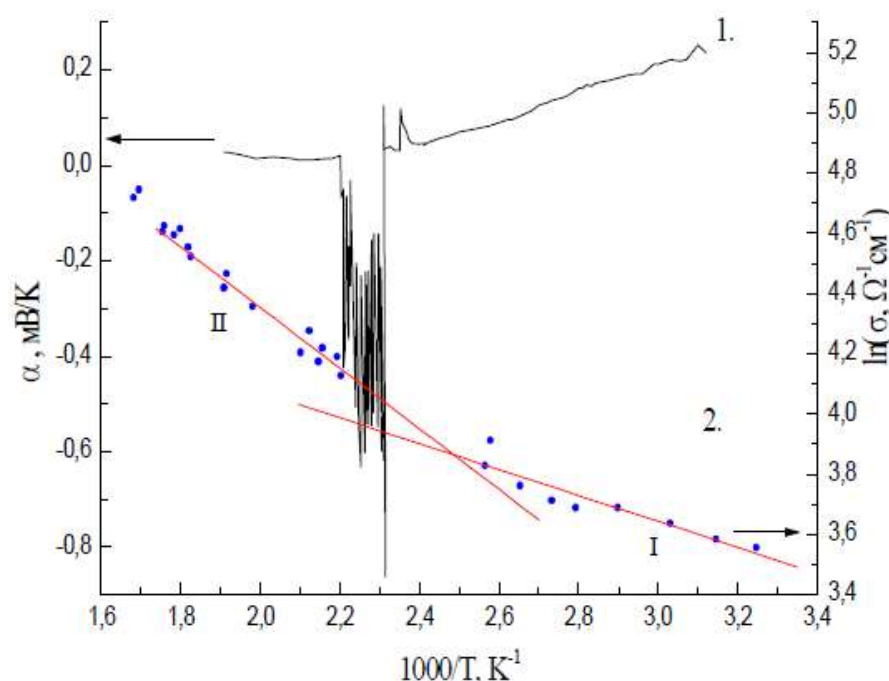


Рисунок 2.3 – Температурная зависимость
дифференциальной термо-ЭДС SmS

Из рисунка 2.3 следует, что каждому импульсу напряжения соответствует импульсный разогрев ТЭП. Этот разогрев является следствием фазового перехода SmS в генерирующей области из полупроводникового состояния в металлическое ($Sm^{2+}S \rightarrow Sm^{3+}S$), идущего с выделением энергии. Эти импульсы разогревают до критической температуры область SmS , соседнюю с генерирующей и в ней тоже

начинается генерация (новый импульс напряжения и импульс T). Далее этот процесс развивается по цепочке. При общем охлаждении ТЭП при выключении внешнего нагрева процесс генерации напряжения будет продолжаться до тех пор, пока в результате импульсного нагрева будет достигаться критическая температура, необходимая для начала генерации (пунктирная линия на рисунок 2.3).

Режим работы ТЭП: нагрев элемента до $\sim 450^\circ\text{C}$ и поддержание температуры выше 130°C обеспечивает генерацию напряжения порядка 0.5 В. Повышение КПД в 4 раза по сравнению с аналогами достигается новым физическим принципом. SmS — наиболее радиационно-стойкий полупроводник, нетоксичен, не разлагается в рабочем диапазоне. Отсутствие движущихся частей и необходимости в больших температурных градиентах упрощает технологию и удешевляет производство.

2.2 Патентный поиск в области разработки термоэлектрогенераторов на основе моносulfида самария

Анализ патентов ($RU\ 2303834$, $RU\ 2548062$) выявил технические решения для генерации ЭДС в SmS без внешнего градиента температуры.

$RU\ 2303834$: Предлагает создание градиента концентрации избыточных ионов Sm (x в $Sm_{1+x}S$, $0 \leq x \leq 0.17$) по толщине поликристаллического слоя, нанесенного на подложку (металлическую или диэлектрическую с металлизированным контактом). Изменение x может быть ступенчатым (послойное нанесение) или непрерывным. В бинарной схеме два элемента соединяются контактами с одинаковой концентрацией Sm (min или max), повышая выходное напряжение. Способ изготовления включает дискретное испарение в вакууме при монотонном повышении температуры подложки от 250°C до 600°C . Примеры подтверждают генерацию напряжения до 4.5 В (5.1 В в примере 2 патента).

$RU\ 2548062$: Предусматривает легирование SmS атомами лантаноидов (Ln : Gd , Ce , Eu , Yb и др.) с созданием градиента концентрации избыточного Sm (x)

и/или $Ln(y)$ в одном или нескольких слоях материала $Sm_{1+x}Ln_yS$. Легирование Gd или Ce (валентность 3) снижает внутреннее сопротивление генератора, повышая максимальную мощность ($y_{max}=0.15$). Легирование Eu или Yb (валентность 2) увеличивает термо-ЭДС ($y_{max}=0.2$). Способы изготовления включают диффузионное легирование монокристаллов, спекание слоев разного состава или послойное напыление в вакууме. Регулирование совокупной толщины активного материала (0.1 мкм - 5 мм) позволяет оптимизировать выходное напряжение и ток. Примеры демонстрируют генерацию до 5.1 В и мощность 510 мкВт. Рассмотрим патент (RU 2303834): Термоэлектрический генератор (варианты) и способ изготовления термоэлектрического генератора.

Авторами установлено, что при нагревании образцов сульфида самария (SmS) в условиях отсутствия внешних градиентов температуры имеет место эффект генерации ЭДС, который связан с изменением валентности ионов самария в результате фазового перехода в системе примесных (междоузельных) ионов Sm^{2+} . ЭДС создается вследствие возникновения градиентов температуры в образце из-за поглощения и выделения энергии фазового перехода, а также возникновения градиентов концентрации электронов проводимости из-за изменения валентности ионов самария ($Sm^{2+} \leftrightarrow Sm^{3+} + e^-$) вследствие наличия градиентов распределения дефектных ионов самария по объему образца. Исходя из этих результатов авторы пришли к выводу, что создавая градиент концентрации ионов самария в пленочных структурах на основе сульфида самария в направлении, перпендикулярном поверхности слоя (пленки), можно получить ЭДС, действующую в этом направлении.

При нанесении поликристаллического слоя ($Sm_{1+x}S$) на подложку (которую может представлять металлический токовый контакт) с монотонным изменением содержания самария (x) в направлении, перпендикулярном поверхности, создается градиент избыточных ионов самария относительно стехиометрии. Концентрация должна изменяться строго монотонно (только возрастать или только

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		20

убывать) по толщине слоя для генерации ЭДС на противоположных поверхностях при нагреве. Эмпирически установленный диапазон x : 0–0.17.

При этом изменение концентрации может быть: ступенчатым (послойное нанесение составов с разным x) или непрерывным.

Варианты конструкции подложки:

- Металлическая пластина (одновременно служит контактом);
- Диэлектрическая основа с напыленной металлической пленкой (обеспечивает лучшую плоскостность поверхности для последующего нанесения SmS).

Генератор содержит минимум два идентичных элемента. Каждый элемент включает:

- Поликристаллический слой $Sm_{1+x}S$ ($0 < x \leq 0.17$) с монотонным градиентом x по толщине
- Металлические токовые контакты по обеим сторонам слоя

Два контакта, подключенные к поверхностям слоев с одинаковой концентрацией самария (минимальной или максимальной), электрически соединяются. Выходное напряжение снимается с оставшейся пары свободных контактов.

Преимущества бинарной схемы заключаются в том, что такая конфигурация:

- Генерирует более высокую ЭДС, чем прототип;
- Не требует создания температурного градиента;
- Позволяет работу при комнатных температурах;
- Расширяет области применения (например, медицина).

Соединенные контакты могут размещаться на общей или отдельных диэлектрических подложках.

Способ изготовления:

- Исходный материал: порошок SmS
- Подложка: с металлизированной поверхностью (первый контакт)

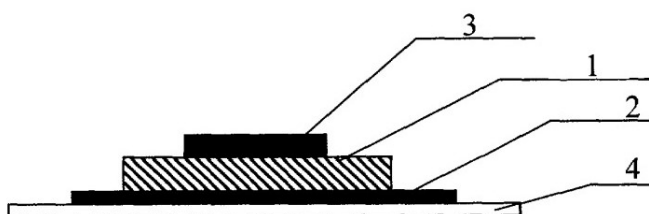
- Нанесение слоя: дискретное испарение в вакууме
- Температурный режим: монотонное повышение температуры подложки от 250°C до 600°C в процессе осаждения

- Установка второго токового контакта на свободную поверхность слоя.

Обоснование температурного режима:

- 1) $<250^{\circ}\text{C}$: недостаточная адгезия пленки, низкое качество покрытия
- 2) 600°C : прекращение образования новых примесных атомов (насыщение процесса)
- 3) Диапазон $250\text{--}600^{\circ}\text{C}$ обеспечивает формирование слоя с непрерывным градиентом x в пределах $0\text{--}0.17$

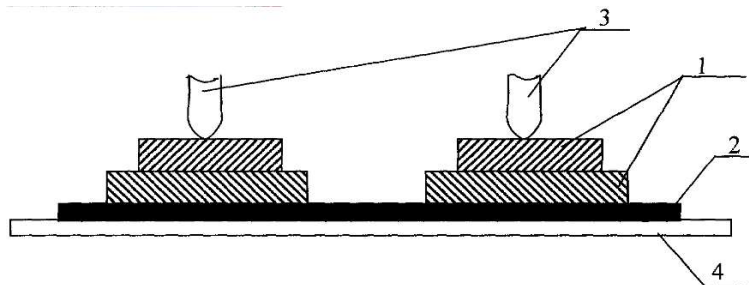
Термоэлектрический генератор схематически представлен на рисунке 2.4.



1 – слой сульфида самария; 2 – первый токовый контакт;
3 – второй токовый контакт; 4 – подложка.

Рисунок 2.4 – Термоэлектрический генератор

Термоэлектрический преобразователь схематически представлен на рисунке 2.5.



1 – слой сульфида самария; 2 – первые (электрически соединенные) токовые контакты; 3 – вторые токовые контакты; 4 – подложка.

Рисунок 2.5 – Термоэлектрический преобразователь

Предлагаемые устройства работают следующим образом. Подсоединяют токовые контакты термоэлектрогенератора с помощью проводов к измерительному прибору и к нагрузке, нагревают созданную полупроводниковую структуру или помещают ее в нагретую среду, при этом происходит возникновение ЭДС, фиксируемое измерительным прибором.

Рассмотрим патент *RU 2548062*: Термоэлектрический генератор на основе сульфида самария, легированного атомами семейства лантаноидов, и способ его изготовления (варианты)

Изобретение относится к области преобразования тепловой энергии в электрическую, а более конкретно к области преобразования тепловой энергии в электрическую с помощью полупроводниковых термоэлектрических генераторов. Изобретение может быть использовано, например, в медицине, в атомной промышленности.

Задачей настоящего изобретения являлась разработка такой конструкции и такого способа изготовления термоэлектрического генератора, способного работать без градиента температуры, которые позволяют обеспечить увеличение до 5 В напряжения (термо-ЭДС) термоэлектрического генератора и увеличение максимальной электрической мощности до нескольких сотен мкВт.

В части конструкции задача решается тем, что термоэлектрический генератор включает два металлических токовых контакта и расположенный между упомянутыми токовыми контактами по крайней мере один монокристаллический или поликристаллический слой полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$ на основе сульфида самария SmS , легированного атомами Ln , где Ln обозначает атомы, относящиеся к семейству лантаноидов (элементы III группы 6-го периода периодической таблицы), за исключением самария Sm , причем величина хотя бы одной из концентраций "x" и "y" в области, примыкающей к первому токовому контакту, отличается от величины соответствующей концентрации в области, примыкающей ко второму токовому контакту.

Авторами настоящего изобретения было установлено, что термовольтаический эффект может возникать и в том случае, если в сульфиде самария SmS , либо в $Sm_{1+x}S$ (сульфиде самария, содержащем избыточные атомы самария) создана неоднородная концентрация примесных атомов Ln , относящихся к семейству лантаноидов (элементы III группы 6-го периода периодической таблицы). Например, авторами настоящего изобретения наблюдался термовольтаический эффект в таких полупроводниковых материалах на основе сульфида самария SmS как $SmEu_yS$, $Sm_{1.1}Eu_yS$, $Sm_{1.05}Yb_yS$, $Sm_{1.1}Gd_yS$, $Sm_{1.15}Ce_yS$ и других родственных материалах. По своим химическим свойствам, существенным для настоящего изобретения, атомы, относящихся к семейству лантаноидов, могут быть разделены на две группы в зависимости от валентности, которую они проявляют при соединении с серой и образовании моносульфидов: атомы, имеющие валентность 2 (к ним относятся атомы европия Eu и иттербия Yb) и атомы, имеющие валентность 3 (к ним относятся атомы остальных лантаноидов, например, атомы гадолиния Gd и церия Ce). Атомы самария могут проявлять валентность как 2, так и 3 в зависимости от внешних условий.

Существенным для решения задач настоящего изобретения является обнаруженный авторами настоящего изобретения факт, что введение в $Sm_{1+x}S$ примесных атомов Ln , относящихся к семейству лантаноидов, позволяет управлять характеристиками материала, такими как ширина запрещенной зоны, проводимость, глубина залегания примесного уровня и др., оказывающими влияние на характеристики термоэлектрического генератора, такие как величина термо-ЭДС и его внутреннее сопротивление. Таким образом, целенаправленное введение примесных атомов и формирование полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$ позволяет по сравнению с $Sm_{1+x}S$ увеличить электрическое напряжение, вырабатываемое генератором, и увеличить максимальное значение электрической мощности.

Задача также решается термоэлектрическим генератором, отличающимся

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		24

тем, что в качестве легирующей примеси выбраны гадолиний Gd или церий Ce - атомы, проявляющие валентность 3 в соединении с серой. Таким образом, термоэлектрический генератор по п.2 использует полупроводниковый материал $Sm_{1+x}Gd_yS$ или $Sm_{1+x}Ce_yS$. Авторами настоящего изобретения было обнаружено, что величина внутреннего сопротивления термоэлектрического генератора на основе $Sm_{1+x}S$, где концентрация "x" не превосходит 0.2, снижается при введении в $Sm_{1+x}S$ указанных атомов. В свою очередь уменьшение внутреннего сопротивления позволяет повысить максимальное значение электрической мощности, которая может вырабатываться термоэлектрическим генератором. Обнаруженное явление обусловлено, по всей видимости, тем, что дополнительный электрон, который образуется в зоне проводимости сульфида самария при введении в него дополнительного трехвалентного атома Ln , повышает проводимость полупроводникового соединения по сравнению с исходным материалом $Sm_{1+x}S$.

Указанное улучшение эксплуатационных характеристик термоэлектрического генератора будет, вероятно, наблюдаться и при использовании других разновидностей лантаноидов, проявляющих валентность 3 в моносulfиды.

Кроме того, задача решается термоэлектрическим генератором, отличающимся тем, что в качестве легирующей примеси выбраны европия Eu или иттербий Yb - атомы, проявляющие валентность 2 в соединении с серой. Таким образом, термоэлектрический генератор по п.3 использует полупроводниковый материал $Sm_{1+x}Eu_yS$ или $Sm_{1+x}Yb_yS$. Авторами настоящего изобретения было обнаружено, что величина термо-ЭДС термоэлектрического генератора на основе $Sm_{1+x}S$, где концентрация "x" не превосходит 0.2, возрастает при введении в $Sm_{1+x}S$ указанных атомов. Обнаруженное явление, вероятно, обусловлено увеличением энергетического зазора между $4f$ -уровнями и дном зоны проводимости, который играет роль ширины запрещенной зоны образующегося полупроводникового материала. Так, в сульфиде самария SmS $4f$ -уровни ионов самария отстоят на 0.23 эВ от дна зоны проводимости, тогда как в сульфиде европия EuS $4f$ -уровни ионов европия

отстоят примерно на 1.7 эВ от дна зоны проводимости.

Дополнительным преимуществом термоэлектрического генератора является то обстоятельство, что атомы самария и атомы европия обладают близкими атомными радиусами. Это позволяет избежать возникновения механических напряжений в полупроводниковой структуре на основе сульфида самария, в которую введены атомы европия, что, в конечном счете, сказывается на ее механической прочности и стабильности в процессе эксплуатации.

Наибольшее значение концентрации "у" легирующих атомов в термоэлектрическом генераторе по п.3 составляет 0.2 и определяется пределом их растворимости в $Sm_{1+x}S$, где концентрация "х" не превосходит 0.2. Таким образом, термоэлектрический генератор по п.3 характеризуется отсутствием нерастворенной металлической фазы примесных атомов, что положительно сказывается на его механической прочности и стабильности в процессе эксплуатации, а также его термоэлектрических характеристиках.

Термоэлектрический генератор может включать один слой полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$, в пределах которого величина хотя бы одной из концентраций "х" и "у" монотонно возрастает в направлении от первого токового контакта ко второму токовому контакту.

Термоэлектрический генератор также может включать по крайней мере два последовательно расположенных слоя полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$, причем величина хотя бы одной из концентраций "х" и "у" монотонно возрастает от слоя к слою в направлении от первого токового контакта ко второму токовому контакту, тогда как в пределах каждого из упомянутых слоев как концентрация "х", так и концентрация "у" приблизительно постоянны.

В части способа изготовления задача решается тем, что из монокристаллического слитка сульфида самария SmS по плоскости спайности (100) выкалывают плоскопараллельные пластины. Размеры пластин лежат в диапазоне 8...12 мм в длину, 3...5 мм в ширину, 1...5 мм в высоту. Исходные монокристаллы сульфида

самария могут быть выращены одним из известных способов, которые описаны, например, в / Голубков А.В., Гончарова Е.И., Жузе В.П. и др., Физические свойства халькогенидов редкоземельных металлов. Л.: Наука, 1973. 304 с./ Соли, содержащие атомы самария Sm и атомы Ln , относящиеся к семейству лантаноидов, растворяют в растворителе, например в спирту, и наносят раствор на верхнюю поверхность пластины.

Затем пластину с нанесенным слоем избыточных атомов самария Sm и атомов Ln , относящихся к семейству лантаноидов, помещают в танталовый контейнер и запаивают в кварцевую ампулу. Диффузию легирующих атомов в глубь монокристаллического слоя сульфида самария проводят в вакууме с помощью высокотемпературного отжига. Температуру и время высокотемпературного отжига выбирают таким образом, чтобы либо концентрация легирующих атомов Ln , относящихся к семейству лантаноидов, либо концентрация избыточных атомов самария Sm , либо как концентрация легирующих атомов Ln , относящихся к семейству лантаноидов, так и концентрация избыточных атомов самария Sm вблизи верхней поверхности пластины оказалась выше концентрации соответствующих атомов вблизи нижней поверхности пластины.

Температуру в процессе отжига измеряют термопарой, например, с помощью термопары платинородий-платина. После диффузионного отжига ампулу охлаждают на воздухе. Затем образец извлекают из ампулы. Затем на верхнюю и на нижнюю поверхности пластины наносят металлические токовые контакты одним из известных способов, например никелевые контакты, формируемые методом резистивного испарения.

Задача решается тем, что проводят синтез по крайней мере двух слоев материалов с составом $Sm_{1+x}Ln_yS$, где Ln обозначает атомы, относящиеся к семейству лантаноидов (за исключением самария Sm). Синтез каждого из слоев проводят путем смешивания порошков SmS , Sm и Ln , взятых в пропорции, необходимой для достижения заданных концентраций "x" и "y" атомов в данном слое,

брикетирования смеси и отжига смеси, например в кварцевой ампуле. Размеры слоев лежат в диапазоне 8...12 мм в длину, 3...5 мм в ширину, 0.05р...1 мм в высоту. Описанным выше способом формируют по крайней мере два слоя $Sm_{1+x}Ln_yS$, отличающиеся друг от друга либо величиной концентрации "у" легирующих атомов Ln , либо величиной концентрации "х" избыточных атомов самария Sm , либо как величиной концентрации "у" легирующих атомов Ln , так и величиной концентрации "х" избыточных атомов самария Sm .

По крайней мере два синтезированных указанным способом слоя $Sm_{1+x}Ln_yS$ складывают в стопу таким образом, что либо величина концентрации "у" легирующих атомов Ln , либо величина концентрации "х" избыточных атомов самария Sm , либо как величина концентрации "у" легирующих атомов Ln , так и величина концентрации "х" избыточных атомов самария Sm монотонно изменяется от слоя к слою. Толщина стопы составляет 0.1...5 мм. Затем проводят спекание стопы в вакууме или атмосфере инертного газа. После остывания к двум противоположным поверхностям стопы, расположенным в направлении изменения величины концентрации "у" легирующих атомов Ln , либо в направлении изменения величины концентрации "х" избыточных атомов Sm , либо в направлении изменения как величины концентрации "у" легирующих атомов Ln , так и величины концентрации "х" избыточных атомов Sm наносят металлические токовые контакты одним из известных способов, например, никелевые контакты, формируемые методом резистивного испарения.

На подложку с металлической поверхностью методом взрывного испарения в вакууме можно нанести последовательность из по крайней мере двух располагающихся друг за другом поликристаллических слоев полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$, где Ln обозначает атомы, относящиеся к семейству лантаноидов (за исключением самария Sm). При этом режимы испарения меняют от слоя к слою таким образом, что либо величина концентрации "у" легирующих атомов Ln , либо величина концентрации "х" избыточных атомов Sm , либо как величина

концентрации "у" легирующих атомов Ln , так и величина концентрации "х" избыточных атомов Sm монотонно изменяется от слоя к слою. В качестве исходного материала для нанесения упомянутых слоев используют порошок сульфида самария SmS , а также Sm и Ln , смешанные в необходимой пропорции. Таким образом, для последовательного осаждения N слоев $Sm_{1+x}Ln_yS$ используют N смесей различной пропорции SmS , Sm и Ln . В качестве подложки может быть использована, например, металлическая пластина, например из никеля. В качестве подложки также может быть использована диэлектрическая пластина, например из поликора, на одну из поверхностей которой известным способом, например, методом резистивного испарения, предварительно нанесен слой металла, например, никеля. Металлическая поверхность подложки служит одновременно в качестве одного из токовых контактов. Второй металлический токовый контакт наносят известным способом, например, методом резистивного испарения на поверхность последнего из осажденных слоев $Sm_{1+x}Ln_yS$.

Описанными способами может быть изготовлен термоэлектрический генератор, обладающий совокупной толщиной полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$ в диапазоне 0.1...10 мкм. или обладающий совокупной толщиной полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$ в диапазоне 0.1...5 мм.

Авторами настоящего изобретения было обнаружено, что увеличение совокупной толщины полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$ увеличивает значение максимального тока, которые может обеспечить термоэлектрический генератор. В то же время, увеличение совокупной толщины полупроводникового материала $Sm_{1+x}Ln_yS$ приводит к снижению величины термо-ЭДС. Таким образом, предложенные авторами настоящего изобретения способы изготовления по пп.6-8, позволяющие варьировать совокупную толщину полупроводникового слоя в диапазоне от 0.1 мкм до 5 мм, дают возможность наиболее оптимально подобрать значения термо-ЭДС и максимального тока, позволяя тем самым увеличить максимальную электрическую мощность, которую может обеспечить

термоэлектрический генератор.

Для изготовления термоэлектрического генератора описанными выше способами в качестве легирующей примеси могут быть использованы атомы гадолиния Gd , атомы Церия Ce , а также другие атомы, относящиеся к семейству лантаноидов, проявляющие валентность 3 в соединении с серой. Для изготовления термоэлектрического генератора описанными выше способами в качестве легирующей примеси также могут быть использованы атомы европия Eu или атомы иттербия Yb . Преимущества использования каждого из типов легирующих атомов описаны в настоящей заявке выше при рассмотрении вариантов конструкции термоэлектрического генератора.

Заявляемое изобретение иллюстрируется рисунками 2.6 – 2.8.

На рисунке 2.6 схематически показан вариант конструкции заявляемого термоэлектрического генератора.

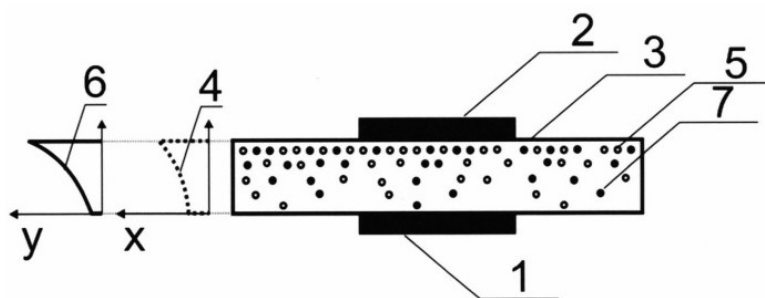


Рисунок 2.6 – Первый вариант конструкции заявляемого термоэлектрического генератора

На рисунке 2.7 схематически показан другой вариант конструкции заявляемого термоэлектрического генератора;

Изображенный на рисунке 2.6 заявляемый термоэлектрический генератор по п.4, который может быть изготовлен заявляемым способом по п.6, включает первый металлический токовый контакт 1, второй металлический токовый контакт 2, между которыми расположен один слой 3 $Sm_{1+x}Ln_yS$ с монотонно возрастающей концентрацией "x" 4 избыточных атомов Sm 5 и концентрацией "y" 6

легирующих атомов Ln 7.

Изображенный на рисунке 2.7 термоэлектрический генератор по п.5, который может быть изготовлен заявляемым способом по п.7, включает первый металлический токовый контакт 1, второй металлический токовый контакт 2, между которыми расположены $N \geq 2$ слоев 3.1, 3.2...3.N $Sm_{1+x}Ln_yS$, образующие стопу 8, в каждом из которых концентрация "x" 4 избыточных атомов самария 5 и концентрация "y" 6 легирующих атомов Ln 7 приблизительно постоянны и монотонно возрастают от слоя к слою в направлении от первого токового контакта 1 ко второму токовому контакту 2.

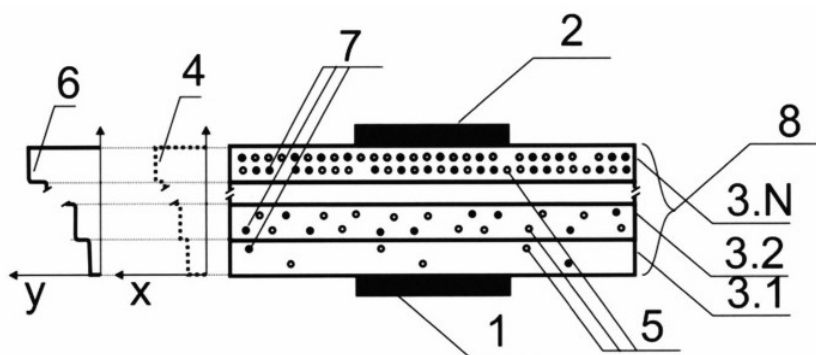


Рисунок 2.7 – Второй вариант конструкции заявляемого термоэлектрического генератора

На рисунке 2.8 схематически показан еще один вариант конструкции заявляемого термоэлектрического генератора.

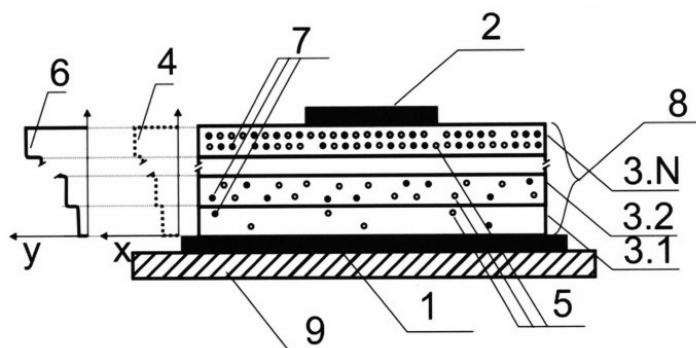


Рисунок 2.8 – Третий вариант конструкции заявляемого термоэлектрического генератора

Изображенный на рисунке 2.8 термоэлектрический генератор по п.5, который может быть изготовлен заявляемым способом по п.8, включает первый металлический токовый контакт 1, выполненный в виде металлического слоя, нанесенного на диэлектрическую подложку 9, второй металлический токовый контакт 2, между которыми расположены $N \geq 2$ слоев $3.1, 3.2 \dots 3.N Sm_{1+x}Ln_yS$, образующие последовательность 8, в каждом из которых концентрация "х" 4 избыточных атомов самария 5 и концентрация "у" 6 легирующих атомов Ln 7 приблизительно постоянны и монотонно возрастают от слоя к слою в направлении от первого токового контакта 1 ко второму токовому контакту 2.

На изготовленных таким образом структурах на противоположных их гранях были напылены в вакууме контактные площадки из никеля, к которым подсоединялись выводные провода, с которых снимался выходной сигнал. В ходе экспериментов структуры подвергались нагреву с помощью электропечи резистивного типа. Выходной сигнал и температура, измеряемая термопарой хромель-алюмель, подавались на АЦП персонального компьютера.

На Рисунке 2.9 представлены максимальные значения выходного напряжения, полученные из зависимостей при $T=235^\circ\text{C}$ в зависимости от величины «у» образца.

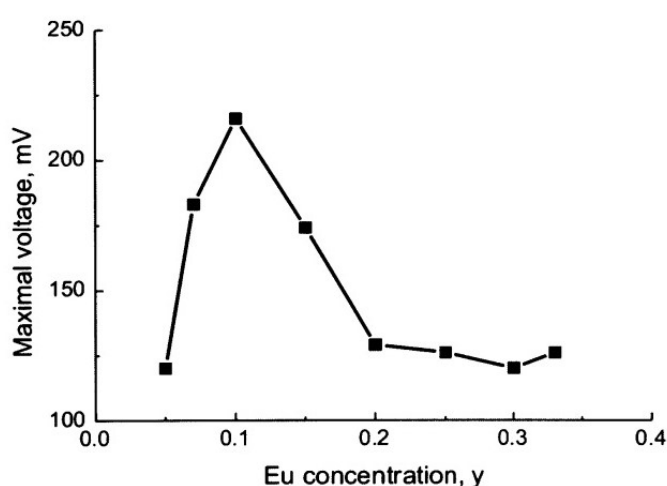


Рисунок 2.9 – Зависимость максимального вырабатываемого напряжения при $T=235^\circ\text{C}$ в зависимости от величины «у» в структуре $SmS/Sm_{1.03}Eu_yS$

Как следует из данных рисунка 2.9, количество европия влияет на величину выходного сигнала при генерации электрического напряжения, при этом напряжение достигает максимальной величины при «у» меньше 0,2. Помимо напряжения, на изготовленных образцах $SmS/Sm_{1+x}Eu_yS$ измерялась также мощность электрического сигнала. Это измерение выполнялись следующим образом. Параллельно образцу в цепь ставилось сопротивление нагрузки RL , с которого снималось падение напряжения U . Затем по формуле $P=U^2/RL$ вычислялась электрическая мощность P , которую способен обеспечить тестируемый термоэлектрический генератор. Максимальное значение она имела на образце $SmS/Sm_{1.03}Eu_{0.1}S$ и составила 510 мкВт.

Таким образом, показаны преимущества заявляемой группы технических решений, заключающиеся в возможности увеличения до 5 В напряжения (термо-ЭДС) и увеличения максимальной электрической мощности до нескольких сотен мкВт за счет уменьшения его внутреннего сопротивления в термоэлектрическом генераторе, способном работать без градиента температуры.

Возможность изготовления элементов подтверждается следующими примерами.

2.3 Разработка конструкции и расчет основных технических параметров термоэлектрогенератора на основе моносulfида самария

ТЭП функционирует за счет генерации ЭДС в SmS при равномерном нагреве. Конструктивно возможны два варианта (Рисунок 2.10): радиальный (функциональность) и плоский (технологичность). Основные компоненты:

- 1) Теплоаккумулятор (массивный корпус): передает тепло, стабилизирует режим, защищает.
- 2) Преобразующий элемент (монокристалл/поликристалл/пленка SmS с градиентом легирования).
- 3) Электроды.

Принцип работы термоэлектрического преобразователя (ТЭП), как упоминалось ранее, базируется на генерации электродвижущей силы при нагреве полупроводникового материала SmS в отсутствие внешних температурных градиентов. Конструктивно ТЭП могут быть выполнены в двух вариантах (рис. 2.10): радиальном (рис. 2.10, а) и плоском (рис. 2.10, б). Радиальная конфигурация отличается большей функциональностью, тогда как плоская обладает лучшей технологичностью.

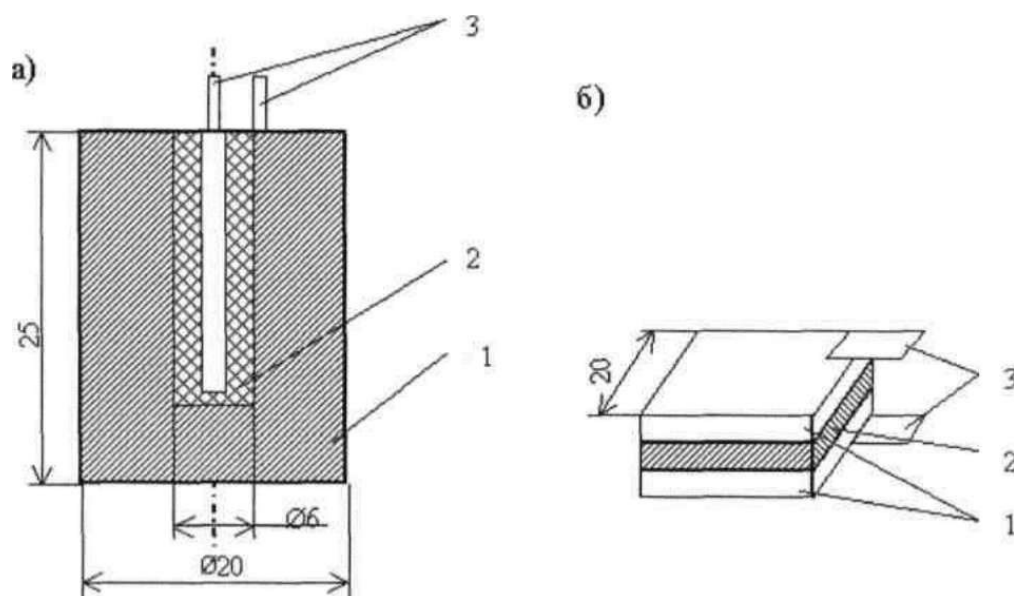


Рисунок 2.10 – Конструкции термоэлементов

Ожидаемые параметры разработки представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Ожидаемые параметры разработки

Ожидаемые параметры ТЭП	
Рабочие температуры	+ 130 * 500 °С
Средний КПД в рабочем интервале температур	~ 40%
Генерируемое напряжение	постоянное, 0,5 * 1,5 В
Внутреннее электросопротивление	0,1-1 Ом
Вес	-10 г
Радиационная стойкость к у- излучению	до экспозиционных доз ~ 1010 Рентген

Другие эксплуатационные параметры ТЭП будут определены в процессе его "разработки.

Дополнительные эксплуатационные характеристики ТЭП будут определены в ходе разработки.

Экспериментально достигнутые параметры (Таблица 2.2) показывают значительное преимущество нового принципа перед классическими термоэлементами Зеебека в диапазоне 400-600 K по КПД, простоте конструкции, радиационной стойкости и стоимости, уступая по мощности на элемент. Сборочные чертежи разработанного термоэлектропреобразователя и ТЭГ на его основе представлены в Приложении Б.

Таблица 2.2 – Достигнутые результаты термоэлектрического преобразователя на основе SmS

Характеристика	SmS	Термоэлементы, работающие по классическому принципу
Удельная генерируемая мощность, Вт/гр	до 1,8 [5]	<0,2
Напряжение, генерируемое единичным термоэлементом, В	до 5 [5]	<0,1
Внутреннее сопротивление, Ом	~ 1	0,2+2
Радиационная стойкость электрических параметров (экспозиционная доза до изменения параметра на 1%, Рентген)	1010	109
Максимальная мощность, полученная с единичного термоэлемента, Вт	510-3	единицы
КПД преобразования, %	30+47*	до 10

* - расчётные данные

Оценка КПД сложна из-за импульсного характера генерации и возникающих локальных градиентов. Расчеты [6] по стандартной термодинамической формуле с использованием экспериментальных данных [7] и формальным значением $z \sim 0.1 \text{ K}^{-1}$ дают максимально достижимый КПД 47% (150°C) - 30% (450°C). КПД зависит от градиента концентрации (N_i) между электродами. Максимальный градиент достигается при составе SmS у одного электрода и $Sm_{1.17}S$ у другого. Толщина элемента требует оптимизации: слишком малая толщина приводит к выравниванию концентрации при нагреве, слишком большая — снижает $grad N_i$. Реализация в [5] дала 5 В; 1.8 Вт/г.

Оценки КПД преобразования тепла в электричество на основе наблюдаемого эффекта проводились согласно [6]. Поскольку возникновение ЭДС сопровождается появлением температурных градиентов в образце, для оценки была использована стандартная термодинамическая формула максимальной эффективности термоэлектрических преобразователей:

$$\eta_{\max} = \frac{T_h - T_c}{T_c} \cdot \frac{M - 1}{M + T_c/T_h} \quad (2.2)$$

где $M = \sqrt{1 + zT_M}$; $T_M = (T_h + T_c)/2$; T_c – температура холодного спае, T_h – горячего.

Тепловые режимы, возникающие в образце в процессе генерации ЭДС могут быть взяты из эксперимента [7]. В качестве T_c следует взять среднюю температуру среды и образца в момент начала следующего импульса ЭДС. В качестве T_h следует взять температуру, которая достигается в течение данного импульса. Можно также вычислить величину термоэлектрической добротности $z = \alpha^2 \sigma / \lambda$, если для величин электропроводности (σ) и теплопроводности (λ) взять типичные значения для SmS . В качестве эффективного значения термоЭДС (α) формально можно использовать генерируемую ЭДС соотнесённую к $T_h - T_c$. Полученное значение $z \sim 0.1 \text{ K}^{-1}$. Соответственно максимально достижимый КПД рассчитанный в температурном интервале $420 \div 550 \text{ K}$ составляет $47 \div 30\%$.

Вопрос этот сложен по той причине, что пока нет устоявшейся конструкции термоэлемента. Исходя из наших экспериментальных данных, от массы рабочего элемента зависит не КПД, а величина генерируемой мощности (как и в классическом термоэлектричестве). От геометрии рабочего элемента КПД должен зависеть. Если в классическом термоэлементе КПД зависит от разницы температур горячего и холодного спаев, то в нашем случае КПД зависит от разницы концентраций N , у электродов. В SmS величина N , не должна быть больше $\sim 10^{21} \text{ см}^{-3}$ [3], что примерно соответствует составу $Sm_{1,17}S$. При большем количестве избыточный Sm начинает выделяться в виде металлических включений и перестаёт участвовать в процессе генерации. Таким образом (см. рис. 1), для создания

максимального $grad N$, необходимо, чтобы у одного электрода состав был SmS , а у другого $Sm_{1,17}S$ и эти электроды должны находиться максимально близко друг к другу. Однако, если их слишком сблизить, то при нагревании вследствие диффузии составы быстро выровняются (будет состав $Sm_{1,085}S$), градиент исчезнет и генерация прекратится. Из этих и некоторых других соображений следует, что рабочий элемент должен быть максимально тонким в направлении расположения электродов, но иметь некоторую оптимальную величину толщины. Такая ситуация была реализована нами в [5] (5 В; 1,8 Вт/гр).

Стоимость SmS при серийном производстве оценивается в $\sim \$500/\text{кг}$. Производство SmS возможно (ранее выпускался в СССР), но технология создания элементов с градиентом требует разработки. Ключевые задачи:

Повышение мощности единичного элемента до единиц Вт (оптимизация геометрии и размеров).

Разработка макета генератора (~ 10 Вт) с коммутацией элементов, работающего на целевом теплоносителе.

Исследование стабильности $grad N_i$ при радиационном воздействии.

Перспективная цель — макет мощностью ~ 1 кВт для реальных условий электростанции. Простота технологий на основе SmS связана с высокой концентрацией носителей и невозможностью получения p -типа проводимости. Это исключает необходимость особых мер по чистоте производства. Данное полупроводниковое производство является наименее требовательным к чистоте. Основные технологические трудности обусловлены высокотемпературным характером соединения.

3 Экспериментальное определение термо-ЭДС в элементах термоэлектрогенератора на основе моносulfида самария

3.1 Разработка функциональной схемы определения термо-ЭДС

Для исследования термоэлектрических свойств SmS в рабочих условиях разработан специализированный стенд (Рисунки 3.1 и 3.2).

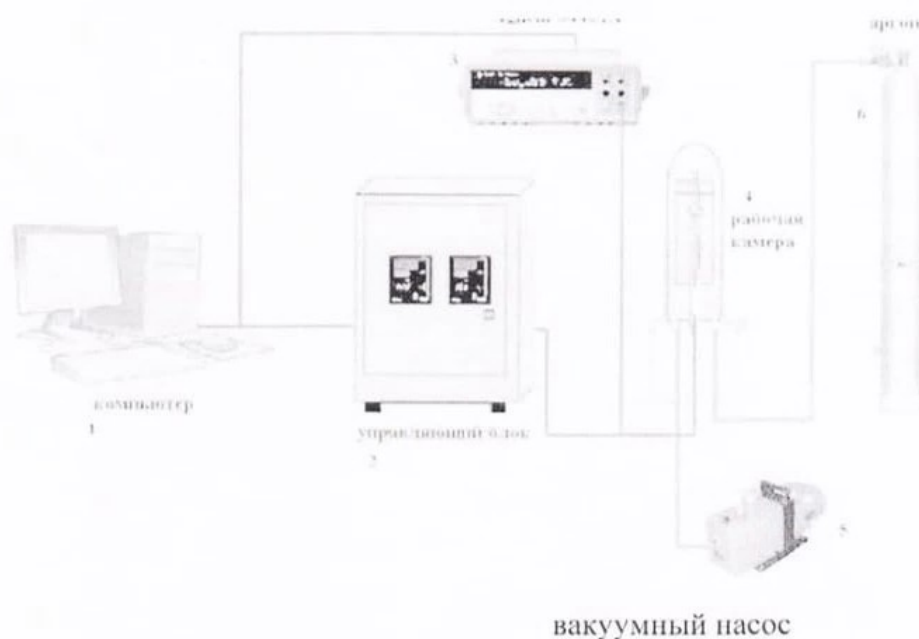


Рисунок 3.1 – Общая схема установки измерения термо-ЭДС и электропроводности материалов

Установка (рисунок 3.1) включает следующие компоненты:

- 1) Компьютер;
- 2) Управляющий блок;
- 3) Мультиметр Agilent 34401 A;
- 4) Рабочая камера;
- 5) Вакуумный насос;
- 6) Баллон с аргоном.

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Экспериментальное определение термо-ЭДС в элементах термо-электрогенератора на основе моно-сульфида самария	Литера	Лист	Листов
Разраб		Муканбетов				у	38	62
Пров		Доросинский				Каф. "НиМЭ", группа 21ПД1		
И. Контр.		Рыжова		06.04				
Утв								

Рабочая камера (рисунок 3.2) смонтирована на стальной станине. Нижняя плита содержит технологические отверстия для подвода питающих проводов к печи, измерительных проводов и термопар. Герметичные патрубки со штуцерами обеспечивают подключение шлангов к вакуумному насосу и системе подачи инертного газа. Верхняя часть герметизируется кварцевой пробиркой, контактирующей с уплотнительными прокладками, зафиксированной гайкой и шайбой. На станине закреплена крепежная рамка из стального профиля прямоугольного сечения.

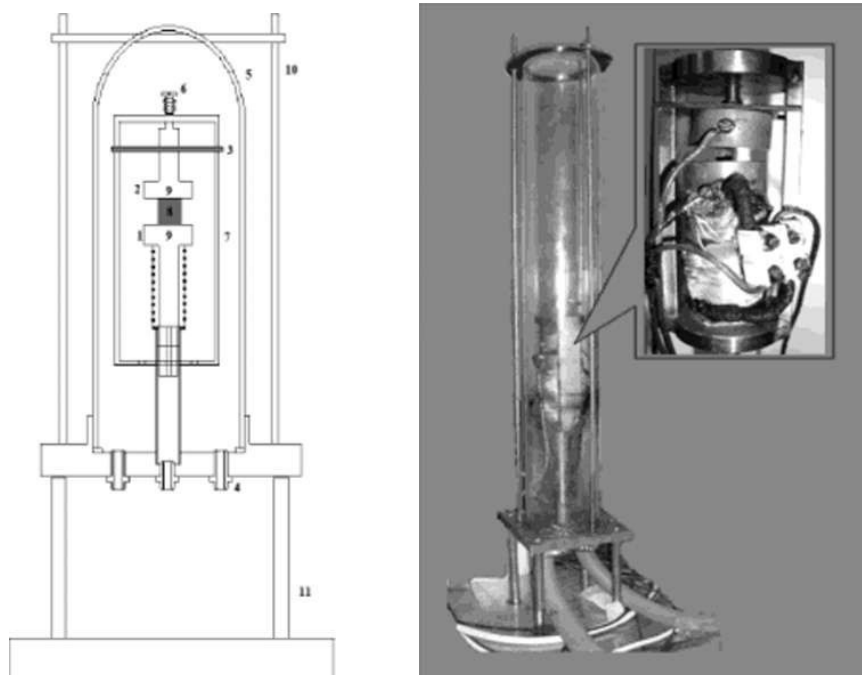


Рисунок 3.2 – Схема и внешний вид установки измерения термо-ЭДС и электропроводности:

Конструкция установки содержит:

- 1) Нагревательный элемент (с теплоизоляцией);
- 2) Охлаждающий радиатор;
- 3) Направляющая радиатора;
- 4) Штуцеры для вакуумирования и подачи газа;
- 5) Кварцевая пробирка (рабочая зона);
- 6) Фиксирующий болт радиатора;

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ

Лист

39

- 7) Крепежная рамка;
- 8) Исследуемый образец;
- 9) Термопары (измерение температуры на торцах образца);
- 10) Крепление кварцевой пробирки;
- 11) Станина.

Образец фиксируется между медным нагревательным цилиндром (нихромовая спираль) и охлаждаемым радиатором. В клеммы вмонтированы термопары для контроля температуры торцов образца. Измерения проводятся в вакууме или инертной атмосфере. Измерения выполняются мультиметром *Agilent 34401A* с точностью 0,01% для сопротивления и 0,005% для термо-ЭДС.

3.2 Экспериментальные результаты измерения термо-ЭДС

Программное обеспечение (*SCPIStudio*) обеспечивает сбор и визуализацию данных в реальном времени (Рисунки 3.3, 3.4).

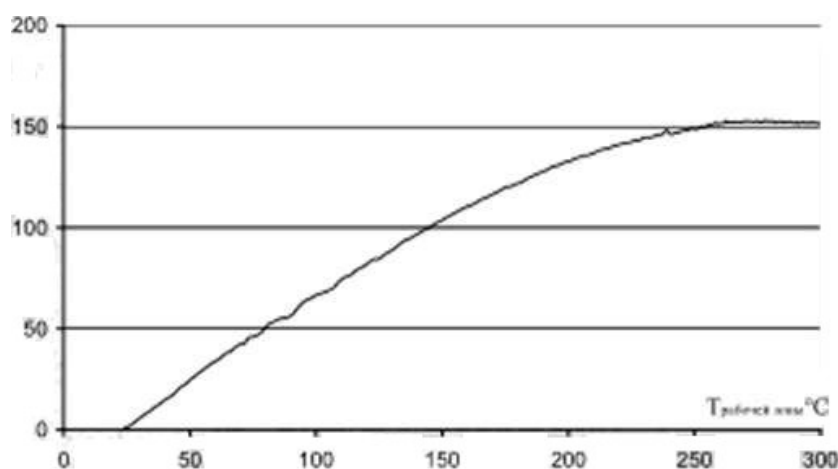


Рисунок 3.3 – Зависимость разности температур между поверхностями нагревателя и радиатора от температуры нагревателя

Образцы *SmS* изготавливались прессованием порошка (5x5x5 мм) с последующим спеканием ТВЧ. Измерялись температуры нагревателя (T_1), радиатора (T_4) и торцов образца (T_2 , T_3), тепловые потоки ($q_{\text{нагр}}$, $q_{\text{рад}}$) и термо-ЭДС. При разности температур нагревателя и радиатора 150°C термо-ЭДС составила 3.5 мВ

($q_{\text{нагр}}=32.83$ Вт, $q_{\text{рад}}=1.99$ Вт, $T_2=265^\circ\text{C}$, $T_3=95^\circ\text{C}$). При 170°C термо-ЭДС достигла 8 мВ с последующим выходом на плато. Полученные данные соответствуют температурным условиям утилизации сбросного тепла ($200\text{--}250^\circ\text{C}$)

По измеренным температурам T_1 , T_2 , T_3 и T_4 (рисунок 3.5), при известных расстояниях между термопарами в нагревателе $\Delta_{\text{нагр}}$ и радиаторе $\Delta_{\text{рад}}$, находятся тепловые потоки от нагревателя к образцу и от образца к радиатору

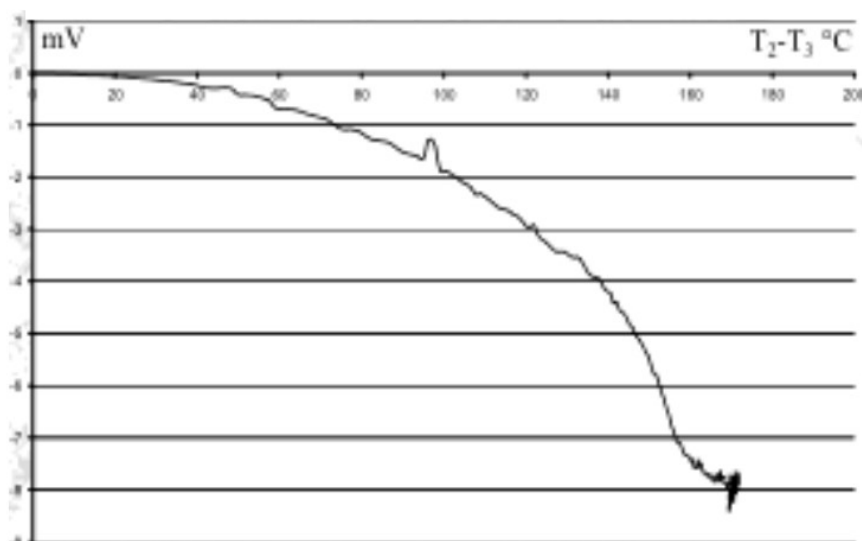


Рисунок 3.4 – Зависимость термоЭДС от разности температур

При разности температур нагревателя и радиатора 150°C термо-ЭДС достигает значения 3.5 мВ.

Тепловые потоки рассчитываются исходя из формул:

$$q_{\text{нагр}} = -\lambda \frac{S(T_1 - T_2)}{\Delta_{\text{нагр}}}, \quad (3.1)$$

$$q_{\text{рад}} = -\lambda \frac{S(T_3 - T_4)}{\Delta_{\text{рад}}} \quad (3.2)$$

В результате обработки результатов расчета получено: Для образца из *SmS*: $q_{\text{нагр}}=32,83$ Вт и $q_{\text{рад}}=1,99$ Вт, при температуре на торцах образца 265 и 95°C соответственно.

При разности температур нагревателя и радиатора 170°C термо-ЭДС достигает значения 8 мВ.

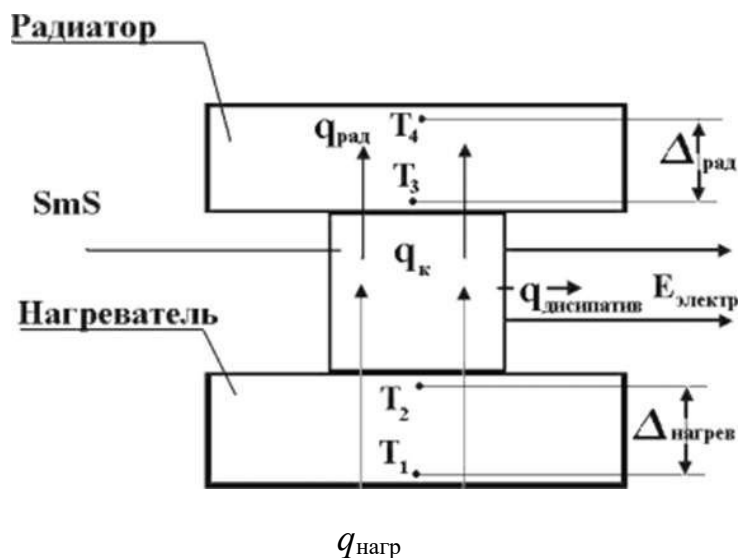


Рисунок. 3.5 – Образец *SmS* в установке и схема тепловых потоков

Таким образом, было экспериментально подтверждено, что с увеличением разницы температур нагревателя и радиатора до 150-170°C термо-ЭДС образца из *SmS* возрастает до 8-9 *mV*, и далее асимптотически выходит на плато. Температуры теплоносителей 200-250°C характерны для ряда технических объектов, требующих утилизации тепла, при этом достигается $T_2 - T_3$, равная 140-170°C.

В приложении В представлена схема электрическая структурная установки измерения термо-ЭДС разработанного преобразователя.

4 Технология изготовления печатных плат

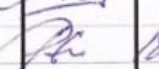
4.1 Анализ методов изготовления печатных плат

В производстве электронной аппаратуры значительное место по объему занимают монтажные работы, включающие установку и закрепление ЭРЭ на основании, плате, шасси и т.п., а также их электрическое соединение между собой.

Под монтажом РЭА понимается ряд последовательных операций по соединению проводниками контактных выводов ЭРЭ и узлов в единую систему. Электрический монтаж, как правило, выполняют после механической сборки блоков. Различают внутренний и внешний электромонтаж. Внутренний электромонтаж состоит в соединении контактных выводов внутри блока, ячейки, узла, прибора. Внешний электромонтаж заключается в осуществлении комплексной электрической связи между отдельными функциональными блоками или узлами сложной аппаратуры посредством соединительных кабелей.

Внутренний электромонтаж блока может быть выполнен двумя способами: объемным и печатным. Выбор того или иного способа обусловливается требованиями к электромонтажу.

Объемный монтаж, выполняемый с использованием монтажных проводов, обладает высокой трудоемкостью, мало поддается механизация и поэтому находит ограниченное применение. Основным видом внутреннего монтажа является печатный монтаж, который позволяет механизировать все операции технологического процесса сборки и монтажа. При печатном монтаже провода заменяются токопроводящими полосками, расположенными в одно, плоскости, а ЭРЭ, как правило, располагаются на одной стороне платы.

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Технология изготовления печатных плат	Литера	Лист	Листов
Разраб		Муканбетов				у	43	62
Пров		Доросинский						
И. Контр.		Рыжова		20.04				
Утв								
						Каф. "НиМЭ", группа 21ПД1		

Основную массу соединений элементов в электронной аппаратуре составляют неподвижные неразъемные соединения, обеспечивающие электрические контакты с выводом ЭРЭ и одновременно механическое крепление, для электро-монтажа в РЭА используют операции пайки, сварки, накрутки проводов, склеивания и т.п.

Применение печатного монтажа (по сравнению с объемным) позволяет значительно уменьшить массу, габариты аппаратуры и повысить ее надежность, резко снизить трудоемкость монтажно-сборочных работ и создает условия для механизации и автоматизации не только операций по изготовлению печатных проводников, но и операций сборки и пайки. При печатном монтаже электрическое соединение элементов электронного узла выполнено в виде плоских печатных проводников, нанесенных на поверхность диэлектрического плоского основания.

Основные методы получения печатных плат.

Химический метод – метод травления фольгированного диэлектрика – заключается в нанесении на медную фольгу химически стойкого покрытия на места, где должны быть проводники, и затем удалении меди с незащищенных участков травлением. В результате на диэлектрике получают проводники необходимой конфигурации. Затем в плате сверлят монтажные отверстия, которые остаются неметаллизированными.

Достоинства метода - высокая прочность сцепления печатных проводников с основанием; равномерность толщины проводников возможность получения печатных разъемов и простота технологического процесса.

Недостатки метода - большие потери меди: невозможность перевода печатных проводников с одной стороны платы на другую без дополнительных перемычек.

Электрохимический метод состоит в сверлении и зенкерование монтажных отверстий на диэлектрическом основании платы, защите пробелов (мест, где не должно быть проводников) покрытиями и металлизации незащищенных участков

платы, соответствующих печатным проводникам, далее в последующем наращивании проводников гальваническим способом и удалении защитного слоя.

Достоинства способа – одновременность получения печатных проводников и металлизированных отверстий; возможность перевода проводников с одной стороны платы на другую и экономный расход меди.

Недостатки – меньшая прочность сцепления печатных проводников с основанием по сравнению с химическим методом; меньшая электропроводность полученных печатных проводников и неравномерность их толщины; большая продолжительность технологического процесса; необходимость наличия технологических проводников и площадок для контактирования с зажимами гальванической ванны в процессе наращивания толщины проводников.

Комбинированный метод заключается в получении печатных проводников химическим методом (травлением фольгированного диэлектрика) и металлизации монтажных и переходных отверстий электрохимическим методом. Травление медной фольги в незащищенных участках производят или до металлизации отверстий (негативный процесс), или после нее (позитивный процесс).

Преимущества метода складываются из достоинств химического и электрохимического методов.

Недостатки метода состоят в следующем: при негативном процессе наблюдается ухудшение сцепления диэлектрика с фольгой за счет воздействия на диэлектрик растворов и электролитов; при позитивном - происходит активация осажденного в отверстиях металла, что затрудняет пайку.

В настоящее время разработано большое количество способов нанесения рисунка схемы, однако наибольшее распространение получили фотоспособ, способ офсетной печати и сеточнографический способ.

Фотоспособ состоит в копировании изображения рисунка схемы контактным способом с негатива или позитива на изоляционное основание, покрытое

светочувствительной эмульсией. После проявления и закрепления с незасвеченных мест эмульсия удаляется промывкой.

Достоинства способа – высокая точность и высокая разрешающая способность.

Недостатки – высокая трудоемкость, малая производительность.

Фотоспособ применяется в условиях опытного и серийного производства двусторонних и многослойных плат при большой плотности монтажа.

Способ офсетной печати состоит в изготовлении печатной формы-клише с позитива или негатива рисунка схемы и печати с клише изображения на изоляционное основание кислотостойкой краской *hp* офсетном станке.

Достоинства способа – высокая производительность, относительная простота процесса нанесения рисунка схемы.

Недостатки – трудоемкость изготовления клише для каждого вида печатной платы; сравнительно низкая точность и разрешающая способность.

Способ офсетной печати применяется в условиях крупносерийного производства.

Сеточнографический способ заключается в получении сетчатого трафарета путем копирования изображения рисунка схемы фотоспособом и последующем нанесении полученного сетчатого трафарета кислотостойкой краской на изоляционное основание.

Достоинства способа – высокая производительность, недорогое и несложное оборудование.

Недостатки – необходимость изготовления сетчатых трафаретов для каждого вида печатной платы, невысокая точность и разрешающая способность.

3.2 Выбор материалов и комплектующих деталей

Выбор материалов для печатных плат должен производиться с учетом их механических и физических свойств и воздействия внешней среды: они должны

одновременно выполнять функции конструктивной опоры для элементов схемы и теплоотводящей среды и обеспечить электрическую изоляцию в условиях воздействия внешней среда.

В зависимости от варианта технологического процесса изготовления печатного монтажа могут применяться различные диэлектрики. Широко применяются диэлектрики нефольгированные и фольгированные (медная фольга может быть наклеена с одной или с двух сторон).

Материалы для печатных плат должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) относительная диэлектрическая проницаемость - не более 7, чтобы не создавать значительных паразитных емкостей между печатными проводниками;
- 2) тангенс угла наклона диэлектрических потерь в рабочем диапазоне частот - не более 0,06 на частоте 1 МГц;
- 3) удельное поверхностное и объемное сопротивление изоляции не менее 1010 Ом и 1010 Ом·см;
- 4) электрическая прочность не менее 15 кВ/мм;
- 5) достаточная теплостойкость, допускающая пайку погружением при температуре 240-260°C в течение 10 с;
- 6) стабильные электрические параметры в интервале рабочих температур;
- 7) стабильные электрические и механические свойства в процессе обработки;
- 8) достаточная механическая прочность и хорошая обрабатываемость штамповкой, сверлением, фрезерованием.

Для изготовления печатных плат широко применяются электротехнический гетинакс ГОСТ 2718-72. Для низкочастотных устройств рекомендуются марки гетинакса Б, В и Г, которые обеспечивают соответственно: повышенную электрическую прочность вдоль слоев; повышенную механическую прочность; работу в условиях повышенной влажности.

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		47

Для работы в устройствах общего назначения широко применяется гетинакс марки Ав; для работы в высокочастотных устройствах -марки Бв, Вв, Гв. Этот материал имеет сравнительно невысокие электрические свойства, но легко обрабатывается, дешев и обеспечивает нормальную работу схем на частотах до 30 МГц при температуре не более 150°С.

Для изготовления печатных плат, работающих при значительных механических нагрузках и температуре до 180°С, применяется стеклотекстолит марок СТ СТУ 36-14-04-62 и СТЭФ ТУ 35 ЭП-71-62. Этот материал обладает высокими механическими и электрическими свойствами и повышенной тепло- и влагостойкостью. Допускает обработку фрезерованием, сверлением, обтачиванием и шлифованием без образования трещин и сколов.

При изготовлении печатных плат также широко применяются фольгированные гетинакс, стеклотекстолит и фторопласт.

Фольгированный гетинакс марки ГФ-1-2 (медная фольга с одной стороны листа), марки ГФ-2-2 (медная фольга с двух сторон листа) ГОСТ 10316-72, фольгированный стеклотекстолит марок СФ-1 (медная фольга с одной стороны листа) и марки СФ-2 (медная фольга с двух сторон листа) ГОСТ 10316-72, обладает высокой механической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами, низким водопоглощением. Фольгированный фторопласт -4 ВТУ П-295-62 имеет низкую механическую прочность, но обладает наиболее высокими диэлектрическими показателями, особенно при высоких частотах; совершенно не смачивается водой и не набухает, обладает исключительной химической стойкостью; допускает все виды механической обработки.

Фольгированные диэлектрики НФД-80-1 и НФД-80-2 на основе тканей из синтетических волокон применяют для изготовления эластичных плат сложной формы, работающих при температуре от -60 до +70°С. Для изготовления многослойных печатных плат применяются тонкие фольгированные пластинки марок ФДТ-1, ФДТ-2, ФДН-2, ФДМЭ-1.

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48

Фольгированный диэлектрик СВАО применяют для изготовления печатных плат повышенной механической прочности и прозрачности, работающих в диапазоне температур от -60 до +100°С.

Наряду с вышеуказанными материалами для изготовления печатных плат используют керамику, стекло. Керамика (стеатит Б-17, СК-1, ТК-21) применяется для изготовления печатных плат с высокими диэлектрическими свойствами, работающих на высоких частотах. Стекла СТ-1 и СТ-2-55 могут работать при высоких температурах (до +150°С) и хорошо противостоят химическим реагентам.

Значительно реже применяются пресс-порошки К-21, К114-35, К-211-4, К-17-81, пресс-материал АГ-2, АГ-4, АГ-7 и т.д. Применение этих пластмасс ограничивается трудностью изготовления пресс-форм и необходимостью их замены при каждом изменении конструкции платы.

При изготовлении печатной платы будем использовать фольгированный гетинакс марки ГФ-1-35.

4.3 Размещение радиодеталей на плате. Трассировка проводников

При проектировании изделия необходимо минимизировать количество типоразмеров печатных плат (ПП). При их разработке следует руководствоваться следующими конструктивно-технологическими требованиями:

- 1) Форма ПП: Предпочтительна прямоугольная конфигурация. Иные формы допустимы лишь при технической необходимости и обосновании.
- 2) Класс плотности проводящего рисунка:
 - Платы всех размеров рекомендуется изготавливать по классу плотности А.
 - Класс плотности Б допустим для малогабаритных ПП (до 120 x 180 мм) и, при техническом обосновании, для среднегабаритных (до 200 x 240 мм).
 - Крупногабаритные ПП (до 470 x 470 мм) выполняются исключительно по классу А.

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		49

3) Толщина ПП: Рекомендуемые значения: 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 мм. Выбор определяется способом изготовления, механическими и электрическими требованиями изделия.

Для одно-/двусторонних ПП толщина обеспечивается подбором материала (ТУ, ГОСТ).

Для многослойных ПП (МПП) толщина формируется подбором толщин печатных слоев и склеивающих прокладок.

4) Расположение отверстий и контактных площадок:

Центры отверстий размещаются в узлах координатной сетки.

Для многовыводных элементов с выводами не кратными шагу сетки:

Если элемент имеет ≥ 2 выводов с расстоянием, кратным шагу сетки, центры отверстий под них размещают в узлах сетки.

Иначе, центр основного отверстия размещают в узле сетки, а центр одного из других отверстий – на вертикальной/горизонтальной линии сетки.

Зенкование: Параметры фаски (угол) определяются технологией изготовления ПП.

ПП < 0.8 мм: зенкование не делается, кромки притупляются.

ПП 0.8-1.2 мм: угол зенковки 100-125°.

ПП ≥ 1.2 мм: угол зенковки $\geq 70^\circ$.

Допуски:

Расстояние между центрами отверстий: ± 0.2 мм.

Расстояние между центрами взаимосвязанных отверстий под многовыводные элементы/для автомат. установки: ± 0.1 мм.

Минимальное расстояние между краями отверстий (без фаски) $\geq$ толщине ПП.

Металлизированные отверстия на двусторонних ПП и наружных слоях МПП должны иметь контактные площадки (круглые, прямоугольные или близкой формы) в своей зоне.

5) Печатные проводники:

Конфигурация произвольная, номинальная ширина – по всей длине.

В узких местах допустимо сужение до минимально допустимой ширины на минимальной длине.

Взаимное расположение не регламентировано, но следует стремиться к равномерности распределения и избегать минимальных расстояний, если возможно увеличение.

Проводники шириной 0.2-0.4 мм: через каждые 25-30 мм предусматривать местное расширение ($\geq 1 \times 1$ мм, тип контактной площадки).

Проводники > 5 мм: выполняются как экраны.

Расстояние до края: На всех ПП (включая слои МПП) расстояние между краем проводника/площадки/экрана и краем ПП (или неметалл. отверстия/паза/выреза) должно равняться номинальной толщине ПП с учетом допуска на габарит.

Экраны: Выполняются с вырезами (щелевидные, прямоугольные, овал, круг, сетка), занимающими $\geq 50\%$ площади экрана.

Вокруг отверстия, связанного с экраном: 2-4 секторных выреза на расстоянии 1.0-1.5 мм от кромки/зенковки.

Вокруг отверстия, несвязанного с экраном: кольцевой вырез на расстоянии 1.0-1.5 мм от кромки/зенковки.

Типоразмеры и сетка (ГОСТ 10317-79):

Шаги координатной сетки: 0.5, 1.25, 2.5 мм.

Размер стороны ПП:

До 100 мм: кратен 2.5 мм.

До 350 мм: кратен 5.0 мм.

Более 350 мм: кратен 10.0 мм.

Макс. размер любой стороны: ≤ 470 мм.

Расчет минимального расстояния (l_{min}) для прокладки n проводников между отверстиями/площадками выполняется по двум вариантам.

Размещение элементов:

Сначала размещают активные элементы (микросхемы, диоды, транзисторы, трансформаторы).

Затем пассивные (резисторы, конденсаторы, индуктивности).

Минимальное расстояние между радиоэлементами: 0.5 мм.

Минимальное расстояние от края ПП: 2 мм.

Крепежные/монтажные отверстия:

Центры должны быть в узлах координатной сетки.

Если конструкция элемента не позволяет это, центр основного отверстия размещают в узле сетки, остальные – на одной из горизонтальных/вертикальных линий сетки.

В одном монтажном отверстии ПП может размещаться только вывод одного радиоэлемента.

После размещения навесных элементов начинают их соединение печатными проводниками. Эти проводники должны удовлетворять условиям:

- 1) по возможности короткими с плавными переходами от широкой части к узкой;
- 2) проводники должны располагаться на расстоянии не менее 1 мм от края ПП или монтажного отверстия;
- 3) при двухстороннем монтаже проводники на противоположных сторонах ПП не должны быть параллельными;
- 4) при размещении ПП необходимо избегать ответвлений у печатных проводников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящего исследования проведены испытания макетного образца термоэлектрического преобразователя (ТЭП), функционирующего в диапазоне температур 150–450 °С.

Экспериментально установленный коэффициент полезного действия (КПД) преобразования энергии составил приблизительно 47% при температуре 150 °С и около 30% при 450 °С. Генерируемое напряжение достигало 0,5 В. Масса термоэлемента в макете не превышала 10 г.

Для проведения изысканий была сконструирована специализированная установка, позволяющая измерять термо-ЭДС и электропроводность термоэлектрических материалов в условиях, имитирующих эксплуатационные. С ее помощью определены термоэлектрические свойства образцов сульфида самария.

Основные выводы исследования:

Требуется разработать промышленную технологию производства материала SmS для термоэлементов с градиентом легирующей примеси.

Необходимо изучить возможность исключения массивного металлического теплоаккумулятора из конструкции при условии стабильного теплообмена с внешним теплоносителем.

Следует повысить мощность единичного термоэлемента до уровня единиц ватт за счет оптимизации его геометрии и размеров.

Требуется разработать схему коммутации термоэлементов и создать макет генератора на их основе.

Необходимо исследовать влияние радиационного облучения на стабильность термоэлектрических характеристик термоэлемента.

Перспективной целью является создание работоспособного макета мощностью ~1 кВт, функционирующего в реальных условиях электростанции. Ключевыми проблемами при этом станут обеспечение стабильности генерации во времени, при колебаниях температуры и в условиях воздействия радиации.

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		53

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 М.М. Казанин, В.В. Каминский, С.М. Соловьёв. Аномальная термоэдс в моносulfиде самария. ЖТФ, 2000, т.70, в. 5, стр. 136-138.
- 2 В.В. Каминский, С.М. Соловьёв. Возникновение электродвижущей силы при изменении валентности ионов самария в процессе фазового перехода в монокристаллах *SmS*. ФТТ, 2001, т. 43, в. 3, стр. 423-426.
- 3 В.В. Каминский, А.В. Голубков, Л.Н. Васильев. «Дефектные ионы самария и эффект генерации электродвижущей силы в *SmS*». ФТТ, 2002, т.44, вып.8, с.1501-1505
- 4 В.В. Каминский, Л.Н. Васильев, М.В. Романова, С.М. Соловьёв. Механизм возникновения электродвижущей силы при нагревании монокристаллов *SmS*. ФТТ, 2001, том 43, в. 6, стр. 997-999.
- 5 В.В. Каминский, А.В. Голубков, М.М. Казанин, И.В. Павлов, С.М. Соловьёв, Н.В. Шаренкова, Термоэлектрический генератор (варианты) и способ изготовления термоэлектрического генератора, - Заявка на изобретение №2005120519/28 от 22.06.2005, положительное решение от 16.06.2006.
- 6 *V.V.Kaminski, L.N.Vasil'ev, M.M.Kazanin, S.M. Solov'ev and A.V.Golubkov "Electromotive force generation in SmS based nanostructures" - Fifth ISTC scientific Advisory Committee Seminar "Nanotechnologies in the area of physics, chemistry and biotechnology", St.Petersburg, May 27-29 2002, p.131-134.*
- 7 В.В. Каминский, С.М. Соловьёв, А.В. Голубков. Генерация электродвижущей силы при однородном нагреве полупроводниковых образцов моносulfида самария. Письма в ЖТФ, 2002, т.28, в.6, стр. 29-34.
- 8 Смирнов И. А. Редкоземельные полупроводники — перспективы развития и применение. Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. Т. XXVI. 1981. № 6.
- 9 Соловьёв С. М. Особенности электрических и термоэлектрических свойств моносulfида самария, связанные с переменной валентностью ионов самария. Автореферат диссертации и диссертация на соискание ученой степени к. ф.-м. н. Санкт-Петербург, 2007.

10 Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие // Под ред. канд. техн. наук Р. А. Макарова. М.: Машиностроение, 1975.

11 Каминский В. В., Молодых А. А., Степанов Н. Н., Соловьев С. М., Володин Н. М., Иванов В. А. Особенности применения полупроводниковых тензо- и барорезисторов на основе сульфида самария // Научное приборостроение. Т. 21. 2011. № 2.

12 Сысоева С. С. Устройства для безбатарейного и беспроводного питания автономных узлов // Электронные компоненты. 2011. № 6, 7.

13 Казанин М. М., Каминский В. В., Соловьев С. М. Аномальная термо-ЭДС в моносulfиде самария // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 5.

14 Kadota M. & Yamamoto K. in *Advanced Hybrid Vehicle Powertrain* 2008-01-310 (SAE International, 2008).

15 Казаков С. А., Каминский В. В. Полупроводниковые газовые датчики кислорода на основе поликристаллических пленок сульфида самария // Доклады 33-го Всероссийского семинара по озону «зон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии».

16 Поздняков Б. С, Коптелов Е. А. Термоэлектрическая энергетика. М.: Атомиздат, 1974. 264 с.

17 Хагб Г.С. Исследование тепловых характеристик халькогенида меди // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 38.

18 Самойлович А.Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы преобразования энергии. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. С. 176-179.

Приложение А
Техническое задание

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						56
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

«Утверждаю»
зав. кафедрой НИМЭ

Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)

«05» июня 2025 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

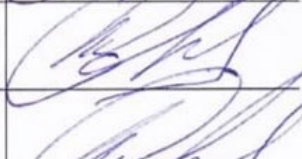
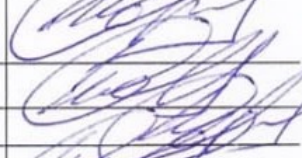
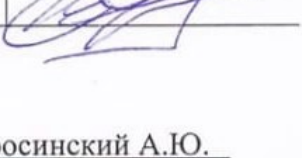
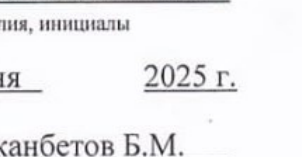
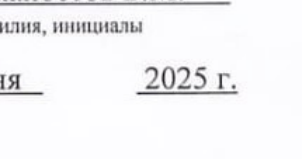
1. Студент(ка) гр. 21ПД1 факультета информационных технологий и электроники
Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
Муканбетов Баяз Маратбекович
(фамилия, имя, отчество)
2. Руководитель Доросинский Антон Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)
3. Тема бакалаврской работы Термоэлектрогенератор на основе моносulfида самария
Тема утверждена приказом ПГУ № 5821 Д от «25» 04 2025 г.
4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)
Спроектировать термоэлектрический генератор на основе моносulfида самария
должен иметь следующие технические характеристики

Удельная генерируемая мощность, Вт/гр	не более 1,8
Напряжение, генерируемое единичным термоэлементом, В	до 5
Внутреннее сопротивление, Ом	не более 1
Максимальная мощность, полученная с единичного термоэлемента, Вт	$5 \cdot 10^{-3}$
КПД преобразования, %	от 30 до 47
Датчик должен быть работоспособен во время и после воздействия температуры окружающей среды, °С	± 50
Габаритные размеры термоэлектрoэлементa, мм, не более	20×10×25
5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы
 - 5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)
 - 1 Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария и перспектив его применения при построении эффективных термоэлектрoгенераторов
 - 1.1 Понятие термоэлектрической генерации
 - 1.2 Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария
 - 1.3 Перспективы применения моносulfида самария при построении термоэлектрoгенераторов
 - 2 Проектирование термоэлектрoгенератора на основе моносulfида

самария

2.1 Анализ физической модели выработки ЭДС в рабочем элементе	
2.2 Патентный поиск в области разработки термоэлектрогенераторов на основе моносulfида самария	
2.3 Разработка конструкции и расчет основных технических параметров	
3 Экспериментальное определение термоЭДС в элементах термоэлектрогенератора	
3.1 Разработка функциональной схемы определения термоЭДС	
3.2 Экспериментальные результаты измерения термоЭДС	
4 Технология изготовления печатных плат	
4.1 Анализ методов изготовления печатных плат	
4.2 Выбор материалов и комплектующих деталей	
4.3 Технологические операции нанесения рисунка и изготовления печатных проводников. Размещение радиодеталей на плате	
4.4 Технологические операции сборки и монтажа	
5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)	
Сферы применения термоэлектрогенераторов	слайд 1
Сборочный чертеж термоэлектропреобразователя	слайд 2
Сборочный чертеж термоэлектрогенератора	слайд 3
Механизм возникновения ЭДС в термоэлектропреобразователях	слайд 4
Способы теплового воздействия	слайд 5
Структурная схема установки для измерения термоЭДС	слайд 6
6. Консультанты и содержание дополнительных разделов	

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Анализ термоэлектрических свойств моносulfида самария и перспектив его применения при построении эффективных термоэлектродгенераторов	20%	05.06.2025	
Проектирование термоэлектродгенератора на основе моносulfида самария	20%	06.06.2025	
Экспериментальное определение термоЭДС в элементах термоэлектродгенератора на основе моносulfида самария	20%	07.06.2025	
Технология изготовления печатных плат	10%	08.06.2025	
Графическая часть	10%	09.06.2025	
Оформление пояснительной записки	20%	09.06.2025	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Доросинский А.Ю.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«05» июня 2025 г.

Задание к исполнению принял

подпись

Муканбетов Б.М.

фамилия, инициалы

«05» июня 2025 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

Кревчик В.Д.

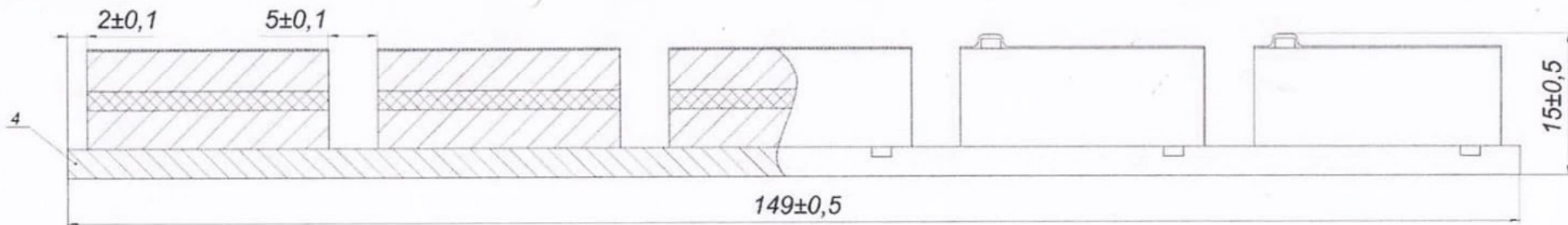
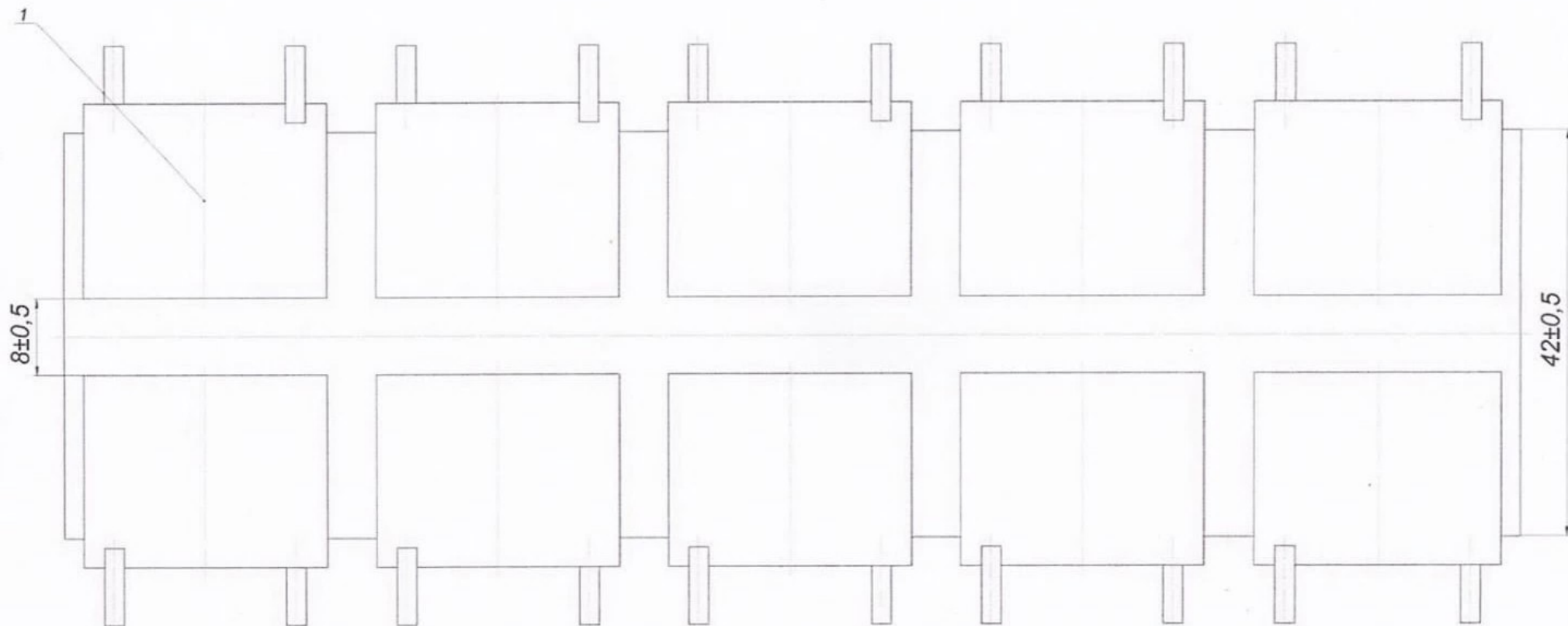
фамилия, инициалы

«18» 06 2025 г.

Приложение Б

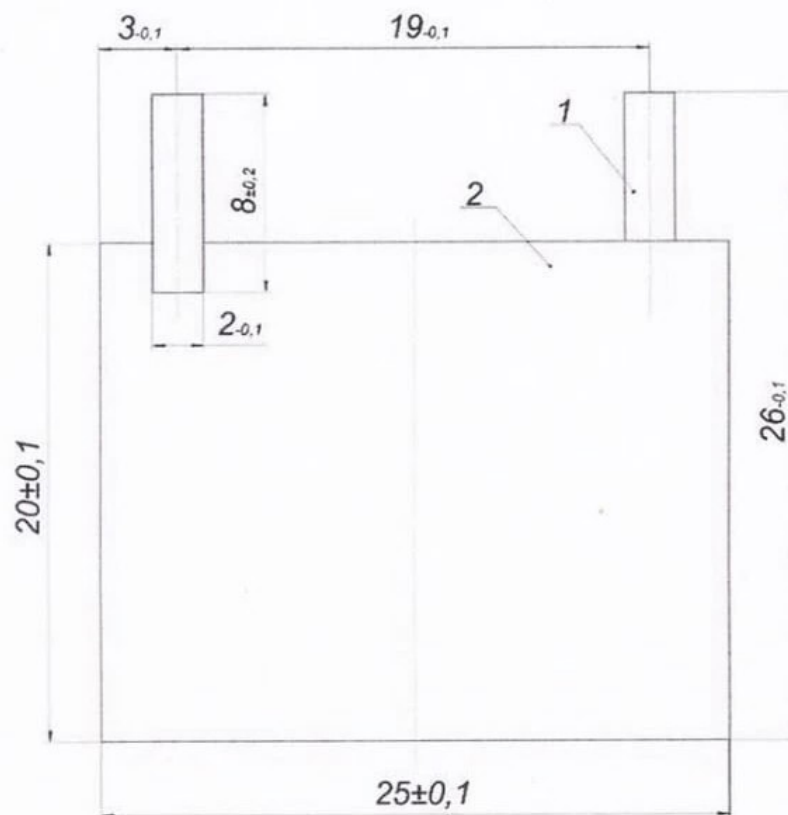
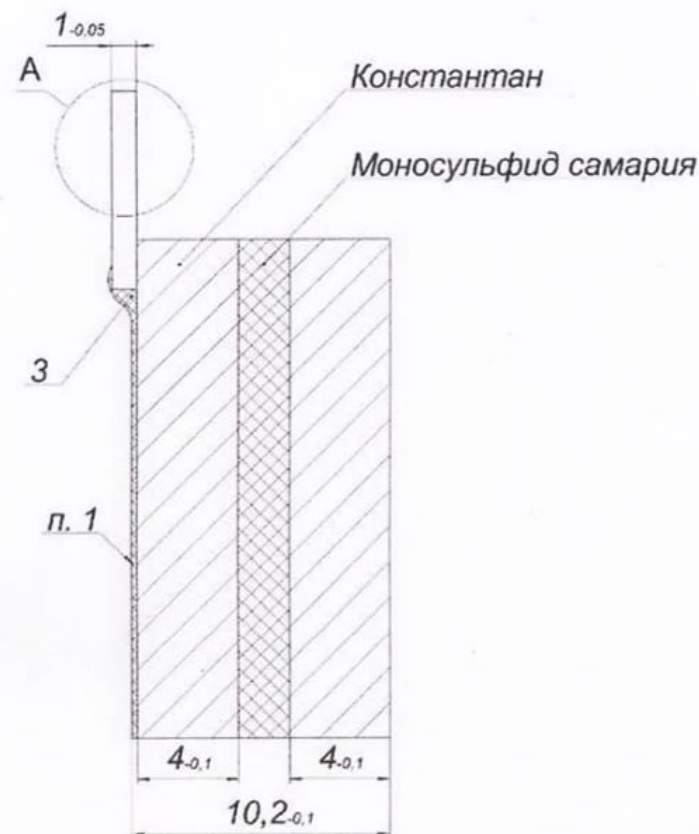
Сборочные чертежи термоэлектропреобразователя
и термоэлектрогенератора

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		57



1. Пайку термоэлектродпреобразователей к основанию выполнять пастой припайной типа 7141 ТУ-029-00387275-2009.
2. Материал поз.1: сплав Al или Cu.

ПГУ 2.11.03.009СБ 2				Лист	Масштаб
Термоэлектрод преобразователь				5:1	
Сборочный чертеж				Конт.	Исполн.
				Конт. 217/01	Исполн. А1



1. Змать ЭП-275 ГОСТ 23599-79.
2. Не допускается попадание змать на поверхность А.
3. Наружная поверхность, после покрытия зматью, должна быть глянцевой. Допускаются раковины глубиной 0,3 мм, Ø2 мм не более.
4. Сварка выводов 1 - контактная, точечная, внахлест.
5. На поверхности выводов 1 допускается нарушение покрытия.

ПГУ 2.11.03.009 СБ 1			
Исполнитель	Проверен	Сверен	Масштаб
Термоэлектронный преобразователь	Сборочный чертеж	10:1	
Классификация	Классификация	Классификация	Классификация
Классификация	Классификация	Классификация	Классификация
Классификация	Классификация	Классификация	Классификация

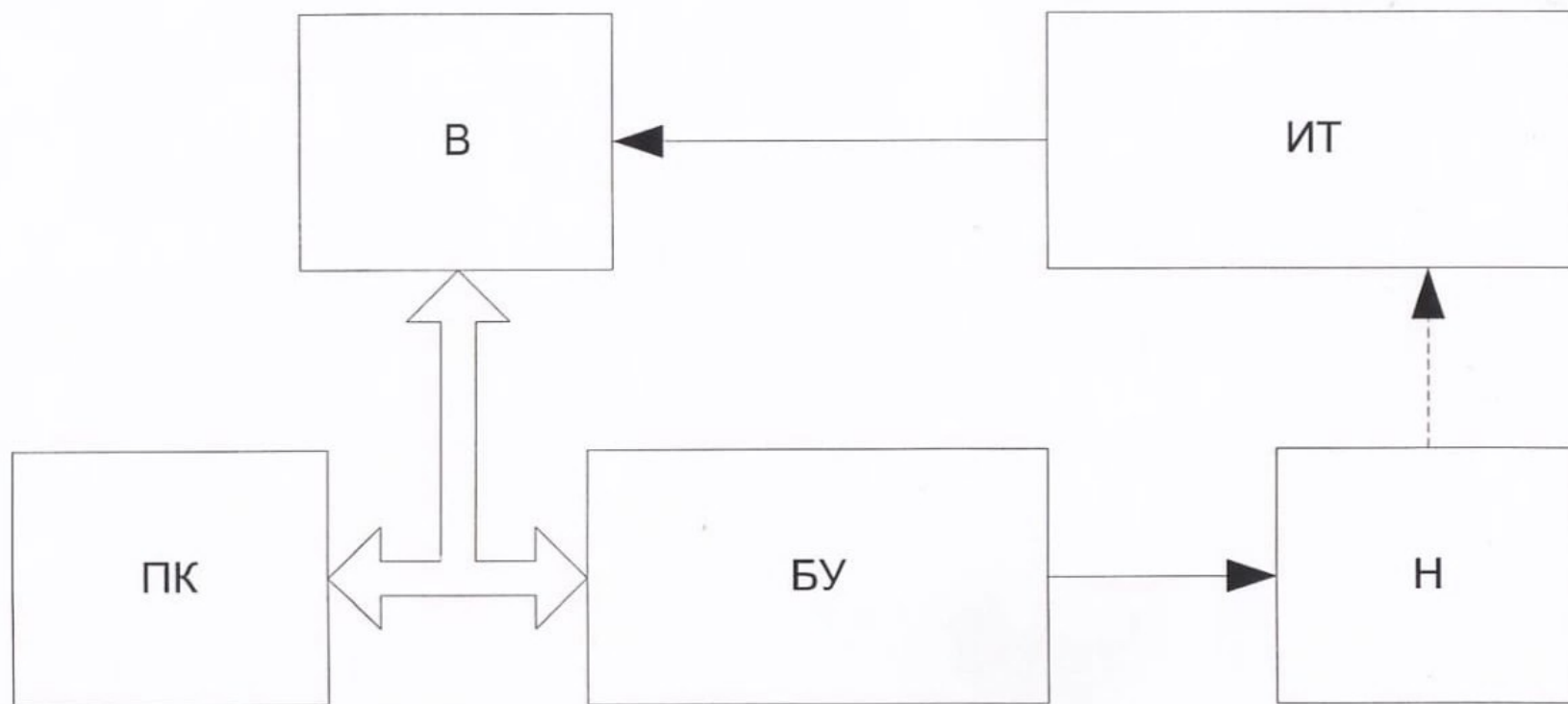
[illegible]

Приложение В

Схема электрическая структурная измерения ЭДС

термоэлектрогенератора

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		60



Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
ПК	Персональный компьютер	1	
В	Вольтметр	1	
БУ	Блок управления нагревателем	1	
НЭ	Нагревательный элемент	1	
ИТ	Индустриальный термоэлектронпреобразователь	1	

				ПГУ 02. 11.03.04. 009 Э1			
Имя	Фамилия	И.О.Ф.	Подпись	Дата	Листов	Всего	Масштаб
Получил	М.В.С.						
Принял	Д.В.С.						
Г. вып.					Лист 1	Листов 1	

Р64 18.08

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Иллюстративная часть

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		61

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Заявление и протокол проверки бакалаврской работы на оригинальность

					ПГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		62

Протокол

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной классификационной работы на тему «Термоэлектрогенератор на основе моносulfида самария »

студента 4 курса Муканбетов Баяз

направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Доросинский А.Ю.



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований?

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский государственный университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.РУ

Автор работы	Мухомбетов Баки
Самостоятельность выполнения	Мухомбетов Баки
Название работы	Термоэлектрогенератор на основе моногидрида теллура
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Подразделение	Кафедра "Физика и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕДЕНИИ КОНФИКТОРОВАНОК: НАКОНЕ ПРЕСТАВЛЕНА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЦЕДУРЫ ДО КОНФЕКТИРОВАНОК

ОБОЛОДОВИ	55.73%	СОПЛАДОВИ	49.74%
ОПРЕДЕЛЕНАСТ	43.27%	ОПРЕДЕЛЕНАСТ	50.24%
ЦИТРОСАВИ	0%	ЦИТРОСАВИ	0%
САМОЦИТРОСАВИ	0%	САМОЦИТРОСАВИ	0%

(1874) HSC(201)-43 HPC(4)PCa 17 (p. 322)

2015年12月31日 星期三 12:00:00

Структура документа:
Модель парковки

Проверенные разделы: титульный лист и 1 приложение с 13-15, введение и 2-13, таблицы с 54-55

[illegible]

Работу провела: Голубикова Александра Викторовна
 8451000000000

Дата подписи _____



Исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ-2001, согласно которым отбирались образцы для анализа.

[illegible]

Руководитель ВКР

«18 »06 2025 год

попысь

Доросинский А.Ю.
фамилия, инициалы

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Пензенский государственный
университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Муканбетов Баяз
Самоцитирование
рассчитано для: Муканбетов Баяз
Название работы: Термоэлектродвигатель на основе моносulfида самария
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	<div><div></div></div>	56.73%	СОВПАДЕНИЯ	<div><div></div></div>	49.74%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	<div><div></div></div>	43.27%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	<div><div></div></div>	50.26%
ЦИТИРОВАНИЯ	<div><div></div></div>	0%	ЦИТИРОВАНИЯ	<div><div></div></div>	0%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	<div><div></div></div>	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	<div><div></div></div>	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 17.06.2025

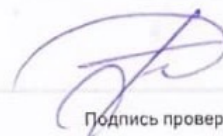
ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 17.06.2025 17:05

Структура документа: Проверенные разделы: титульный лист с.1, приложение с.13-53, введение с.2-13, выводы с.54-55
Модули поиска: ИПС Адилет; Коллекция НБУ; СМИ России и СНГ; СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования; Цитирование; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Шаблонные фразы; Диссертации НББ; Кольцо вузов (переводы и перефразирование); Медицина; Кольцо вузов; Перефразирование по коллекции IEEE; Патенты СССР, РФ, СНГ; Публикации eLIBRARY; IEEE; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Сводная коллекция ЭБС; Перефразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирование); Переводные заимствования IEEE; Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Публикации РГБ (переводы и...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:



Подпись проверяющего



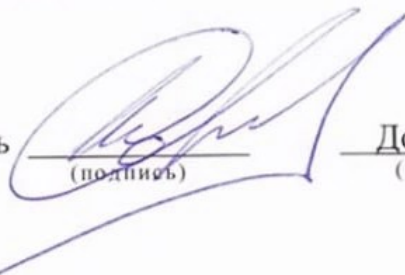
Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Считаю, что ВКР заслуживает оценки «хорошо», а ее автор Муканбетов Б.М. заслуживает присвоения квалификации «бакалавр» по направлению подготовки 11.03.04 «Нанотехнология и технология микроэлектронных устройств».

« 16 » июня 2025 г.

Руководитель

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, written over a horizontal line.

(подпись)

Доросинский А.Ю.

(инициалы, фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОТЗЫВ
РУКОВОДИТЕЛЯ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Бакалаврская работа на тему Термоэлектрогенератор на основе
моносulfида самария

Выполнена студентом Муканбетовым Баязом Маратбековичем

Факультет приборостроения, информационных технологий и электроники

Кафедра Нано- и микроэлектроники Группа 21ПД1

Направление подготовки, профиль 11.03.04. «Электроника и
наноэлектроника», «Нанотехнология и технология микроэлектронных
устройств»

Квалификация (степень) Бакалавр

Руководитель Доросинский А.Ю.

к.т.н., доцент каф. НиМЭ, ген. директор ООО НПП «Сонар»

Качества выпускника, выявленные в ходе выполнения бакалаврской работы
В ходе выполнения ВКР Муканбетов Б.М. проявил навыки
самостоятельного решения поставленных инженерных задач.
Продemonстрировал достаточный уровень практической и теоретической
подготовки по профилю обучения.

Заключение

Выполненная выпускником ВКР соответствует техническому заданию.
Степень соответствия подготовленности выпускника соответствует
требованиям программы обучения.

Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Муқанбетов Баяз

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я Муқанбетов Баяз, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, профиль «Микрoeлектроника и твердотельная электроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной классификационной работы н на тему «Термоэлектрогенератор на основе моносyльфидa самария », выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.


Подпись студента

ВКР представлена на проверку 18.06.2025

Руководитель ВКР Доросинский А.Ю.

