

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Факультет «Электроника и автоматика»
Кафедра «Теоретическая электротехника и электронные технологии»

На правах рукописи

Арислонов Солижон Равшан угли

**СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСЛЕДОВАНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕПЛОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Выпускная квалификационная работа
на соискание степени бакалавра по направлению
5523300 – «Нанотехнологии (наноматериалы, электронные приборы и
устройства)»

Заведующий кафедрой:

доц. Абидов К.Г.

Руководитель:

доц. Ниматов С.Ж.

Ташкент – 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6.
ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПО ТЕМЕ	9
1.1 Общие сведения о термоэлектрических явлениях.....	9
1.2 Термоэлектрические преобразователи на основе металлов и полупроводников.....	16
1.3 Приборы и оборудования для исследования теплопреобразователя ...	18
1.4 Тепловольтаический эффект в плёночных полупроводниковых структурах.....	18
1.5 Постановка задач.....	31
ГЛАВА 2 Экспериментальные приборы для получения и изучения свойств теплопреобразователей.....	32
2.1. Высоковакуумная установка для получения плёночных полупроводниковых структур.....	32
2.2. Общие требования и характеристики прибора для исследования теплопреобразователей.....	37
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	39
3.1. Лабораторный стенд для изучения темновых ВАХ плёночных полупроводниковых структур.....	39
3.2. Тепловольтаический эффект в плёночных полупроводниковых структурах.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	43
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	44

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Развитие альтернативных и возобновляемых источников энергии является одной из наиболее актуальных задач современной науки и техники. Особое значение в этой связи приобретает возможность прямого преобразования в электрическую энергию тепловой составляющей излучения солнца и тепла нагретых тел, начиная от геотермальных источников до ядерных реакторов и отходящих газов тепловых электростанций и металлургических производств. Одним из наиболее перспективных направлений для решения этой актуальной задачи является использование методов физической электроники и технологий тонких плёнок. Применение данных методов позволяет, с одной стороны, создавать различные структуры, в том числе субмикронные и наномасштабные, которые сложно или практически невозможно получать другими способами, а с другой – в широком диапазоне управлять свойствами этих структур. Таким образом, изучение возможностей микро- и нанотехнологий тонких плёнок для решения проблем создания преобразователей тепловой и солнечной энергии является чрезвычайно актуальным и перспективным и служит в настоящее время основой для проведения широкого круга научных исследований и инженерных разработок.

В настоящее время есть две главные сферы, в которых термоэлектрические устройства могут использоваться для повышения эффективности использования энергии и/или снижения уровня загрязнения: преобразование отработанного тепла в пригодную для использования энергию и охлаждение.

Получение и преобразование энергии – одно из важнейших направлений деятельности современной цивилизации, лежащее в самой основе её существования. Поскольку наиболее удобная и универсальная форма энергии для практических применений – электрическая, то особое

значение имеет разработка наиболее эффективных методов её получения, и поиск таких методов никогда не останавливался. Весьма остро встал вопрос о повышении эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую из-за ощущаемой в настоящее время нехватки ископаемых видов топлива и выброса тепловыми электростанциями огромного количества газов, вызывающих парниковый эффект и глобальное изменение климата.

Большое внимание было обращено в этой связи на твердотельные термоэлектрические преобразователи. Последние имеют ряд преимуществ перед традиционными электрическими генераторами: простота конструкции, отсутствие движущихся частей, бесшумность работы, высокая надёжность, возможность миниатюризации без потери эффективности. Они используются и в экологически чистых холодильных агрегатах, поскольку преобразование энергии с их помощью возможно в обоих направлениях. Однако сегодня обеспечиваемая термоэлектрическими устройствами эффективность преобразования ниже, чем у электрических генераторов или холодильников обычной конструкции, и поэтому они не получили широкого распространения в промышленности. В то же время имеется ряд областей применения, где их достоинства перевешивают их недостатки. Они используются как источники электричества на космических аппаратах и в наручных часах, применяются в портативных холодильных агрегатах в быту, в электронном, медицинском и научном оборудовании, в частности для охлаждения инфракрасных приёмников и оптоэлектронных устройств, и даже для кондиционирования сидений в автомобилях высшего класса. Однако для по-настоящему широких промышленных применений термоэлектрических преобразователей энергии необходимо существенное повышение их эффективности.

Цель работы: Разработать и создать лабораторный стенд для исследования тонкопленочных полупроводниковых образцов для преобразования тепловой энергии в электрическую энергию.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПО ТЕМЕ

1.1. Общие сведения о термоэлектрических явлениях

Термоэлектричество представляет собой совокупность явлений, в которых разность температур создаёт электрический потенциал, или электрический потенциал создаёт разность температур. В современном техническом использовании термин почти всегда относится вместе к эффекту Зеебека, эффекту Пельтье и эффекту Томсона (термоэлектрические явления). По своей этимологии термин «термоэлектричество» мог бы относиться в целом ко всем тепловым двигателям, используемым для генерации электричества, и всем электрическим нагревателям, производимым огромным числом способов, однако реально использование данного термина в таком широком смысле практически не встречается [1].

В последнее время термоэлектричество применяется все шире в таких устройствах как портативные холодильники, охладители электронных узлов, устройства сортировки металлических сплавов и т. д. Один из материалов, наиболее часто применяющихся в подобных устройствах – теллурид висмута Bi_2Te_3 , химическое соединение висмута и теллура [1].

В настоящее время есть две главные сферы, в которых термоэлектрические устройства могут использоваться для повышения эффективности использования энергии и/или снижения уровня загрязнения: преобразование отработанного тепла в пригодную для использования энергию и охлаждение [1].

Термоэлемент - электрическая цепь, составленная из двух или нескольких чередующихся проводников или полупроводников; если места соединений проводников поддерживать при разных температурах, то на концах цепи возникает ЭДС, а при замыкании цепи в ней протекает электрический ток (эффект Зеебека); и наоборот – при пропускании по цепи

электрического тока одни её контакты будут нагреваться, а другие – охлаждаться (эффект Пельтье).

Термоэлементы применяют преимущественно как тепловые измерительные преобразователи для измерения температуры либо других физических величин, измерение которых можно свести к температурным измерениям (напр., силы переменного электрического тока, скорости потока жидкости или газа, потока лучистой энергии и т. п.). Такие термоэлементы обычно состоят из двух проводников и называются термопарами. Места спаев термопар являются чувствительными элементами таких преобразователей, свободные концы термопары подключают к гальванометру, шкала которого градуируется в единицах измеряемых величин. Полупроводниковые термоэлементы – основа термоэлектрических генераторов, преобразующих теплоту (выделяющуюся при сжигании топлива, в результате радиоактивного распада или в виде солнечной радиации) в электрическую энергию.

Менее широко применяют термоэлементы в качестве источников тепла (выделяющегося на одних спаях проводников) или холода (на других спаях). Такие термоэлементы применяют в холодильниках, кондиционерах, термостатах и других подобных приборах.

Термоэлектрический эффект Зеебека

В 1821 Т.Зеебек отметил, что стрелка отклоняется, когда два стыка замкнутой электрической цепи, составленной из двух разных проводящих материалов, поддерживаются при разной температуре. Зеебек сначала полагал, что это чисто магнитный эффект. Но впоследствии стало ясно, что разность температур вызывает появление электрического тока в цепи (рис. 1.1). Важной характеристикой термоэлектрических свойств материалов, составляющих цепь, является напряжение на концах разомкнутой цепи (т.е. когда один из стыков электрически разъединен), так как в замкнутой цепи ток и напряжение зависят от удельного электросопротивления проводов. Это

напряжение разомкнутой цепи $V_{AB}(T_1, T_2)$, зависящее от температур T_1 и T_2 спаев (рис. 1.2), называется термоэлектрической электродвижущей силой (термо-ЭДС). Зеебек заложил основы для дальнейших работ в области термоэлектричества, измерив термо-ЭДС широкого круга твердых и жидких металлов, сплавов, минералов и даже ряда веществ, ныне называемых полупроводниками [2].

Электротермический эффект Пельтье.

В 1834 французский часовщик Ж.Пельтье заметил, что при прохождении тока через спай двух разных проводников температура спаива изменяется. Как и Зеебек, Пельтье сначала не усмотрел в этом электротермического эффекта. Но в 1838 Э.Х.Ленц, член Петербургской академии наук, показал, что при достаточно большой силе тока каплю воды, нанесенную на спай, можно либо заморозить, либо довести до кипения, изменяя направление тока. При одном направлении тока спай нагревается, а при противоположном – охлаждается. В этом и состоит эффект Пельтье (рис. 1.3), обратный эффекту Зеебека [2].

Электротермический эффект Томсона

В 1854 У.Томсон (Кельвин) обнаружил, что если металлический проводник нагревать в одной точке и одновременно пропускать по нему электрический ток, то на концах проводника, равноудаленных от точки нагрева (рис. 1.4), возникает разность температур. На том конце, где ток направлен к месту нагрева, температура понижается, а на другом конце, где ток направлен от точки нагрева, – повышается. Коэффициент Томсона – единственный термоэлектрический коэффициент, который может быть измерен на однородном проводнике. Позднее Томсон показал, что все три явления термоэлектричества связаны между собой уже упоминавшимися выше соотношениями Кельвина [2].

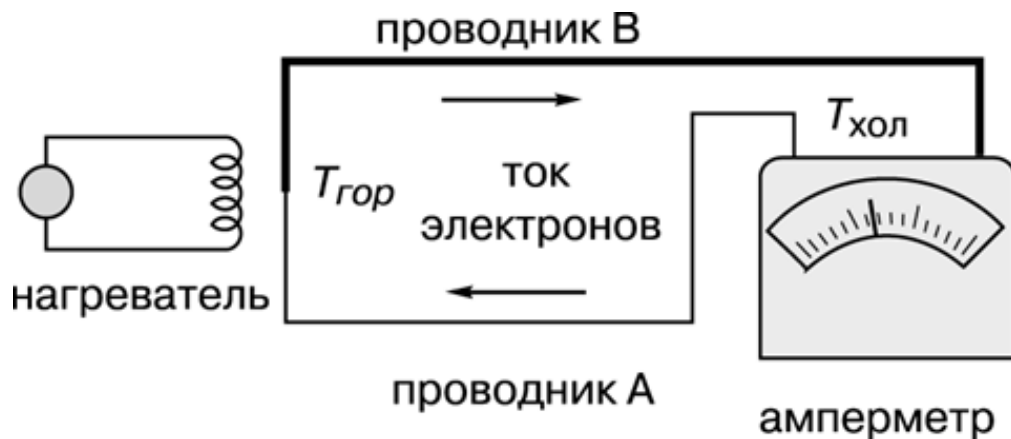


Рис. 1.1. Термоэлектрический эффект Зеебека. Разность температур в соединениях проводников А и В вызывает появление тока в замкнутой цепи, направление тока зависит от того, для какого из проводников удельная термо-ЭДС больше по абсолютной величине. Сила тока зависит от разности температур, удельная термо-ЭДС обоих проводников и от их удельных сопротивлений [2].

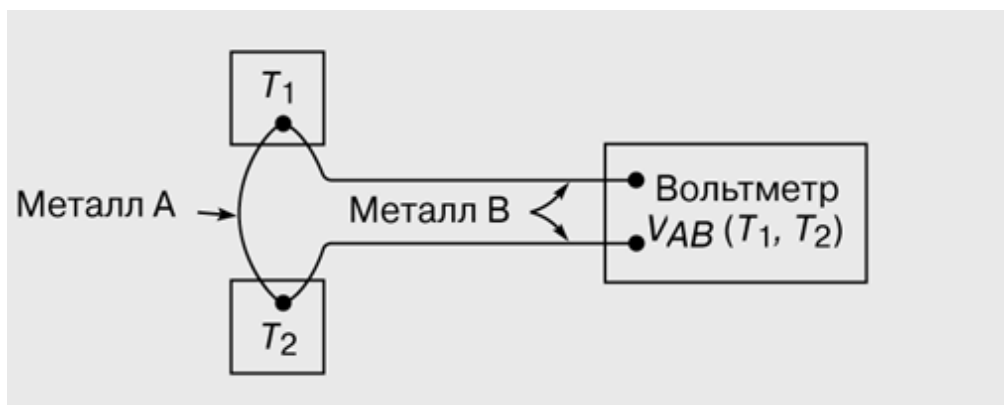


Рис. 1.2. Термопара. При разных температурах спаев двух проводников А и В возникает напряжение на концах разомкнутой цепи термо-ЭДС термопары. Знак термо-ЭДС зависит от того, для какого из проводников больше по абсолютной величине удельная термо-ЭДС. Величина термо-ЭДС [2] термопары зависит от разности температур и от удельных термо-ЭДС обоих проводников.

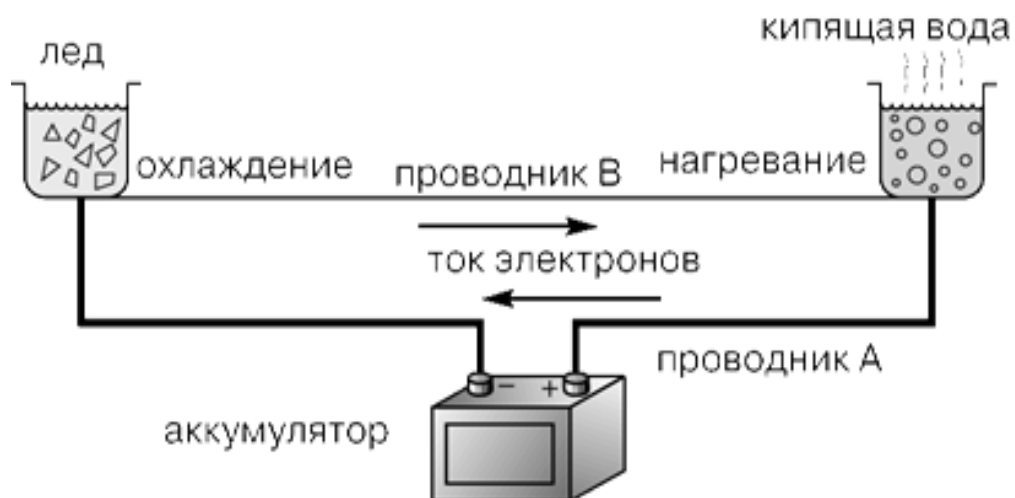


Рис. 1.3. Электротермический эффект Пельтье, обратный эффекту Зеебека [2].



Рис. 1.4. Электротермический эффект Томсона. При пропускании тока через проводник, нагреваемый в средней точке, один его конец немного нагревается, а другой слегка охлаждается – это зависит направления тока в цепи [2].

Термопара.

Если материалы цепи рис. 1.2 однородны, то термо-ЭДС зависит только от выбранных материалов и от температур спаев. Это экспериментально установленное положение, называемое законом Магнуса, лежит в основе применения т.н. термопары – устройства для измерения температуры, которое имеет важное практическое значение.

Если термоэлектрические свойства данной пары проводников известны и один из спаев (скажем, с температурой T_1 на рис. 1.2) поддерживается при точно известной температуре (например, 0°C , точке замерзания воды), то термо-ЭДС пропорциональна температуре T_2 другого спаея. Термопарами из платины и платино-родиевого сплава измеряют температуру от 0 до 1700°C , из меди и многокомпонентного сплава константана – от 160 до $+380^\circ \text{C}$, а из золота (с очень малыми добавками железа) и многокомпонентного хромеля – до значений, лишь на доли градуса превышающих абсолютный нуль (0 K , или $273,16^\circ \text{C}$) [2].

Термо-ЭДС металлической термопары при разности температур на ее концах, равной 100°C , – величина порядка 1 мВ . Чтобы повысить чувствительность измерительного преобразователя температуры, можно соединить несколько термопар последовательно (рис. 1.5). Получится термобатарея, в которой один конец всех термопар находится при температуре T_1 , а другой – при температуре T_2 . Термо-ЭДС батареи равна сумме термо-ЭДС отдельных термопар [2].

Поскольку термопары и их спаи могут быть выполнены небольшими и их удобно использовать в самых разных условиях, они нашли широкое применение в устройствах для измерения, регистрации и регулирования температуры [2].

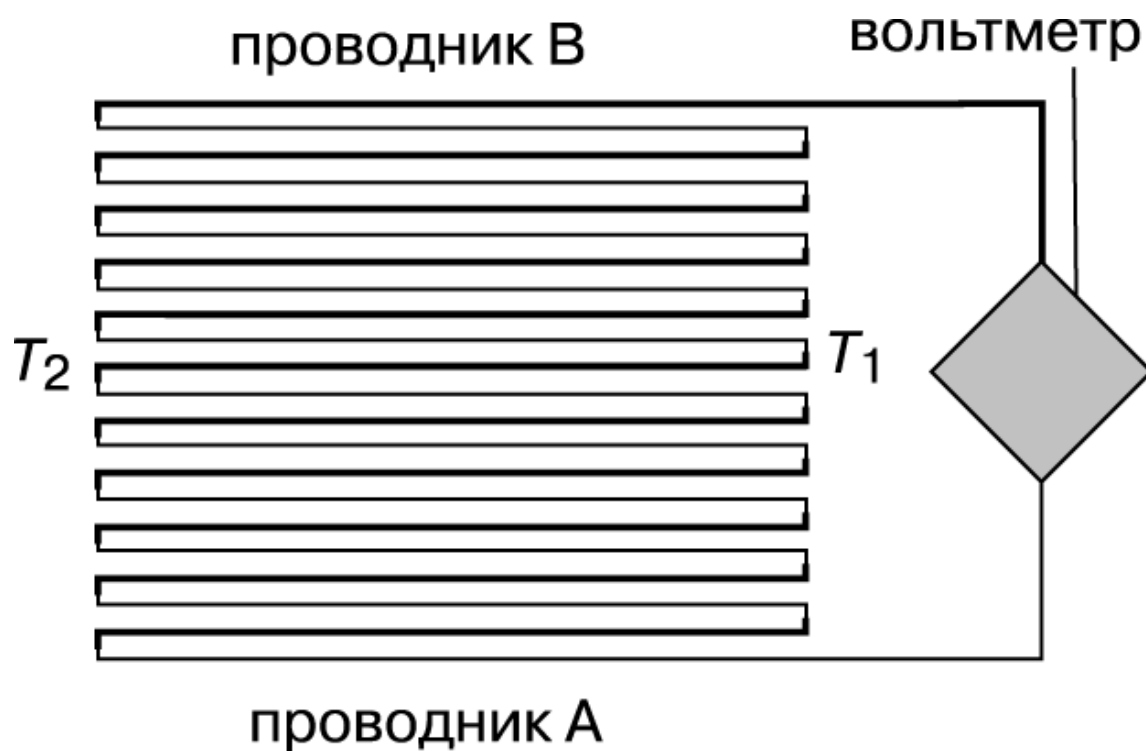


Рис. 1.5. Термобатарея из n одинаковых термоэлементов, соединённых последовательно. Термо-ЭДС одного термоэлемента [2].

1.2. Термоэлектрические преобразователи на основе металлов и полупроводников

Эффект Зеебека обычно легче других термоэлектрических эффектов поддается надежным измерениям. Поэтому его обычно и используют для измерения термоэлектрических коэффициентов неизвестных материалов. Поскольку термо-ЭДС определяется свойствами обеих ветвей термопары, одна ветвь должна быть из некоего «опорного» материала, для которого известна «удельная» термо-ЭДС (термо-ЭДС на один градус разности температур).

Если одна ветвь термопары находится в сверхпроводящем состоянии, то ее удельная термо-ЭДС равна нулю и термо-ЭДС термопары определяется величиной удельной термо-ЭДС другой ветви. Таким образом, сверхпроводник – идеальный «опорный» материал для измерения удельной термо-ЭДС неизвестных материалов. До 1986 самая высокая температура, при которой металл можно было поддерживать в сверхпроводящем состоянии, составляла лишь 10 К (263 °С). В настоящее время сверхпроводники можно использовать приблизительно до 100° К (173 °С). При более высоких температурах приходится проводить измерения с несверхпроводящими опорными материалами. До комнатной и несколько более высоких температур опорным материалом обычно служит свинец, а при еще более высоких – золото и платина [3].

Эффект Зеебека в металлах имеет две составляющие – одна из них связана с диффузией электронов, а другая обусловлена их фононным увлечением. Диффузия электронов вызывается тем, что при нагревании металлического проводника с одного конца на этом конце оказывается много электронов с высокой кинетической энергией, а на другом – мало. Электроны с высокой энергией диффундируют в сторону холодного конца до тех пор, пока дальнейшей диффузии не воспрепятствует отталкивание со стороны избыточного отрицательного заряда накопившихся здесь электронов. Этим

накоплением заряда и определяется компонента термо-ЭДС, связанная с диффузией электронов.

Компонента, связанная с фононным увлечением, возникает по той причине, что при нагревании одного конца проводника на этом конце повышается энергия тепловых колебаний атомов. Колебания распространяются в сторону более холодного конца, и в этом движении атомы, сталкиваясь с электронами, передают им часть своей повышенной энергии и увлекают их в направлении распространения фононов – колебаний кристаллической решетки. Соответствующим накоплением заряда определяется вторая компонента термо-ЭДС [3].

Оба процесса (диффузия электронов и их фононное увлечение) обычно приводят к накоплению электронов на холодном конце проводника. В этом случае удельная термо-ЭДС по определению считается отрицательной. Но в некоторых случаях из-за сложного распределения числа электронов с разной энергией в данном металле и из-за сложных закономерностей рассеяния электронов и колеблющихся атомов в столкновениях с другими электронами и атомами электроны накапливаются на нагреваемом конце, и удельная термо-ЭДС оказывается положительной. Наибольшие термо-ЭДС характерны для термопар, составленных из металлов с удельными термо-ЭДС противоположного знака. В этом случае электроны в обоих металлах движутся в одном и том же направлении [3].

В 1920–1930-х годах ученые обнаружили ряд материалов с низкой проводимостью, ныне называемых полупроводниками, удельные термо-ЭДС которых в тысячи раз больше, чем у металлов. Поэтому полупроводники в большей степени, чем металлы, подходят для изготовления термобатарей, от которых требуются большие термо-ЭДС либо интенсивное термоэлектрическое нагревание или охлаждение. Как и в случае металлов, термо-ЭДС полупроводников имеют две составляющие (связанные с диффузией электронов и с их фононным увлечением) и могут быть

отрицательными или положительными. Наилучшие термобатареи получаются из полупроводников с термо-ЭДС противоположного знака [3].

1.3. Приборы и оборудования для исследования теплопреобразователя

Термоэлектрические приборы.

Если создать хороший тепловой контакт одной группы спаев термобатареи с каким-либо источником теплоты, например небольшим количеством радиоактивного вещества, то на выходе термобатареи будет вырабатываться напряжение. КПД преобразования тепловой энергии в электрическую в таких термоэлектрических генераторах достигает 16–17% (для паротурбинных электростанций тепловой КПД составляет 20–40%). Термоэлектрические генераторы находят применение в удаленных точках на Земле (например, в Арктике) и на межпланетных станциях, где от источника питания требуются большая долговечность, малые размеры, отсутствие движущихся механических деталей и пониженная чувствительность к условиям окружающей среды [3].

Можно также, присоединив к зажимам термобатареи источник тока, пропускать через ее термоэлементы ток. Одна группа спаев термобатареи будет нагреваться, а другая – охлаждаться. Таким образом, термобатарею можно использовать либо как термоэлектрический нагреватель (например, для бутылочек с детским питанием), либо как термоэлектрический холодильник [3].

1.4. Тепловольтаический эффект в плёночных полупроводниковых структурах

В [4, 5] сообщалось об экспериментальном обнаружении нового

явления, возникающего в областях межзеренных границ поликристаллических кремниевых (ПК) солнечных элементов (СЭ) при их нагреве - так называемых, примесных вольтайческих эффектах, а именно, примесного тепловольтаического (ПТВ) и примесного теплофотовольтаического (ПТФВ), в той или иной степени теоретически предсказываемых в ряде работ [6 – 8]. Практическое использование этих эффектов, вызывающих появление тока в р-п структуре за счет поглощения субзонных фотонов, в перспективе, возможно, позволит повысить эффективность использования солнечной энергии, а также создать принципиально новые типы преобразователей на основе дешевого кремниевого сырья субполупроводниковой чистоты [4, 9].

Проявление примесных вольтайческих эффектов до настоящего времени наблюдалось только в структурах из поликристаллического кремния (ПК) [4, 5, 9], причем ПК в [4, 5] содержал глубокие примеси, поскольку изготавливался методом прямого литья в графитовые изложницы расплава отходов кремниевой металлургии и эпитаксии, а в [9] был получен переплавкой технического кремния, а также, априори, содержал глубокие примеси. Наличие глубоких примесей в исходном сырье и их сегрегация при кристаллизации ПК на границы зерен, сопровождающаяся значительным повышением их концентрации, локализованным вдоль упомянутых границ, позволяет создать условия для проявления (ПТВ) и (ПФТВ) эффектов, заключающиеся в обеспечении равенства концентраций фото или теплогенерированных носителей тока с концентрацией глубоких примесей. Нетрудно заметить, что обеспечение такого соответствия концентраций в монокристаллическом кремнии (МК) обычными методами легирования невозможно из-за ограничений по пределу растворимости примесей, дающих глубокие уровни.

Получить же МК структуру со столь высокой концентрацией глубоких примесей очень важно, так как это позволило бы в более простых условиях, чем ситуация на МЗГ ПК рассмотреть процессы генерации носителей тока с

участием глубоких примесей. Это позволяет приблизить управляемое и воспроизводимое создание условий получения приборных структур, работа которых основана на тепловольтаических эффектах.

Однако, известны технологические приемы и природные процессы, происходящие, например, при эксплуатации СЭ в космосе [10], воздействие которых приводит к возникновению в значительных концентрациях, как в объеме, так и на поверхности СЭ, дефектов, дающих глубокие энергетические уровни. Так, наведенные космической радиацией дефекты, являясь эффективными рекомбинационными центрами, резко снижают энергетические характеристики СЭ или даже выводят их строя, что указывает на факт сопоставимости или даже превышения плотности дефектов над концентрацией фотогенерированных носителей тока.

Исходя из этого, нами предложено преодолеть ситуацию с упомянутыми ограничениями по обеспечению в МК больших концентраций глубоких уровней двумя способами:

- дополнительным легированием n^+ -р МК структур внедрением щелочных металлов (ЩМ) со стороны р-п перехода методом ионной имплантации (ИИ), без последующего проведения отжига радиационных дефектов;

- облучением n^+ -р МК структур быстрыми электронами с $E \sim 1$ МэВ и дозой $D=10^{15}$ см⁻², также без операции отжига наведенных дефектов.

На рис. 1.6 приведены температурные зависимости темнового тока в процессе нагрева (—◇—) и остывания (—△—) МК n^+ -р СЭ, дополнительно легированного методом ИИ калием. Кривая (—×—) иллюстрирует исходный n^+ -р СЭ, не подвергавшийся ИИ, представляющий собой n^+ -р структуру, в которой р-п переход сформирован диффузией фосфора на глубину ~ 1 мкм в МК подложке (111) с удельным сопротивлением ~ 1 Ом-см, т.е., по сути, являющейся заготовкой для стандартного СЭ до операции создания просветляющего покрытия. Видно, что темновой ток в контрольных образцах (—×—) практически не генерируется во всем температурном диапазоне. Нагрев

МК СЭ, дополнительно легированного ИИ ЩМ, сопровождается, начиная с температуры ~ 60 °С, сначала медленным, а затем резким ростом тока, достигающего в максимуме при ~ 180 °С величины ~ 80 мкА. Последующий нагрев до 240 °С ведет к снижению тока. При остывании обработанных ИИ образцов ($\rightarrow\triangleleft$) изменение тока идет по близкой, но всё-таки, не совпадающей с ранее описанной кривой ($\rightarrow\diamond$), иллюстрирующей изменение тока в процессе нагрева. Отличие хода кривых температурного изменения темнового тока при нагреве и охлаждении образцов наблюдалось в намного более ярком проявлении и ранее [11] у ПК СЭ и объясняется нами возникновением объемных зарядов, разделяемых р-п переходом, теплогенерируемых носителей тока. Таким образом, нетривиальный ход кривых ($\rightarrow\diamond$; $\rightarrow\triangleleft$) на рис. 1.6., указывающих на генерацию темнового тока, является доказательством проявления ПТВ эффекта в МК СЭ с дополнительной ИИ ЩМ.

Очевидно, что легирование ЩМ, проводимое с помощью ИИ, сопровождается радиационными нарушениями кристаллической решетки и ведет к появлению, наряду с мелкими, намеренно создаваемыми введением ЩМ, и глубоких энергетических уровней в МК СЭ, концентрация которых чрезвычайно высока, поскольку энергетические характеристики образцов после ИИ существенно ухудшаются, вплоть до деградации [10]. Темновое напряжение, U_{xx} , у этих образцов растет с температурой, но по абсолютной величине невелико и составляет, например, при 150 °С всего $\sim 0,5$ мВ.

Экспериментальным доказательством проявления ПТФВ эффекта являются данные, приведенные на рис. 1.7., иллюстрирующие изменение фототока у нагреваемых ($\rightarrow\diamond$) и остывающих ($\rightarrow\triangleleft$) МК СЭ, подвергнутых легированию ЩМ методом ИИ. Температурные зависимости фототока снимали по методике ТИСЛ [12], которая использовалась и при изучении ПТВ и ПТФВ эффектов на ПК СЭ [4, 5], то есть путем локальной засветки поверхности МК СЭ в процессах его нагрева и остывания.

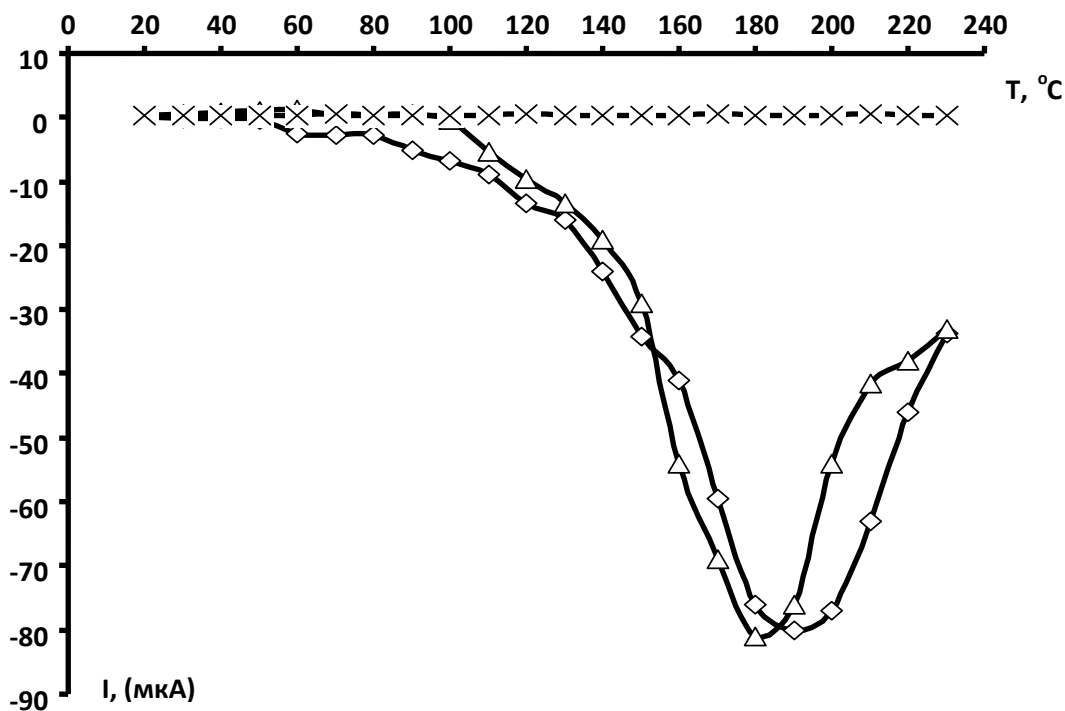


Рис. 1.6. Температурное изменение темнового тока МК СЭ n^+ -р структуры, дополнительно легированной ЦМ методом ИИ: \blacklozenge - рост температуры; \blacktriangle - остывание образца; $\text{-}\times\text{-}$ - МК n^+ -р структура без ИИ ЦМ.

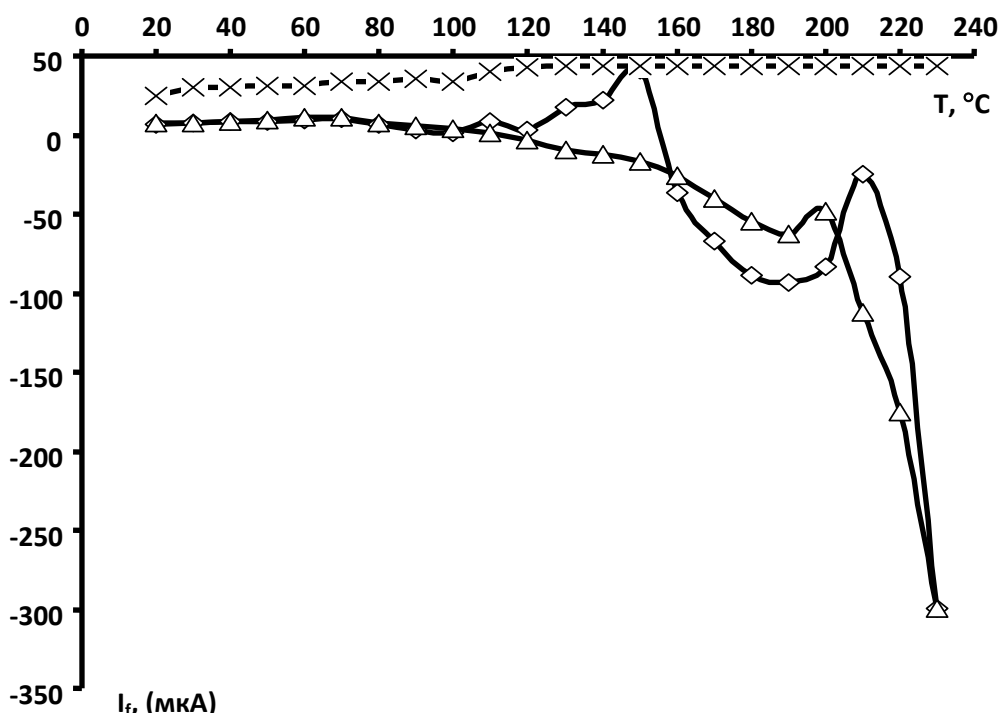


Рис. 1.7. Температурные зависимости тока МК n^+ -р структур для СЭ при локальной засветке поверхности: \blacklozenge - рост температуры, \blacktriangle - остывание образца, $\text{-}\times\text{-}$ - МК СЭ без ИИ ЦМ.

Из рис. 1.7. видно, что температурные изменения тока у контрольного (—×—) и дополнительно легированных ИИ ЩМ СЭ принципиально отличаются, а именно:

- фототок у контрольного образца монотонно слабо растет с ростом температуры, в соответствии с известными литературными данными, в том числе, приведенными нами в [5, 10] для МК СЭ с КПД -12 % при $P_0=0,1$ Вт/см и 20 °С, причем кривые при подъеме температуры и остывании образца совпадают;

- фототок у нагреваемого образца (—◇—), изначально являвшегося аналогом контрольному, но подвергнутого дополнительному легированию ЩМ методом ИИ, растет немонотонно, имеет области с изменением направления и при температурах выше 200 °С достигает величин, намного превышающих темновой ток;

- фототок у остывающего (—△—) образца изменяется с температурой, не в полной мере повторяя кривую его изменения при нагреве (—◇—).

- В частности, пик при 180 °С меньше на ~ 40 мкА, а изменение направления тока происходит однократно при ~ 100 °С, изменение тока в диапазоне 180÷200 °С монотонно, без явных пиков, наблюдаемых при нагреве образца при $T \sim 140$ °С;

- величина фототока при температурах ≥ 200 °С у облученного образца почти на порядок выше, чем у контрольного, и отличается направлением. Ранее нами наблюдался [10, 12, 13] так называемый «дуализм» спектральной характеристики ПК структур, обусловленный попеременно превалирующими друг над другом при изменении длины волны излучения вкладками в величину фототока участков p-n перехода, сформированных у зерен и у межзеренных границ.

В данном случае перемена направления фототока происходит при нагреве образца до определенных температур и обусловлена другой физической причиной, а именно, проявлением ПТФВ эффекта. На это указывает и несопоставимость абсолютных величин токов у контрольного и

облученного образцов, а также темнового тока и фототока.

Важно отметить воспроизводимость результатов. Характер хода кривых похож у всех образцов, легированных, соответственно, одним и тем же конкретным ЦМ. При охлаждении образца до 20 °С и повторном нагреве ход кривой изменения фототока подобен или совпадает с наблюдавшимся в предыдущем процессе нагрева. Совпадение хода кривых температурного изменения тока наблюдается и в процессах остывания образцов.

Как упоминалось, другим способом моделирования ситуации в МК, аналогичной возникающей в ПК с глубокими примесями на границах зерен, было использование нами облучения образцов быстрыми электронами.

Радиационные дефекты создавали облучением МК n^+ -р структур электронами с энергией $E=1$ МэВ и дозой $D=10^{15}$ см⁻², выбор которых основывался на опыте исследований радиационной стойкости СЭ различного типа [10], с использованием методик [13]. В качестве исходного материала использовали n^+ -р структуры, выполненные диффузией фосфора на МК р-типных подложках (111), площадью $S = 1$ см², с удельным сопротивлением ~ 1 Ом-см, с омическими контактами: тыльным - сплошным и фронтальным - сетчатым, с шагом 2,5 мм, материал которых представлял собой напыленную через маски композицию Ti-Ni-Cu или Ni-Cu без последующего облуживания. На облученных и контрольных образцах вели измерение темновых токов и напряжений при нагреве - остывании образцов с заданными скоростями в диапазоне температур 20÷250 °С и при локальной засветке части их поверхности по методике ТИСЛ [12].

На рис. 1.8. приведены кривые, иллюстрирующие изменение темнового тока у нагреваемых (\blacktriangle) и охлаждаемых (\blacklozenge) облученных электронами МК n^+ -р структур и у контрольной (\blacktimes) такой же, но не облученной структуры. Видно, что в отличие от контрольного образца (\blacktimes), ток в котором ни при нагреве, ни при охлаждении не генерируется, облученные структуры вырабатывают ток во всём диапазоне нагрева, что особенно заметно по достижении температур выше 140°С. Например, при $\sim 220^\circ\text{C}$ ток достигает

~170 мкА. Необходимо, отметить, что максимальные различия между величинами тока при одной и той же температуре при нагреве и остывании образца не превышают 10 мкА, а кривые изменения тока имеют плавный характер. Это кардинально отличает облученные электронами МК n^+ -р структуры от ПК n^+ -р структур, кривые изменения темнового тока у которых в процессах нагрева и охлаждения существенно отличаются, имеют несовпадающие участки с пиками и провалами, а также участки, в которых имеет место изменение направления тока [4, 5]. Упомянутые различия, на наш взгляд, не случайны и обусловлены тем, что радиационные дефекты, наведенные облучением электронами, по-видимому, имеют более однородную пространственно-энергетическую локализацию в объеме МК n^+ -р структуры, тогда как в ПК образце, ПТВ эффект реализуется в условиях суперпозиции:

- влияния зерен, имеющих разные размеры, разную конфигурацию и протяженность границ;
- разнообразие скоплений различных глубоких примесей;
- неоднородности распределения примесей на межзеренных границах.

Это в отличие от МК n^+ -р структур сопровождается тем, что проявление ПТВ эффекта происходит в условиях работы не одного, и даже не группы, а целого спектра глубоких энергетических уровней, что обуславливает и предопределяет более сложный характер температурного изменения темнового тока, генерируемого за счет преобразования тепловой энергии.

Подтверждением правильности приведенного объяснения является сопоставление хода кривых на рис. 1.6. и 1.8. Видно, что температурное изменение темнового тока у структур дополнительно легированных ИИ ЩМ (рис. 1.6.) имеет более сложный характер, чем у тех же структур, облученных быстрыми электронами (рис. 1.8.). Это, очевидно, вызвано тем, что ионное внедрение ЩМ приводит к нарушениям решетки МК, сопровождающимся появлением большего числа глубоких уровней, чем облучение электронами с небольшим разбросом энергий в пучке.

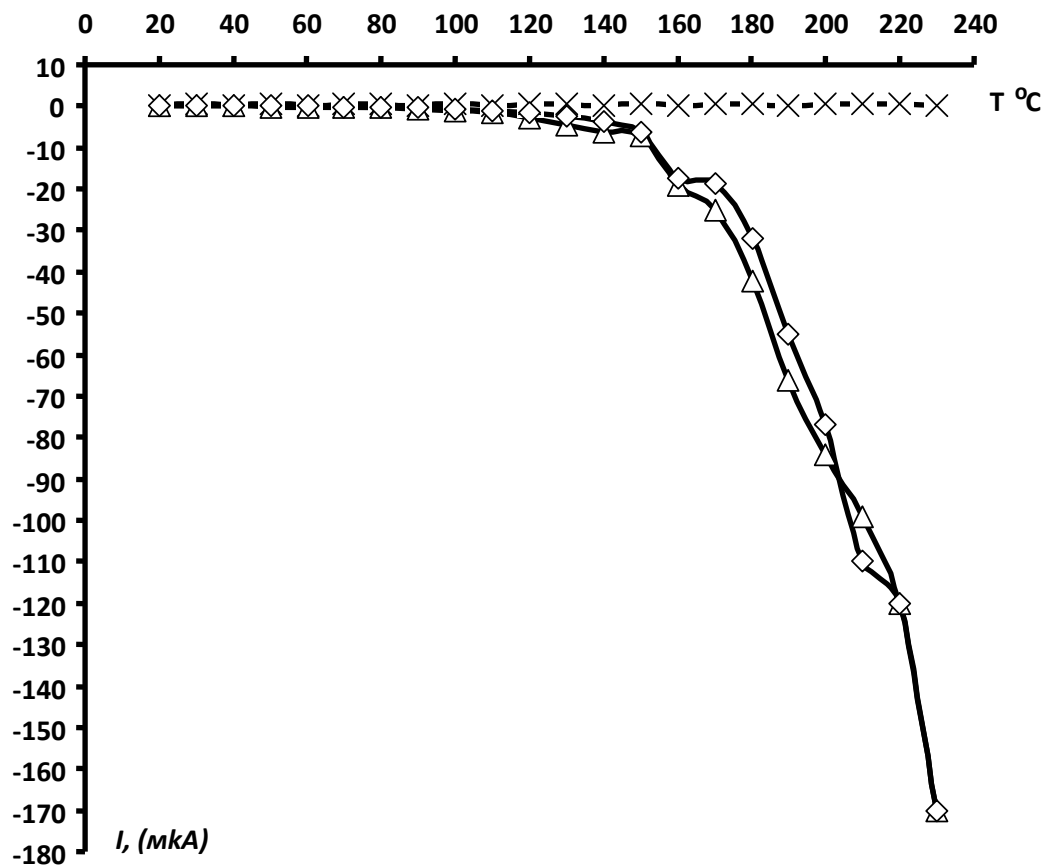


Рис. 1.8. Изменение темнового тока МК n^+ -р структуры, подвергнутой облучению электронами в зависимости от температуры: \blacktriangle - рост температуры, \blacklozenge - охлаждение образца, \times - контрольный необлученный образец.

Косвенное подтверждение изложенного исходит из сопоставления кривых температурного изменения темнового тока у структур, легированных различными ЦМ, из которого следует, что сложность хода кривой соответствует массе ионов, т.е. внедрение более массивных ионов ЦМ приводит к более серьезным нарушениям и, соответственно, к большему разнообразию энергетической структуры глубоких уровней.

Кривая температурного изменения темнового напряжения, U_{xx} , отличается сложностью, наличием множества пиков и провалов, однако по абсолютной величине также, как и в случае образцов, легированных ИИ ЦМ, U_{xx} , например, при 100 °С, не превышает 0,5 мВ.

На рис. 1.9. приведены температурные зависимости фототока, возникающего в необлученной (-×-) и облученной электронами (—◇—) МК n^+ -р структурах при локальной засветке части их поверхности. Засветка проводилась монохроматическим излучением $\lambda \sim 0.88$ мкм, диаметр пятна засветки ~ 150 мкм, набор статистики вели по 8 местам засветки на поверхности образцов, свободных от шин омических контактов.

Видно, что фототок у необлученной МК n^+ -р структуры монотонно, медленно растет во всем диапазоне температур, совпадая по направлению с фототоком при эксплуатации этого СЭ, то есть засветке всей поверхности натурным солнечным излучением и с коэффициентом, характерным для МК СЭ [10]. Изменение фототока у облученного образца принципиально отличается протеканием тока в диапазоне температур 50÷160°С в направлении, противоположном течению тока при 20°С и, соответственно, течению тока у контрольного образца с резким его увеличением в диапазоне 180÷250 °С, и достижением величины ~ 800 мкА например, при ~ 230 °С, что \sim в двадцать раз превышает фототок, наблюдаемый у необлученного образца, в пять раз - темновой ток при той же температуре, и в сотни раз - фототок у обоих образцов при 20 °С.

Как и в случае темнового тока (рис. 1.8.), обусловленного ПТВ эффектом, температурное изменение фототока у облученной электронами МК

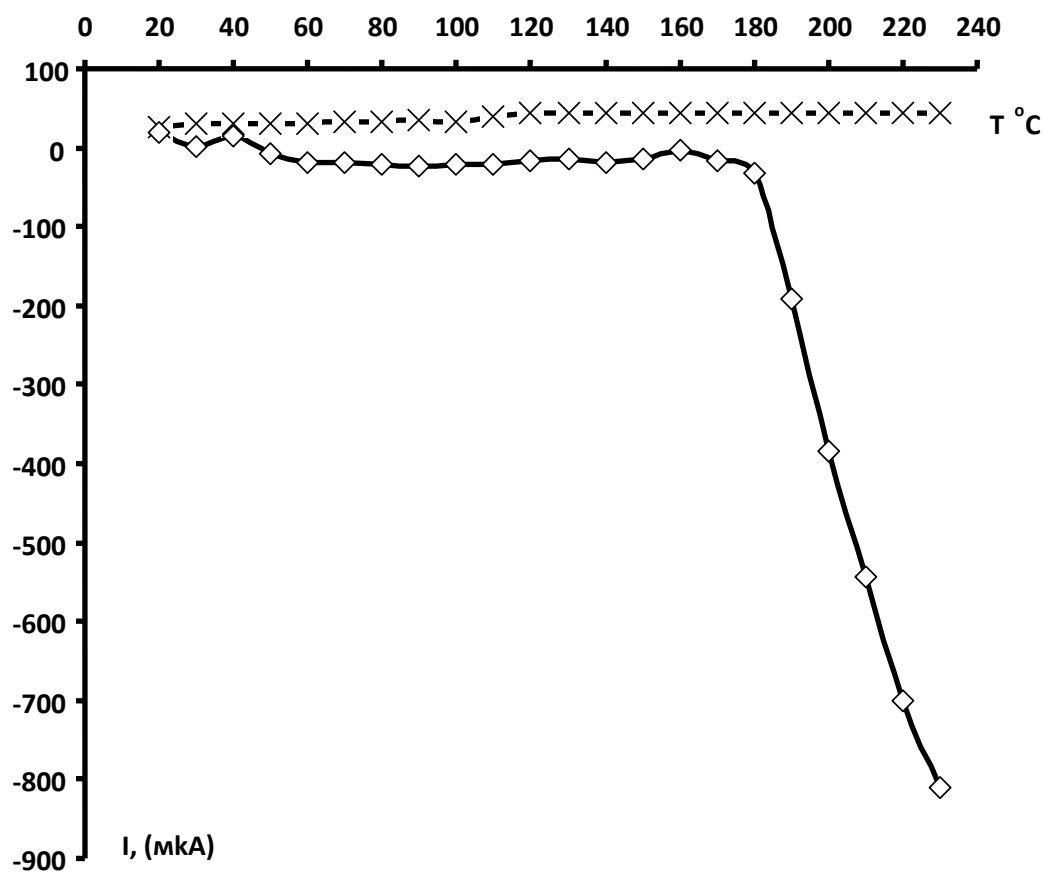


Рис. 1.9. Температурные зависимости фототока при локальной засветке, облученной электронами ($\text{--}\diamond\text{--}$) и контрольной ($\text{--}\times\text{--}$) МК $n^+ \text{-} p$ структур.

n^+ -р структуры, обусловленного, в свою очередь, проявлением ПТФВ эффекта, имеет более плавный характер по сравнению с фототоками, наблюдаемыми при нагреве и локальной засветке ПК [4, 5] и МК образцов структур с ИИ ЩМ (рис. 1.7.). Это обстоятельство также, по-видимому, вызвано более простой энергетической структурой глубоких примесных уровней в МК образцах, подвергнутых обработке быстрыми электронами, по сравнению с их ПК аналогами [14] и образцами, с внедренными ИИ ЩМ [13].

Дополнительным подтверждением изложенного являются результаты измерений СЭ, выполненных на основе эпитаксиальных слоев, осажденных на подложки с размерами зерен $0,2 \div 0,5$ см, нарезанные из двойниковых или крупноблочных ПК из ПК слитков, полученных вытягиванием по Чохральскому из расплава шихты, в которую было намеренно добавлено ~ 10 % технического кремния марки Кр00 с почти 1 % - ным содержанием глубоких примесей, в том числе, до 0,15 % глубокой примеси Fe. Температурные зависимости фототока у этих образцов отличаются от таковых, снятых на МК СЭ и ПК СЭ без глубоких примесей тем, что они не монотонны и имеют чередующиеся области с пиками и провалами по аналогии с температурным ходом тока короткого замыкания в [15], где были впервые исследованы подобные структуры, но полученные результаты интерпретировались другими механизмами.

Резюмируя изложенное, можно, утверждать, что сложность хода температурных кривых у образцов увеличивается в ряду: МК, ПК с пассивацией границ зерен \rightarrow МК, облученный электронами, \rightarrow МК, легированный ЩМ, \rightarrow двойниковые или крупноблочные ПК структуры с добавками технического кремния \rightarrow среднезернистые ПК с глубокими примесями \rightarrow мелкозернистые ПК на основе вторичного кремния.

Полученные на МК результаты расширяют технологические возможности получения структур с проявлениями примесных вольтаических эффектов и приближают их приборное воплощение. Кроме того, МК

структуры с наведенными ИИ и радиацией дефектами могут использоваться в качестве более простых моделей при изучении примесных вольтаических эффектов в ПК структурах.

Интересно отметить, что один из факторов воздействия космической радиации, роль которого сводилась к выведению из строя солнечных батарей космических аппаратов, впервые рассмотрен в качестве технологического, т.е. приема, который, в принципе, может быть применен в будущем непосредственно в открытом космосе, для создания полупроводниковых приборов и преобразователей энергии, работа которых основана на примесных вольтаических эффектах. Широта возможностей этого приема иллюстрируется таблицей 1.1, где приведены данные по радиационному воздействию на энергетические характеристики МК и ПК n^+ -р структур при их облучении быстрыми электронами

Таблица 1.1.

Изменение вырабатываемой мощности МК и ПК n^+ -р структур при электронном облучении с $E = 1$ МэВ

Доза облучения, $D, \text{см}^{-2}$	Падение максимальной мощности, %	
	МК	ПК
10^{13}	25	не определяли
10^{14}	40	31
10^{15}	70	41
10^{16}	85	55

Видно, что облучение быстрыми электронами приводит к деградации параметров СЭ. например, при дозе 10^{15} см^{-2} максимальная мощность МК структур, снятая в условиях АМ 1,5 падает на 70 %, а ПК структур на 41 % от исходных значений, составляющих $14,25 \text{ мВт/см}^2$ для МК и $9,69 \text{ мВт/см}^2$ для ПК n^+ -р структур.

Таким образом, доза электронного облучения уже на уровне $\sim 10^{15} \text{ см}^{-2}$ оказывается достаточной для наведения в ПК и, тем более, в МК $n^+ - p$ структурах глубоких уровней, в количестве, достаточном для захвата половины, в первом случае, или почти всех γ во втором, фотогенерированных при $P_0 = 0,1 \text{ Вт/см}^2$ и $20 \text{ }^\circ\text{C}$, в концентрации $10^{17} \div 10^{18} \text{ см}^{-3}$ носителей тока, а, значит, обеспечить проявление ПТВ и ПТФВ эффектов при сравнительно невысоких температурах.

1.5. Постановка задач

1. Освоить метод получения кремниевых пленочных $p-n$ структур термического испарения в условиях высокого вакуума.
2. Разработать и создать лабораторный стенд для исследования тонкопленочных полупроводниковых образцов для преобразования тепловой энергии в электрическую энергию.
3. Получить и представить результаты исследования тепловольтаического эффекта в кремниевых пленочных $p-n$ структурах в отсутствие градиента температуры. Показать, что при равномерном нагреве в отсутствие градиента температуры на данных пленочных структурах возникает темновое напряжение холостого хода и происходит эффективная генерация носителей, что может быть использовано для создания эффективных преобразователей тепловой энергии в электрическую, включая нефотоактивную составляющую солнечного излучения..

ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ТЕПЛОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

2.1. Высоковакуумная установка для получения плёночных полупроводниковых структур

В [15] выдвинута и обоснована идея тепловольтаического преобразования, то есть создания преобразователей тепловой энергии (ПТЭ) с применением немоноткристаллического кремния. Одним из важнейших условий работы ПТЭ является необходимость введения в такой кремний примесей, дающих глубокие энергетические уровни в концентрации $\geq 10^{18}$ см⁻³. Первые экспериментальные результаты были получены именно на материалах, содержащих глубокие примеси, будь то вторичный литой поликремний [16] или технический кремний [17].

В [18, 19] было показано, что условием проявления тепловольтаического эффекта является только обеспечение достаточной концентрации глубоких уровней, превышающей 10^{18} см⁻³, а способ её создания - легированием глубокими примесями, уменьшением размеров зерен, наведением радиационных дефектов или сочетанием этих приемов - не имеет особого значения. Важно отметить, что приёмы, альтернативные легированию глубокими примесями, оказались более гибкими, позволили линеаризовать температурные зависимости темнового тока ($I_{кз}$) и напряжения ($U_{хх}$), не говоря уже о том, что величины этих показателей ПТЭ удалось поднять в сотни и тысячи раз [19] по сравнению с таковыми у первых опытных образцов. В [19] обоснована также целесообразность создания структур для ПТЭ применением молекулярно-ионных технологий, поскольку они наиболее легко обеспечивают управление параметрами наращиваемого кремниевого поликристалла.

Для экспериментальной проверки одного из этих выдвинутых положений, касающихся возможности проявления тепловольтаического

эффекта на плёночных кремниевых р-п-структурах, полученных в условиях, минимизирующих влияние легирующих примесей была разработана и испытана экспериментальная установка, описанная в [19].

Структуры для ПТЭ изготавливали на установке ионно-стимулированного вакуумного осаждения, схема которой приведена на рис. 2.1. Плёнки осаждали на подложках 1 испарением рабочего материала 4 при его разогреве электронным пучком до необходимых температур. Так, плёночные Si структуры с р-п переходом осаждали испарением монокристаллического кремния марок КДБ-0,4 или КЭФ-20 соответственно на поверхность подложек КЭФ-20 (111) и КДБ-40 (100). Температуру подложек варьировали в пределах от 750К до 1100К. Для обеспечения необходимой чистоты получаемой плёнки, то есть минимизации её загрязнения при осаждении примесей из остаточных газов был реализован режим осаждения с высокими скоростями ~ 1 мкм/мин. Время осаждения плёнок составляло в различных режимах всего от 1 до 5 мин, что при вакууме не хуже 10^{-6} Торр являлось достаточным для обеспечения необходимой степени их чистоты по неконтролируемым примесям, суммарная концентрация которых, по нашей оценке, не превышала в конечном продукте $\sim 10^{14}$ см $^{-3}$. Конструкция установки позволяла при помощи ионизатора 3 изменять степень ионизации осаждаемого потока, а также варьировать энергию бомбардирующих ионов [20, 21].

Проведённые по стандартной методике микроскопические исследования показали, что плёнки однородны, а толщины осаждаемых плёнок лежат в пределах от 2 до 10 мкм. Максимальная концентрация мелкой легирующей примеси (бора) была в источнике на основе КДБ-0,4 и составляла $\sim 4,5 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$. Примеси, дающие глубокие уровни, как в источнике, так и в подложке и на поверхности разогретых частей технологической аппаратуры, исключались, а содержание растворённого в кремниевых исходных материалах кислорода и углерода намеренно минимизировалось выбором кремния из соответствующей серии плавок,

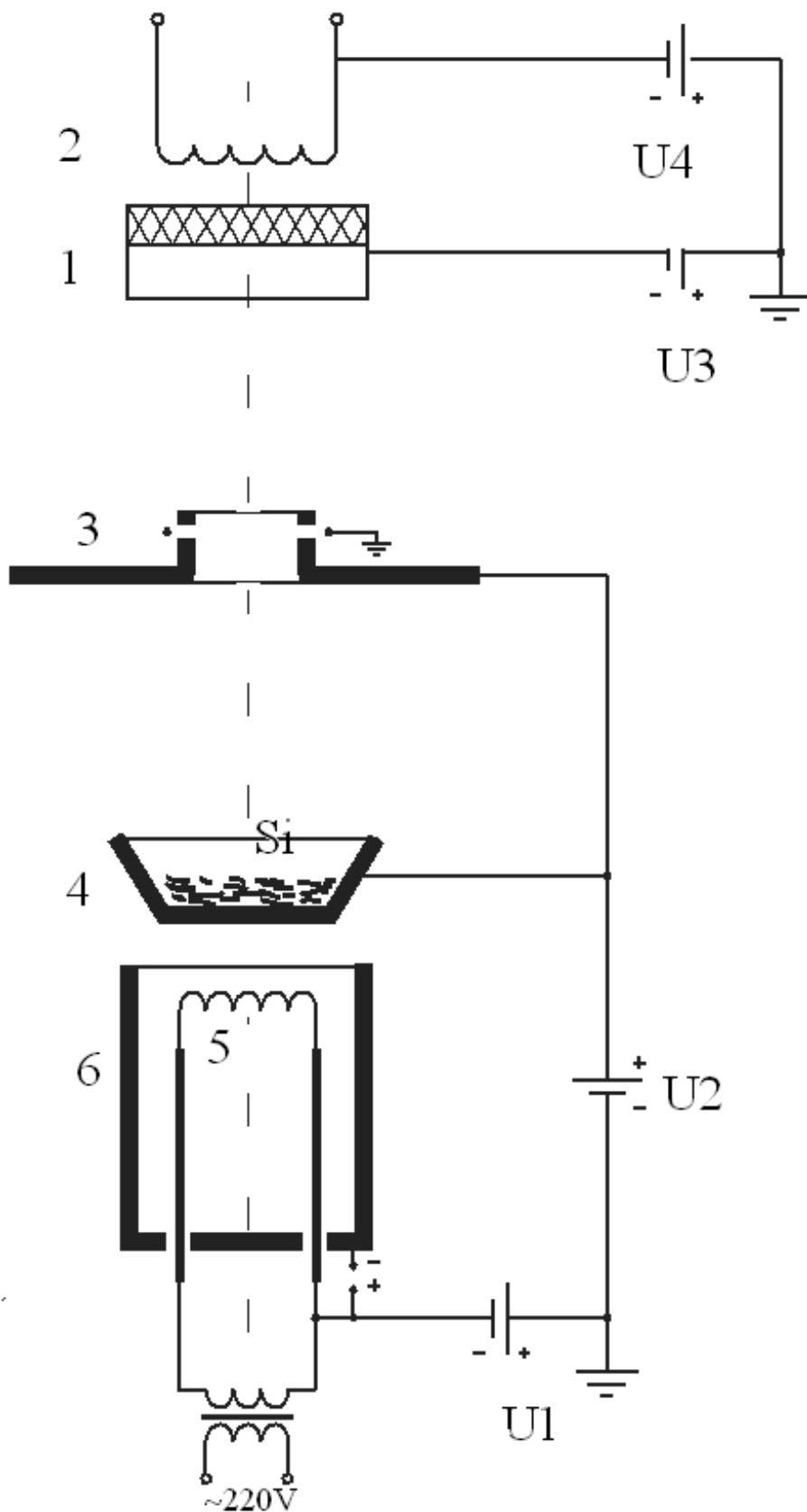


Рис. 2.1. Структурная схема установки ионно-стимулированного вакуумного осаждения плёнок: 1 - держатель подложек; 2,5 – катоды системы нагрева; 3 – ионизатор; 4 – тигель; 6 – отражатель; U_1 - U_4 – рабочие потенциалы.

проводимых в токе водорода.

На рис. 2.2. приведено полученное на растровом электронном микроскопе JEOL JXA-8800R характерное изображение поверхности сравнительно высокоомной плёнки, осаждённой по данной методике из источника КЭФ-20, на поверхность кремния КДБ-40(100) при температуре подложки 900К. Анализ поверхности плёнок подтверждает данные оптической микроскопии и свидетельствует, что они являются достаточно однородными (разброс толщины по площади не превышает 5%).

Полученные p-n и n-p плёночные структуры были подвергнуты ряду электрофизических исследований, как то: измерение типа проводимости, удельного сопротивления, вольт-амперных характеристик (ВАХ), спектральных, термоэлектрических и тепловольтаических характеристик. Необходимо отметить, что при проведении термоэлектрических измерений надо было принимать во внимание и исключить большое число возможных сопутствующих эффектов, в частности, влияние контактной разности потенциалов переходов металл-полупроводник, возникающей на стыках p-n-структур с измерительными зондами

Типичная ВАХ полученной n-p-структуры, снятая при комнатной температуре, приведена на рис. 2.3. Результаты измерения ВАХ всех серий структур показали, что термическое осаждение приводит к образованию структур с выраженными p-n переходами, причём условия их получения в части скорости осаждения и температуры подложки в исследованном диапазоне не оказывают заметного влияния на коэффициент выпрямления и вид ВАХ, который определяется только сопротивлениями плёнки и подложки.

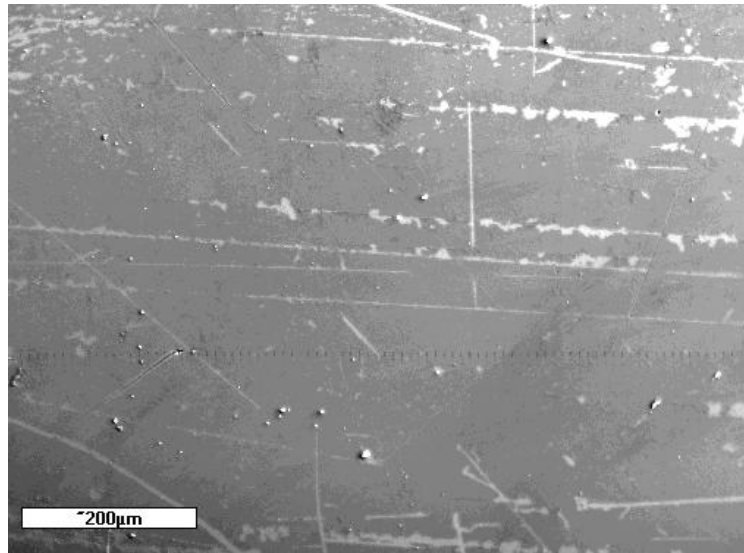


Рис. 2.2. Микрофотография поверхности n-типной плёнки, термически осаждённой из источника КЭФ-20 на p-типную подложку КДБ-40(100).

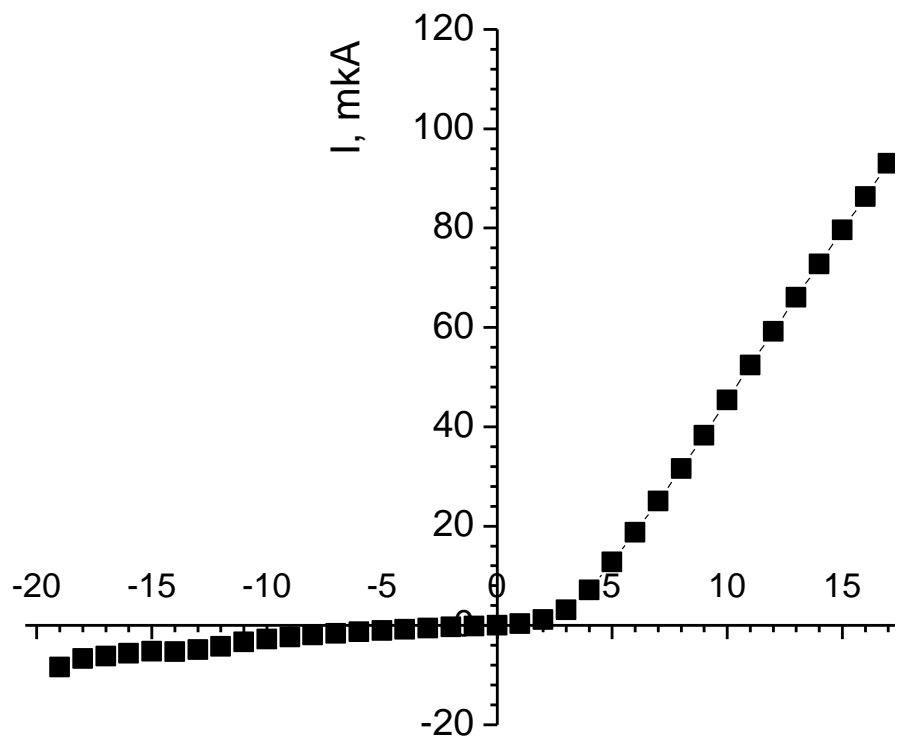


Рис. 2.3. Темновая вольт-амперная характеристика p-n-структуры, осаждённой из источника КЭФ-20 на поверхности кремния КДБ-40(100), снятая при комнатной температуре. Размер образца 10 x 20 мм.

2.2. Общие требования и характеристики прибора для исследования теплопреобразователей

Основная трудность, встречающихся при исследовании тепловольтаического эффекта – исключение влияния неконтролируемого градиента температур.

Поэтому одно из основных задач при создании лабораторного стенда является обеспечение равномерного нагрева всего рабочего объёма, содержащего исследуемый образец. При проведении термоэлектрических измерений надо также принимать во внимание и исключить большое число возможных сопутствующих эффектов, в частности, возможное влияние внешних электромагнитных полей и внешней засветки. Кроме того используемая в экспериментах электронная аппаратура не должна сама служить источником каких – либо помех. Наконец, необходимо полностью исключить влияние контактной разности потенциалов переходов металл-полупроводник, возникающей на стыках р-п-структур с измерительными зондами. Поэтому при исследованиях тепловольтаического эффекта, проводимых в чередующихся циклах нагрева и охлаждения, образцы помещались на поверхность контактных прослоек из химически чистой полированной фольги, выполненной из металлов: Та, Мо, Ni, Ti. Размер этих прослоек намеренно выбирали превышающим площадь измеряемых образцов, а степень и чистота механической обработки их поверхности обеспечивали плотный контакт с поверхностью кремниевых образцов, имевших 14 класс чистоты. На верхнюю, то есть свободную поверхность исследуемой плёночной структуры также помещали пластину из плотно прилегающей к ней фольги размером 3х3 мм из того же материала. На обе этих макроскопических контактных прослоек-электродов опускались идентичные молибденовые зонды, соединённые с измерительной цепью. Заведомо симметричный как по виду и типу металла, так и по форме контакт к обеим поверхностям исследуемых структур с обеспечением теплоизоляции

измерительного блока позволил свести к минимуму или вообще исключить влияние на экспериментальные результаты упомянутой контактной разности потенциалов.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

3.1. Лабораторный стенд для изучения темновых ВАХ плёночных полупроводниковых структур

В процессе выполнения работы были решены несколько технических задач:

Нужно было исключить градиент температур. Для этого мы поместили саму печку в асбестовую трубу (теплоизолятор), печку тоже, в свою очередь, изолировали, и посадили на неё металлическую пластину.

Затем, нужно было надёжно заземлить металлический кожух, чтобы полностью исключить влияние внешних электромагнитных полей.

Следующая задача заключалась в том, чтоб предотвратить попадание внешнего света на поверхность установки (рис. 3.1). Для этого металлический кожух делался достаточно плотным, и в процессе измерений он находился в закрытом состоянии.

Чтобы регулировать напряжение подающее на печь использовалась АВО – 5М1 – Ш и Latr. Для измерения температуры на термопаре пользовался мультиметр KEITHLEY. Данный выбор измерительных приборов полностью исключает влияние каких – либо их собственных шумов и паразитных наводок на численное значение измеряемых величин.

3.2. Тепловольтаический эффект в плёночных полупроводниковых структурах

Исследования проявлений тепловольтаического эффекта были проведены в условиях равномерного нагрева и последующего плавного охлаждения всей системы в температурном диапазоне от 300К до 900К в отсутствие градиента температуры.

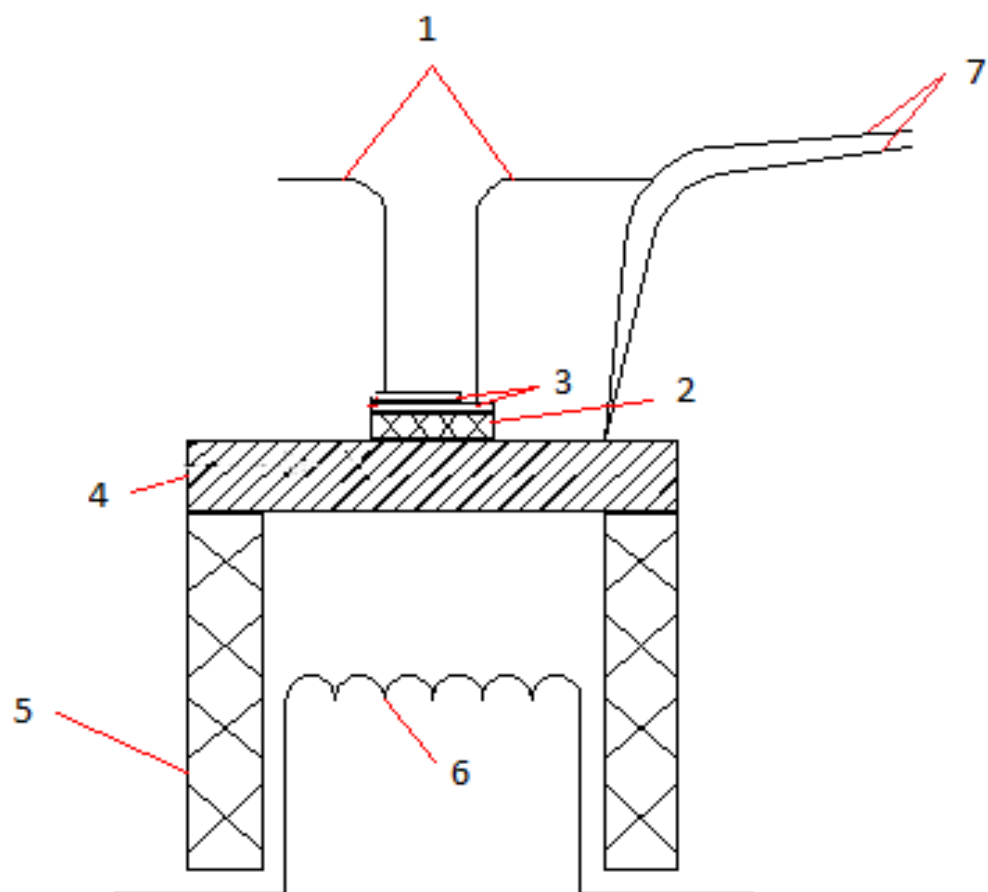


Рис. 3.1. Схема установки: 1 - зонда из молибдена (Mo); 2 - металлический корпус; 3 - образцы; 4 - металлическая плитка; 5 - теплоизоляция(асбест), в которой находится печь; 6 - спираль из нихрома(Ni Cr); 7 - термопара из хромель-алюмель (Al Cr).

Характерные температурные зависимости возникающего темнового напряжения и тока представлены на рис. 3.2.

На основе полученных экспериментальных данных можно утверждать, что плёнки как р-типа, так и n-типа, осаждённые на подложки с противоположным типом проводимости, имеют следующие характерные особенности.

1. При равномерном нагреве в отсутствие градиента температуры на этих плёночных структурах возникает темновое напряжение холостого хода, величина которого при температуре $\sim 800\text{K}$ составляет $\sim 5\text{-}10\text{ мВ}$.

2. В области температур $T < 500\text{ K}$ возникающая э.д.с. недостаточна для появления тока в цепи, превышающего $\sim 10^{-7}\text{A}$ - предела чувствительности применённой нами аппаратуры. Это, по-видимому, связано с высоким сопротивлением р-n-структуры. Эффективная генерация носителей наблюдается при $T > 500\text{ K}$ и сопровождается с увеличением температур до 900K ростом темнового тока, плотность которого достигает у различных образцов значений $\sim 1,2\text{-}2,5\text{ мкА/см}^2$.

3. Изменения темновых напряжения и тока короткого замыкания при росте температуры и охлаждении происходят плавно и по одной кривой с расхождением результатов не выше 5% .

Измерения показали, что замена материала контактной фольги существенно не влияет на численные значения получаемых данных, касающихся темнового напряжения U_{xx} , несмотря на то, что испытанные металлы (Ta, Mo, Ni, Ti) находятся в разных местах термоэлектрических рядов Зеебека-Юсти-Мейснера [19].

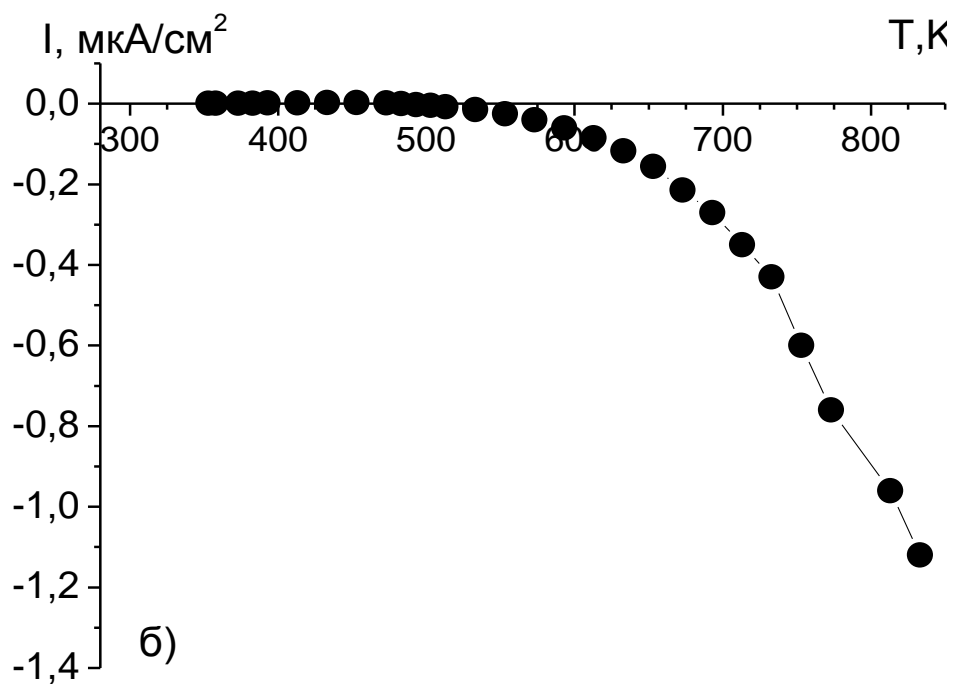
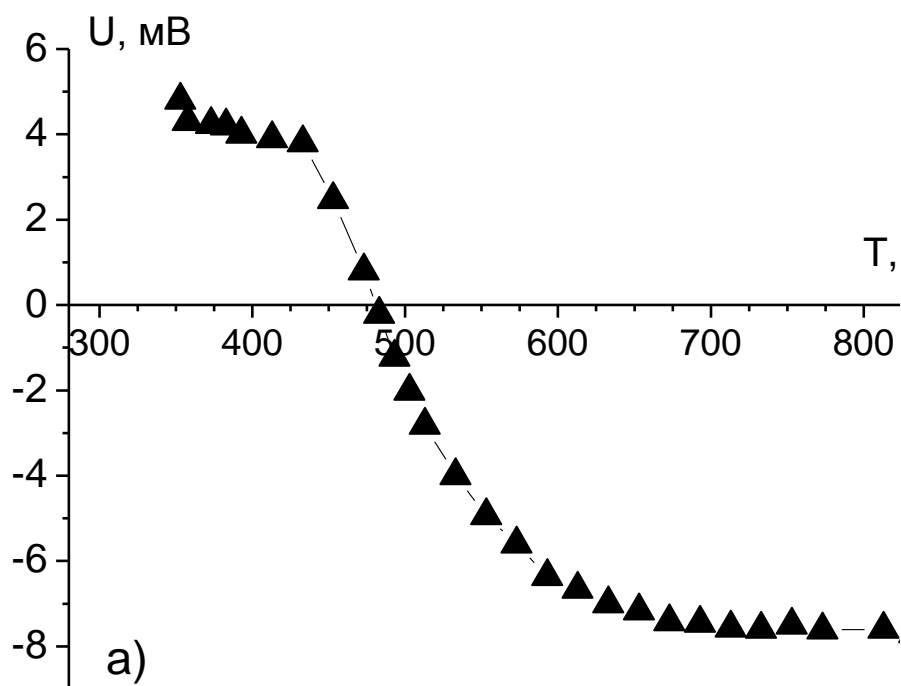


Рис. 3.2. Температурные зависимости темнового напряжения холостого хода (а) и плотности тока короткого замыкания (б) при равномерном нагреве структуры, представляющей собой плёнку КЭФ-20 на поверхности подложки КДБ-40(100).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Освоен метод получения кремниевых пленочных р-п структур методом термического испарения в условиях высокого вакуума.

2. Разработан и создан лабораторный стенд для исследования тонкопленочных полупроводниковых образцов для преобразования тепловой энергии в электрическую энергию.

3. Получены предварительные результаты исследования тепловольтаического эффекта в кремниевых плёночных р-п структурах в отсутствие градиента температуры. Показано, что при равномерном нагреве в отсутствие градиента температуры на данных плёночных структурах возникает темновое напряжение холостого хода и происходит эффективная генерация носителей, что может быть использовано для создания эффективных преобразователей тепловой энергии в электрическую, включая нефотоактивную составляющую солнечного излучения.

Таким образом, результаты тестовых исследований свидетельствуют, что созданный лабораторный стенд позволяет проводить изучение тепловольтаических эффектов в полупроводниковых плёночных р-п структурах при их равномерном нагреве, без влияния градиента температур.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Производственная санитария

Проведем анализ условий лаборатории. Создание благоприятных условий труда, исключающих утомление зрительных анализаторов, возможно только при правильно спроектированной осветительной системе. Необходимая освещенность рабочего места составляет 250-300 лк, что позволяет избежать быстрого утомления зрения и способствует повышению производительности труда. Используется комбинированная система освещения рабочего места: к общему освещению добавляется местное освещение, концентрирующее световой поток на рабочее место (поверхность стола либо лицевую панель изделия). Расположение, вид и количество осветительных приборов выбирается из условия достижения заданного светового потока при конкретной конфигурации помещения [22, 23].

В данной выпускной квалификационной работе был собран лабораторный стенд (в состав которого входит электропечь), определяющий при высоких температурах физические и термоэлектрические параметры полупроводниковых материалов. Эта установка предназначена для нагрева до высоких температур (160-200°C) исследуемых образцов с помощью спирали. Чтобы работать на этой установке, нужно соблюдать правила техники безопасности. Установка нагревается до 300-400°C, в связи с этим её поместили в теплоизолированный кожух. С целью обеспечения электробезопасности данный кожух был заземлён. При эксплуатации разработанной установки опасность для человека представляет воздействие инфракрасного излучения.

Инфракрасное излучение – это излучение от нагретых тел (например тепло от солнца).

Все инфракрасные обогреватели делятся на 3 типа:

1. Коротковолновые: λ =от 0,74 до 2,5 мкм (800 °С).

2. Средневолновые : λ =от 2,5 до 50мкм(600 °С).
3. Длинноволновые : λ =от 50 до 2000мкм (менее 300 °С)

На малых частотах длин волн инфракрасное излучение не представляет особой опасности. Самым вредным инфракрасным излучением является коротковолновые и средневолновые. Не желательно длительно находиться под воздействием данного излучения. Так же, при попаданий инфракрасных лучей на органы зрения, может возникнуть катаракта.

Теоретически рассмотрим негативное воздействие на человека инфракрасного излучения с указанием соответствующих мер защиты.

Инфракрасное излучение (ИКИ) – это тепловое излучение, представляющее собой невидимое электромагнитное излучение с длиной волны от 0,76 до 420 мкм и обладающее волновыми и световыми свойствами.

По длине волны инфракрасные лучи делятся на: коротковолновую ИКИ-А (менее 1,4 мкм); средневолновую ИКИ-В (1,4...3 мкм); длинноволновую ИКИ-С (3 мкм...1 мм) области. В производственных условиях гигиеническое значение имеет более узкий диапазон (0,76...70 мкм).

Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело. Степень инфракрасного излучения характеризуется следующими основными законами, используемыми для оценки гигиенического нормирования.

Лучеиспускание обуславливается только состоянием излучающего тела и не зависит от окружающей среды (закон Кирхгофа). Лучеиспускательная способность любого тела пропорциональна его лучепоглощающей способности. Тело, поглощающее все падающие на него лучи (абсолютно черное тело), обладает максимальным излучением. На этом законе основаны: применение поглощающей защитной одежды, светофильтров, устройство приборов для измерения теплового излучения, а также окраска оборудования. С повышением температуры излучающего тела интенсивность излучения E (Вт/м²) увеличивается пропорционально 4-й степени его абсолютной температуры (закон Стефана - Больцмана). Даже небольшое повышение температуры тела приводит к значительному росту отдачи

теплоты излучением. Используя этот закон, можно определить величину теплообмена излучением в производственных условиях.

При расчете теплоотдачи излучением учитывают температуру стен и других поглощающих тепловую радиацию поверхностей. Длина волны максимального излучения нагретого тела обратно пропорциональна его абсолютной температуре.

При температуре твердого тела 400...500 °С излучение происходит главным образом в области длинных волн.

Интенсивность теплового излучения на рабочих местах может колебаться от 175 Вт/м² до 13 956 Вт/м². В производственных помещениях с большим тепловыделением (горячие цеха) на долю инфракрасного излучения может приходиться до 2/3 выделяемой теплоты и только 1/3 на конвекционную теплоту.

Биологическое действие инфракрасного излучения. Лучистое тепло имеет ряд особенностей. Инфракрасное излучение, кроме усиления теплового воздействия, обладает также специфическим влиянием, зависящим от интенсивности энергии излучения отдельных участков его спектра. Существенное влияние на теплообмен организма оказывают оптические свойства кожного покрова с его избирательной характеристикой коэффициентов отражения, поглощения и пропускания инфракрасной радиации.

Воздействие ИКИ на организм человека проявляется как общими, так и местными реакциями. Местная реакция выражается сильнее при длинноволновом облучении, поэтому при одной и той же интенсивности облучения время переносимости в этом случае меньше, чем при коротковолновой радиации. За счет большой глубины проникновения в ткани тела коротковолновая область спектра ИКИ вызывает повышение температуры глуболежащих тканей. Например, длительное облучение глаза может привести к помутнению хрусталика (профессиональная катаракта).

Под влиянием ИКИ в организме человека возникают биохимические сдвиги и изменения функционального состояния центральной нервной системы; образуются специфические биологически активные вещества типа гистамина, холина; повышается уровень фосфора и натрия в крови; усиливается секреторная функция желудка, поджелудочной и слюнной желез; в центральной нервной системе развиваются тормозные процессы; уменьшается нервно-мышечная возбудимость; понижается общий обмен веществ.

При инфракрасном облучении кожи повышается ее температура, изменяется тепловое ощущение. При интенсивном облучении возникают ощущения жжения, боль. Время переносимости тепловой радиации уменьшается с увеличением длины волны и ее интенсивности.

С увеличением периода облучения организм приспособливается, т.е. происходит адаптация, сохраняющаяся довольно длительное время.

Меры защиты.

Основные меры: теплоизоляция поверхности; устройство защитных экранов, покрытых теплоизоляционными материалами, ограждающих от лучистого и конвекционного тепла и др. По действующим санитарным нормам температура нагретых поверхностей оборудования и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45°C.

Наиболее распространенный и эффективный способ защиты от излучения - экранирование источников излучений. Экраны применяют как для экранирования источников излучения, так и для защиты рабочих мест от инфракрасного излучения. В зависимости от возможности наблюдения за рабочим процессом экраны можно разделить на три типа: I - непрозрачные, II - полупрозрачные и III - прозрачные.

Полупрозрачные экраны. К полупрозрачным экранам относятся металлические сетки с размером ячейки 3...3,5 мм, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло. Сетки применяют при интенсивности облучения 0,35...1,05 кВт/м², и их коэффициент эффективности порядка 0,67.

Цепные завесы используются при интенсивности облучения $0,7...4,9$ кВт/м². Коэффициент эффективности цепных завес зависит от толщины цепей. С целью повышения эффективности защитных свойств применяют завесы водяной пленкой и устраивают двойные экраны. Армированное стекло используют при тех же интенсивностях облучения, что и цепные завесы, оно имеет такой же коэффициент эффективности. Увеличение эффективности достигается орошением водяной пленки и устройством двойного экрана.

Прозрачные экраны. Для прозрачных экранов используют силикатное, кварцевое или органическое стекло, тонкие (до 2 нм) металлические пленки на стекле, воду в слое или дисперсном состоянии.

Коэффициент пропускания воды в различных участках спектра в значительной степени зависит от толщины слоя воды. Тонкие водяные пленки начинают заметно поглощать излучение с длиной волны более 1,9 мкм и значительно поглощают волны длиной более 3,2 мкм.

Поэтому они пригодны для экранирования источников излучения температурой до 800°С. При толщине слоя воды 15...20 мм полностью поглощаются излучения с длиной волны более 1 мкм, поэтому такой слой воды эффективно защищает от теплового излучения источников с температурой до 1800° С. Экраны в виде водяной пленки, стекающей по стеклу, более устойчивы по сравнению со свободными завесами: они имеют более высокий коэффициент эффективности (порядка 0,9) и могут применяться при интенсивностях облучения 1750 Вт/м².

Теплопоглощающие прозрачные экраны изготавливают из различных стекол (силикатных, кварцевых, органических), бесцветных или окрашенных. Для повышения эффективности применяется двойное остекление с вентилируемой воздушной прослойкой. Органическое стекло применяют для защиты лица от теплового облучения в виде специальных щитков. Эффективность стекол зависит от спектра излучения, т.е. стекло обладает узкополосными свойствами. В последнее время одним из методов

предупреждения влияния лучистой энергии является охлаждение стен, пола и потолка и применение специальных экранов на рабочих местах.

Меры, направленные на уменьшение интенсивности теплового излучения в зависимости от категории работы, сезона года и интенсивности инфракрасной радиации, приведены в ГОСТ 12.1.005-98.

Защита от случайного прикосновения к изолированным токоведущим частям в электроустановках

В электроустановках напряжением 0,4 кВ и ниже применение изолированных проводов уже обеспечивает достаточную защиту от напряжения при прикосновении к ним. Изолированные провода, находящиеся под более высоким напряжением, не менее опасны, чем голые, т.к. повреждения изоляции обычно остаются незамеченными, если провод подвешен на изоляторах. Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к изолированным токоведущим частям обеспечивают недоступность последних посредством:

- расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте;
- блокировок;
- ограждений.

Расположение токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте позволяет обеспечить безопасность без ограждений. При этом следует учитывать возможность случайного прикосновения к токоведущим частям посредством длинных предметов, которые человек может держать в руках.

Блокировки применяем в электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях (испытательные стенды, установки для испытания изоляции повышенным напряжением и т.п.). Блокировки по принципу действия различаются на: электрические и механические. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях ограждений,

крышах и дверцах кожухов. Механические блокировки применяем в электрических аппаратах: рубильниках, пускателях, автоматических выключателях и т.п.

Одним из опасных производственных факторов является работа под напряжением. В одних случаях включение человека в цепь будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется неопасным, в других - токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека. Схемы включения человека в цепь тока могут быть различными. Однако наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей. Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей. Такая связь может быть обусловлена несовершенством изоляции проводов относительно земли, наличием емкости между проводами и землей, и, наконец, заземлением нейтрали источника тока, питающего данную сеть. Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая - однофазному.

Двухфазное прикосновение, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение - линейное, а ток, проходящий через человека, оказываясь независимым от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов, имеет наибольшее значение. Случаи двухфазного прикосновения происходят очень редко. Они являются результатом работы под напряжением в электроустановках до 1000 В - на щитах, сборках, на воздушных линиях (например, при замене сгоревшего предохранителя на вводе в здание) и т. п.; применения неисправных индивидуальных защитных средств - диэлектрических перчаток с проколами или разрывами резины, монтерского инструмента с поврежденной изоляцией рукояток и пр.; эксплуатации оборудования с неогражденными голыми токоведущими частями (открытые рубильники,

поврежденные штепсельные розетки, провод с поврежденной изоляцией, незащищенные зажимы сварочных трансформаторов и т.п.).

Однофазное прикосновение менее опасно, чем двухфазное, так как ток, проходя через человека, ограничивается влиянием многих факторов. Однако однофазное прикосновение возникает во много раз чаще. В электроустановках с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление и предусмотрена возможность выявления и быстрого отыскания замыканий на землю. В электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью в качестве защитной меры вместо защитного заземления применяется зануление. Трехфазные сети до 1000 В с изолированной нейтралью, связанные через трансформаторы с сетями напряжением выше 1000 В, должны быть защищены от опасности, возникающей при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора, пробивным предохранителем (разрядником с заземленным электродом), установленным в нейтрали или фазе на стороне низшего напряжения трансформатора.

В электроустановках до 1000 В в местах, где в качестве защитной меры применяются разделяющие или понижающие трансформаторы, их вторичное напряжение должно быть соответственно не более 380 и 42 В.

При этом необходимо руководствоваться следующим:

- от разделяющих трансформаторов разрешается питание только одного электроприемника с номинальным током плавкой вставки или расцепителя автомата на первичной стороне не более 15 А;
- заземление (зануление) вторичной обмотки разделяющего трансформатора запрещается. Корпус заземляют (зануляют).

Заземление (зануление) электроустановок применяют:

- при переменном напряжении 380 В и выше и постоянном напряжении 440 В и выше во всех случаях;

- при номинальных напряжениях - переменном выше 42 В и постоянном выше 110 В - только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках.

Заземление не требуется при номинальных напряжениях - переменном до 42 В и постоянном до 110 В, за исключением взрывоопасных установок.

Заземлению (занулению) не подлежат корпуса электроприемников с двойной изоляцией.

Чтобы обеспечить защиту обслуживающего персонала, вывешивают плакаты по технике безопасности на отключаемые аппараты, а так же при подготовке рабочего места, все металлические нетоковедущие части электрооборудования, корпуса щитов, светильников и т.д., которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции, заземляют присоединением к нулевым защитным проводникам.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- I. Технико-экономическое обоснование проекта.
 - II. Определить объём инвестиции:
 - Стоимость основных фондов;
 - Объём инвестиции на покупку материально-производственных запасов;
 - Объём инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов;
 - Расчёт заработной платы производственных рабочих.
 - III. Определить экономическую эффективность, годовой доход.
 - IV. Определить срок окупаемости инвестиции
 1. Технико-экономические обоснования проекта
 - Цель, сущность и задачи проекта и его актуальность.
 - Экономическая эффективность проекта.
 2. Определить объём инвестиции.
- В нижеследующих таблицах приведены затраты на ВКР.

Таблица 1.

Объём инвестиции на покупку материально-производственных запасов

	Наименование материалов	Количество	Цена материала за единицы	НДС	Стоимость материала с учётом НДС
	Асбест труба		5000	1000	6000
	Спираль Ni Cr		6000	1200	7200
	Кирпич		5000	1000	6000
	Коробка		10000	2000	12000
	Проволки	4	800	640	1440
	Зонд Мо	2	3000	1200	4200

	Слюда		500	100	600
	Подложка		3000	600	3600
	Керамика		1000	200	1200
0	Болт гайки		500	100	600
1	Алебастр		500	100	600
	Итого				43440

Таблица 2.

Объём инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов

	Наименование	Количество	Цена за единицы	НДС	Общая стоимость с учётом НДС
	Дрель		50000	10000	60000
	Тиски		15000	3000	18000
	Пила		7000	1400	8400
	Сварка		25000	5000	30000
	Отвёртка		5000	1000	6000
	Латр		20000	4000	24000
	Вольтметр		15000	3000	18000
	Итого				164400

Таблица 3.

Стоимость основных фондов

	Наименование основных фондов	Количество	Стоимость ОФ
	Лаборатория		135000
	Оборудование		164400
	Итого		299400

Амортизационные отчисления составляет 20% от стоимости ОФ

$$A_{отч} = 20\% * ОФ$$

$$A_{отч} = 0,2 * 299400 / 12$$

$$A_{отч} = 4990 \text{ сум}$$

Затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание 12% от стоимости ОФ

$$P_m = 12\% * ОФ$$

$$P_m = 0,2 * 299400 / 12$$

$$P_m = 2994 \text{ сум}$$

Таблица 4.

Расчёт заработной платы производственных рабочих

Наименование операции	Должность	Дни	Средняя суточная зарплата	Стоимость сделанной работы
Выбор темы на разработку	СНС	1	15000	15000
Изучение и анализ литератур на темы	МНС	2	7050	14100
Разработка интерфейса программы	МНС	2	7050	14100

Занесение плана лекции	МНС	3	7050	21150
Откладка программы	МНС	1	7050	7050
Тестирование комплекс программы	МНС	2	7050	14100
Выявление ошибок	МНС	2	7050	14100
Исправление ошибок	МНС	2	7050	14100
Экономическая часть	МНС	2	7050	14100
	СНС	1	15000	15000
Охрана труда	МНС	2	7050	14100
	СНС	1	15000	15000
Разработка пояснительной записки	МНС	1	7050	7050
Рецензирование	СНС	1	15000	15000
Оформление и защита выпускной квалификационной работы	МНС	1	7050	7050
жами		24		201000

Основная заработная плата определяется как сумма оплаты труда всех рабочих и премии в размере 40%.

$$Z_{осн} = COT * 0,4 + COT$$

$$Z_{осн} = 201000 * 1,4$$

$$Z_{осн} = 281400 \text{ сум}$$

Дополнительной зарплатой производственных рабочих берётся 10% от основного з/п.

$$Z_d = K_d * Z_{осн}$$

$$Z_d = 0,1 * 281400$$

$$Z_d = 28140 \text{ сум}$$

Фонд оплаты труда определяется как сумму основной и дополнительной зарплаты.

$$\mathbf{ФОМ=Зосн+Зд}$$

$$\mathbf{ФОТ=281400+28140}$$

$$\mathbf{ФОТ=309540 \text{ сум}}$$

Затраты на социальное страхование рассчитывается 25% от ФОТ.

$$\mathbf{ОФСС=25\%*ФОТ}$$

$$\mathbf{ОФСС=0,25*309540}$$

$$\mathbf{ОФСС=77385}$$

Транспортные расходы рассчитывается 20% от Зосн

$$\mathbf{Ртр=0,2*281400}$$

$$\mathbf{Ртр=56280 \text{ сум}}$$

Расход пара на производственные нужды.

$$\text{Длина} - 3 \quad V=12*663.05$$

$$\text{Ширина} - 4 \quad V=7956.6 \text{ сум}$$

$$V= \text{длина} * \text{ширина}$$

Расходы электроэнергии определяются по формуле

$$\mathbf{W=N*T*S}$$

$$\mathbf{W=1*144*112.2}$$

N- мощность, кВт

T – время работы

S – стоимость электроэнергии за 1кВт

$$\mathbf{W=16156.8 \text{ сум}}$$

Объём инвестиции

$$\mathbf{K=МПЗ+ФОТ+Аоф+\Sigma P}$$

$$\mathbf{K=43440+309540+4990+83387,4=441357,4 \text{ сум}}$$

Таблица 5.

Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статей затрат	Сумма
1	Стоимость выполненных работ	572474,175
2	Затраты на производство	440364,75
3	Производственная себестоимость	409410,75
4	Расходы периода	30954
5	Материальные затраты	67553,4
6	Сырьё	43440
7	Электроэнергия + отопление	24113,4
8	ФОТ	309540
9	Социальное страхование	77385
10	Амортизация	2990
11	Прочие затраты	19495,75
12	Основная зарплата	201000

Таблица 6.

Расчёт экономической эффективности выполненных работ

№	Наименование показателей	Ед. измерения	сумма	Примечание
1	Стоимость выполненных работ	Сум	572474,175	Таблица 5
2	Затраты на производство	Сум	440364,75	Таблица 5
3	Инвестиции	Сум	441357,4	Формула
4	Экономическая эффективность	Сум	132109,42	Формула
5	Срок окупаемость	Месяц	3,3	Формула
6	Рентабельность	%	30	Формула

Экономическая эффективность определяется

$$\mathcal{E}=(C1-C2)*Q$$

$$\mathcal{E}=132109,42\text{сум}$$

C1 и C2 себестоимость до и после

$$C1=C2*1,3$$

Q – объём производства

Рентабельность определяется

$$R=\mathcal{E}*100\%/K = \frac{132109,42}{441357,4} \%$$

$$R=30\%$$

Определим срок окупаемости

$$T_{ок} = K/\mathcal{E}$$

\mathcal{E} – экономическая эффективность

K – капитал

$$T=441357,4/132109,42$$

$$T=3,3$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/TERMOELEKTRONNAYA_EMISSIYA.html
2. http://www.krugosvet.ru/images/1001464_6570_001.gif
3. http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/SVERHPROVODIMOST.html
4. Абдурахманов Б.М., Олимов Л.О., Саидов М.С «Электрофизические свойства солнечного поликристаллического кремния и его n^+ - р структур при повышенных температурах». //Гелиотехника 2008, №1, С.65-76
5. Абдурахманов Б.М., Олимов Л.О., Саидов М.С «Примесный тепловольтаический эффект границ зерен поликристаллического кремниевого солнечного элемента». //Гелиотехника 2007, №4, С.
6. Luque A. and Marti A. // Phys. Rev Lett. 1997. V.78. N26. P.5014-5017.
7. Beaucarne G., Brown A.S., Keevers M.J., Corkish R. and Green M.A., Prog. Photovolt. Res. Appl. 2002. 10:345-353.
8. Саидов М.С. «Особенности и перспективы использования примесного тепловольтаического эффекта полупроводниковых структур». // Гелиотехника, 2007. №4. С. 3-8.
9. Саидов А.С., Абакумов А.А., Саидов М.С, Усмонов Ш.Н., Холиков К.Т., «Тепловольтаические свойства солнечного - плавленого технического кремния». //Гелиотехника, 2007, №4, с. 102-104.
10. Абдурахманов Б.М., С.Г Байдаков, В.И. Соловейчик, В.П. Чирва. Модули и элементы солнечных фотоэлектрических станций с концентрацией излучения. Ташкент: ФАН. 1993. 200 с.
11. Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применения: Пер. С англ. /Под.ред. Харбек Г. –М., «Мир». 1989-344 с., ил.

12. Абдурахманов Б.М., Алиев Р., Чирва В.П., Саидов М.С, Олимов Л.О. «Исследование поликристаллических структур кремния для солнечных элементов методом тока, индуцированного световым лучом». //Гелиотехника, 1996, №6, с. 42-46.
13. Олимов Л.О. «Ионлашган холатда киритилган ишкорий металл атомларини куйма поликристалл кремнийнинг электрофизик хоссаларига таъсирини урганиш». Ном. дисс. автореферати. Андижон, 1999
14. Олимов Л.О. «Исследование структуры и электрофизические свойства межзеренных границ поликристаллического кремния». УФЖ. 2007, №5-6, с. 361-365.
15. Саидов М.С.. Гелиотехника. 2007. №4. С.3-6.
16. Abdurahmonov B.M., Olimov L.O., Saidov M.S. Applied Solar Energy. 2008. V.44, № 1. P.46-52.
17. Саидов А.С, Абакумов А.А., Саидов М.С., Усмонов Ш.Н., Гелиотехника. 2007. №4. С.102-104.
18. Абдурахманов Б.М, Олимов Л.О. ДАН РУз. 2009. -№4. С.26-29.
19. Абдурахмонов Б.М., Адилов М.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Оксенгендлер Б.Л.. Препринт Р-8-693. Ташкент: Институт ядерной физики АН РУз, 2010. 36 с.
20. Иванов П.А., Левинштейн М.Е., Мнацаканов Т.Т., Palmour J.W., Agarwal A.K. // Физика и техника полупроводников, 2005. Т. 39, Вып. 8.-с. 897-813.
21. Кирилловский В.К., Точилина Т.В. ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ Учебное пособие по лабораторному практикуму Санкт-Петербург 2009.
22. Безопасность жизнедеятельности: Учебн. /Под ред. С. В. Белова. – М.: Высшая школа, 2009. – 448 с.
23. Долин П.Д. Справочник по ТБ. - М.: Радио и связь, 2009. - 780с.