

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК _____

Демьянов
Александр Сергеевич

Электрические и оптические свойства поликристаллического селенида
кадмия

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-41 80 03 Нанотехнологии и наноматериалы (в электронике)

Научный руководитель

Петрович Владимир Алексеевич

кандидат физико-математических
наук, доцент

Минск 2017

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является изучение оптических и электрических свойств поликристаллического селенида кадмия, выявление особенностей поведения вольт-амперных характеристик, люкс-амперных, температурных зависимостей проводимости.

Для осуществления экспериментальных исследований необходимо также подобрать оборудование, позволяющее измерить токи в пределах 10^{-12} - 10^{-10} А. Это само по себе является достаточно сложной технической задачей.

Стояла также задача избавиться от громоздкого, дорогостоящего спектрофотометрического оборудования путем использования светоизлучающих структур на основе р-п перехода.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В начале данной работы планировалось осуществить регистрацию электрических и оптических свойств поликристаллического селенида кадмия для изучения электронных процессов, протекающих под действием электрического поля и электромагнитного излучения оптического диапазона. Но, столкнувшись с разобщенными данными в научной литературе, появилась первостепенная задача обобщить и систематизировать известные литературные данные по объекту исследования - поликристаллическому селениду кадмия (ПСК).

Задача данной работы заключалась в систематизации данных, полученных в результате обобщения информации, имеющейся в литературных источниках, а также составлении базы данных по результатам экспериментов.

С использованием современного оборудования необходимо было зарегистрировать электрические и оптические характеристики ПСК, выявить специфические свойства этого материала, неизвестные ранее.

Микроэлектроника, используя монокристаллические структуры, в значительной степени исчерпала свои возможности. Она нуждается в материалах с новыми физико-химическими, механическими, оптическими и другими свойствами. Переход к наноструктурированным материалам является перспективным направлением современной электроники, способной решать задачи, которых ранее не представлялось возможным реализовать.

В представленной работе собраны и систематизированы данные по свойствам ПСК, взятые из научной литературы. Составлена база данных по темновым и люкс-амперным характеристикам 15 экземплярам структур на основе селенида кадмия. Сформирована также база данных по циклическим вольт-амперным характеристикам этих же структур.

Скомпонованное оборудование позволяет проводить процесс обучения студентов, магистрантов и аспирантов, а также проводить соответствующее исследование научным сотрудникам БГУИР.

Результаты проведенных работ докладывались на следующих конференциях:

1. 52-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Радиотехника и электроника», УО «БГУИР» (тезисы докладов не публиковались);

2. IV Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых на базе государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем имени В.А.Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель. (отражено в тезисах докладов в соответствующем сборнике);

Результаты доклада в Гомеле отмечены «Сертификатом».

ГЛАВА 1

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Внутренний фотоэффект в твердых телах; фоторезисторы

Фоторезистором называется приемный первичный измерительный преобразователь излучения, принцип действия которого основан на эффекте фотопроводимости (либо собственной, либо примесной) в однородном (без р-п-перехода) полупроводнике. Проводимость у фоторезистора меняется под действием излучения в силу внутреннего фотоэффекта. Фоторезисторы, использующие собственное поглощение, сравнительно коротковолновые; примесное поглощение – длинноволновые. Неохлаждаемые фоторезисторы на беспримесной полупроводниковой основе с собственным поглощением сегодня распространены наиболее широко. Конструктивно фоторезисторы выполняются в виде пленки (пластинки или таблетки) аморфного (монокристаллического или поликристаллического) светочувствительного полупроводникового материала, электрический контакт с которой осуществляется при помощи двух металлических электродов. Через электроды фоторезисторы запитываются и постоянным, и переменным, и импульсным напряжением, поскольку они неполярны (т.е. одинаково проводят ток в любом направлении). Электроды у фоторезисторов пленочные. Их наносят на светочувствительный слой полупроводника испарением (в вакууме) золота, платины или серебра, либо химическим осаждением палладия. Выбор именно этих конструкционных материалов диктуется не столько их электрическими свойствами, сколько стойкостью к коррозии.

Сами светочувствительные слои высокоомных фоторезисторов ФСК, СФ2 и ФСД, СФ3 (CdS и CdSe) наносят пульверизацией на диэлектрическую (стеклянную или керамическую) подложку, реже – испарением (в вакууме) и спеканием порошка; низкоомных фоторезисторов ФСА и СФ4 (PbS и PbSe) – изготавливают химическим осаждением на диэлектрическую (стеклянную или кварцевую) подложку [Л. 1]. Защитой светочувствительного слоя от воздействия атмосферы служит прозрачное лаковое покрытие либо его установка в герметизируемом корпусе с окном.

Поглощенная световая энергия в самом общем и наиболее распространенном случае переходит в тепло, несколько повышая температуру поглощающего тела. Но нередко лишь часть световой энергии переходит в тепло, другая же испытывает иные превращения,

вызывая те или иные действия света. В настоящей работе мы будем рассматривать эффект превращения световой энергии в механическую энергию электронов – фотоэффект.

1.2 Темновое сопротивление.

Селенид кадмиевые фоторезисторы в темноте имеют большое сопротивление. Величина его зависит от состава светочувствительного слоя и условий его изготовления, расстояния между электродами и других факторов.

На практике у селенид кадмиевых фоторезисторов темновое сопротивление чаще всего определяется экспериментально с помощью схемы вольтметра — амперметра.

1.3 Фоторезисторы на основе селенида кадмия

Фоторезисторы на основе CdSe. Для изучения переходных процессов в фоторезисторах наиболее удобно использовать фоторезисторы на основе материалов, спектр области собственного поглощения которых, приходится на область видимого света ($\lambda = 400 - 780$ нм). Материалами наиболее удовлетворяющими этому критерию являются селенид кадмия (CdSe) и сернистый кадмий (CdS). В данной работе для изучения переходных процессов будет использован селенид кадмия.

1.3.1 Стабильность свойств селенид кадмиевых фоторезисторов

Промышленные типы фоторезисторов из селенистого кадмия обладают высокой стабильностью свойств. Гарантийный срок их службы в нормальных условиях эксплуатации очень большой. Неправильный режим эксплуатации или хранения является основной причиной возможного выхода фоторезисторов из строя.

ГЛАВА 2

Анализ особенностей поведения поликристаллического селенида кадмия

2.1 Частотные свойства поликристаллического селенида кадмия

Для того чтобы составить представление об инерционности селенид кадмиевых фоторезисторов, ниже приводится частотная характеристика и значения постоянной времени при освещении фоторезисторов одиночным П-образным импульсом.

С увеличением частоты фототок очень быстро падает, особенно при низких частотах. При более высоких частотах темп снижения фототока замедляется. При частоте модуляции порядка 3 000 Гц фототок составляет примерно 5% от тока при постоянном световом потоке. При более высоких частотах модуляции фототок практически трудно обнаружить.

2.2 Вольт-амперные характеристика поликристаллического селенида кадмия

Под вольт -амперной характеристикой подразумевают зависимость светового тока и фототока (при неизменной величине светового потока), а также темнового тока от приложенного к фоторезистору напряжения.

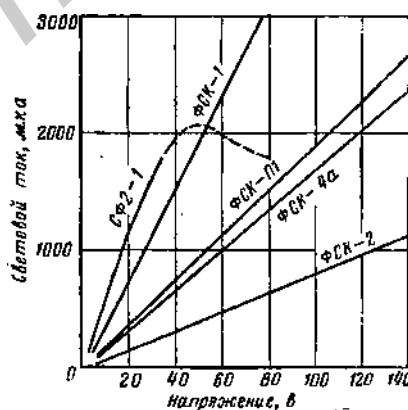


Рисунок 2.3 – Зависимость светового тока от напряжения

Отличительной особенностью фоторезисторов является наличие у большинства из них линейной вольт-амперной зависимости. Это в равной степени относится к прессованным, пленочным и монокристаллическим фоторезисторам. По своей физической природе они являются омическими сопротивлениями.

2.3 Люкс-амперные характеристики поликристаллического селенида кадмия

Световой поток, падая на фоторезистор, вызывает появление в его цепи добавочного тока. С увеличением интенсивности света фототок возрастает. Величина его при неизменном напряжении, приложенном к фоторезистору, определенным образом связана с интенсивностью падающего излучения. У фоторезисторов в отличие от фотоэлементов с внешним фотоэффектом зависимость фототока от освещенности носит нелинейный характер. Аналогичным образом меняется световой ток и световое сопротивление от освещенности. На практике люкс-амперные характеристики преимущественно приводятся в виде зависимости не фототока, а светового тока или сопротивления от освещенности [Л. 12].

2.4 Фоточувствительность и ее температурная зависимость для поликристаллического селенида кадмия

Чувствительность является параметром, который у фоторезисторов находят расчетным путем. Исходными данными для ее определения являются световой и темновой токи, измеряемые при рабочем напряжении. Зная их величины, высчитывают вначале значение фототока, а затем чувствительности (удельной и интегральной).

Световой ток и фототок у фоторезисторов в соответствии с ГОСТ 10675-63 принято определять при рабочем напряжении и освещенности 200 люкс от источника света с цветовой температурой 2 850° К. У селенид кадмиевых фоторезисторов, кроме ФСК-П1, регламентируется только нижний предел светового тока. Световой ток фоторезисторов может быть в 2—5 раз выше минимального, регламентируемого значения. У фоторезисторов ФСК-П1 световой ток при напряжении 100 В лежит в пределах от 1 000 до 2 000 мка.

Темновые токи фоторезисторов ограничиваются соответствующими ТУ и ГОСТ только по верхнему пределу. Ниже этого значения темновой ток может быть сколь угодно малым. Минимальная величина темнового тока фоторезисторов по сравнению с верхним контролируемым пределом может быть на 1—2 порядка меньше.

2.4.1 Спектральная чувствительность поликристаллического селенида кадмия

Селенид кадмиевые фоторезисторы, обладая в основном чувствительностью к видимому свету, способны реагировать и на ближнее инфракрасное излучение. Интервал длин волн, в котором обнаруживается их фото чувствительность, охватывает 0,5—1,2 *ми*. Характер спектрального распределения чувствительности у фоторезисторов ФСД и СФЗ-1 одинаков. Он приведен на рисунке 2.16.

можно условно разбить на две группы: на малошумящие и шумящие. В первую

2.4.2 Шумовые явления поликристаллического селенида кадмия

Селенид кадмиевые фоторезисторы, так же как и другие фотоэлементы, обладают собственными шумами. Источником шума может быть фоточувствительный слой и место контакта полупроводник — электрод. Чем выше шум у фоторезистора, тем меньший уровень светового потока он может зарегистрировать и тем сложнее усиливать получаемые от него сигналы.

2.5 Переходные процессы при изменении уровня освещения поликристаллического селенида кадмия

Переходные процессы при изменении уровня освещения. Пусть полупроводник освещается импульсом света прямоугольной формы, как это изображено на рисунке 2.17,а. Стационарное значение фотопроводимости достигается не мгновенно, а лишь через некоторое время после начала освещения (рисунок 2.17,б). При выключении света неравновесная проводимость исчезнет также через некоторое время после прекращения освещения (рисунок 2.17, б).

2.3 Люкс-амперные характеристики поликристаллического селенида кадмия

Световой поток, падая на фоторезистор, вызывает появление в его цепи добавочного тока. С увеличением интенсивности света фототок возрастает. Величина его при неизменном напряжении, приложенном к фоторезистору, определенным образом связана с интенсивностью падающего излучения. У фоторезисторов в отличие от фотоэлементов с внешним фотоэффектом зависимость фототока от освещенности носит нелинейный характер. Аналогичным образом меняется световой ток и световое сопротивление от освещенности. На практике люкс-амперные характеристики

преимущественно приводятся в виде зависимости не фототока, а светового тока или сопротивления от освещенности [Л. 12].

2.4 Фоточувствительность и ее температурная зависимость для поликристаллического селенида кадмия

Чувствительность является параметром, который у фоторезисторов находят расчетным путем. Исходными данными для ее определения являются световой и темновой токи, измеряемые при рабочем напряжении. Зная их величины, высчитывают вначале значение фототока, а затем чувствительности (удельной и интегральной).

Световой ток и фототок у фоторезисторов в соответствии с ГОСТ 10675-63 принято определять при рабочем напряжении и освещенности 200 люкс от источника света с цветовой температурой 2 850° К. У селенид кадмиевых фоторезисторов, кроме ФСК-П1, регламентируется только нижний предел светового тока. Световой ток фоторезисторов может быть в 2—5 раз выше минимального, регламентируемого значения. У фоторезисторов ФСК-П1 световой ток при напряжении 100 В лежит в пределах от 1 000 до 2 000 мка.

Темновые токи фоторезисторов ограничиваются соответствующими ТУ и ГОСТ только по верхнему пределу. Ниже этого значения темновой ток может быть сколь угодно малым. Минимальная величина темнового тока фоторезисторов по сравнению с верхним контролируемым пределом может быть на 1—2 порядка меньше.

2.4.1 Спектральная чувствительность поликристаллического селенида кадмия

Селенид кадмиевые фоторезисторы, обладая в основном чувствительностью к видимому свету, способны реагировать и на ближнее инфракрасное излучение. Интервал длин волн, в котором обнаруживается их фоточувствительность, охватывает 0,5—1,2 мк. Характер спектрального распределения чувствительности у фоторезисторов ФСД и СФЗ-1 одинаков. Он приведен на рисунке 2.16.

можно условно разбить на две группы: на малошумящие и шумящие. В первую

2.4.2 Шумовые явления поликристаллического селенида кадмия

Селенид кадмиевые фоторезисторы, так же как и другие фотоэлементы, обладают собственными шумами. Источником шума может быть фоточувствительный слой и место контакта полупроводник — электрод. Чем выше шум у фоторезистора, тем меньший уровень светового потока он

может зарегистрировать и тем сложнее усиливать получаемые от него сигналы.

2.5 Переходные процессы при изменении уровня освещения поликристаллического селенида кадмия

Переходные процессы при изменении уровня освещения. Пусть полупроводник освещается импульсом света прямоугольной формы, как это изображено на рисунке 2.17,а. Стационарное значение фотопроводимости достигается не мгновенно, а лишь через некоторое время после начала освещения (рисунок 2.17,б). При выключении света неравновесная проводимость исчезнет также через некоторое время после прекращения освещения (рисунок 2.17, б).

Библиотека БГУИР

Глава 3

Изучение структуры и характеристик образцов селенида кадмия

3.1 Изучение структуры образцов

Перед началом работы с образцами были сформулированы цели.

1. Подбор образцов фоторезисторов на основе поликристаллического селенида кадмия.
2. Изучить их индивидуальные вольт-амперные и частотные характеристики.
3. Выяснить механизм токопереноса и накопления заряда в фоторезисторах.

Для изучения было выбрано несколько экземпляров фоторезисторов на основе поликристаллического селенида кадмия.

зависимости

Для изучения вольт-амперных характеристик образцов фоторезисторов была использована следующая аппаратура и компоненты:

- вольтметр В7-27 (в режиме измерения тока);
- исследуемые образцы фоторезисторов (закрытые непрозрачной черной пленкой);
- источник питания с регулируемым напряжением на выходе;

Данные компоненты были подключены по следующей схеме:

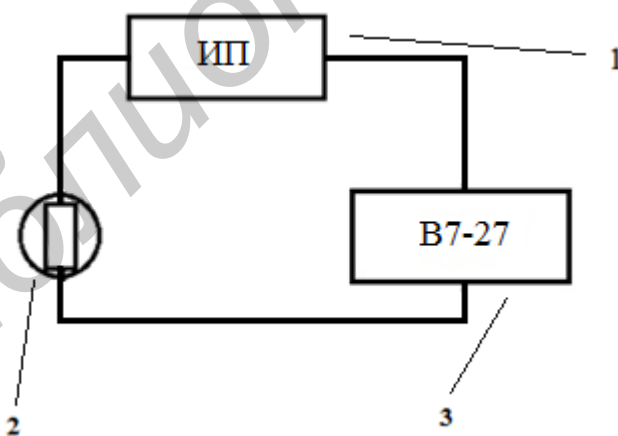


Рисунок 3.3 – Схема измерительной установки

На рисунке 3.3:

- 1 – Источник питания с регулировкой напряжения до 100В;
- 2 – исследуемый фоторезистор;

3 – Вольтметр В7-27 универсальный цифровой, предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного тока, сопротивления постоянному току, силы постоянного тока и температуры, с автоматической индикацией полярности и возможностью измерения величин, на 100% превышающих поддиапазоны измерения прибора.

В данной схеме вольтметр В7-27 используется в режиме измерения тока.

Для каждого образца был проведен анализ полученных результатов.

3.3 Люкс-амперные характеристики образцов

Для изучения люкс-амперных характеристик образцов фоторезисторов была использована следующая аппаратура и компоненты:

- измеритель иммитанса E7-25;
- вольтметр В7-27;
- светонепроницаемая алюминиевая труба;
- сменные светодиоды;
- кнопка РВ22Е08 с фиксацией;
- исследуемые образцы фоторезисторов;

Данные компоненты были подключены по следующей схеме:

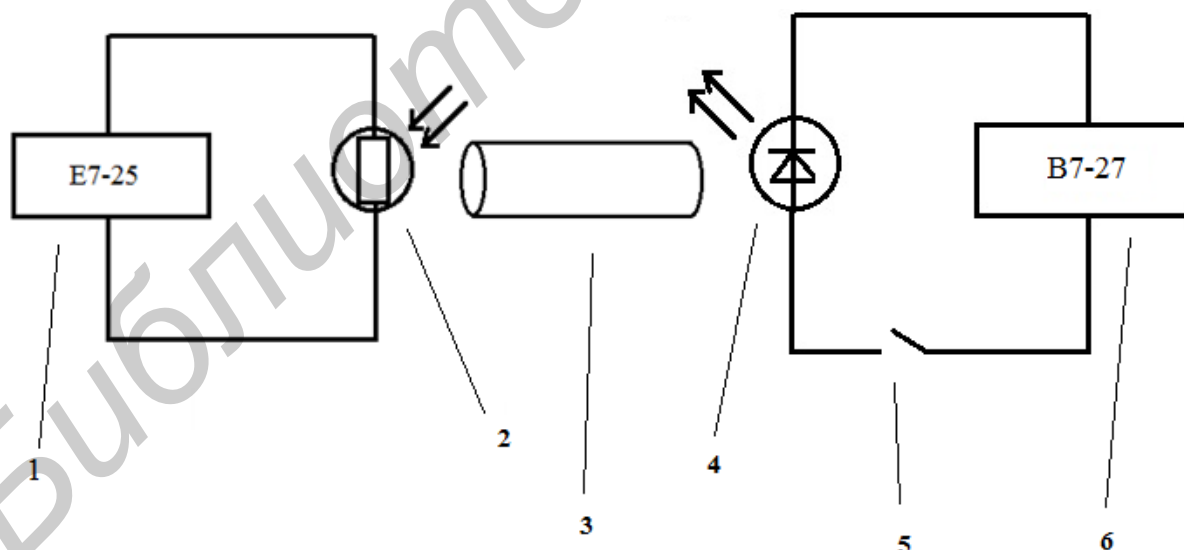


Рисунок 3.10 – Схема базовой установки

На рисунке 3.10:

1 – Измеритель иммитанса E7-25; применяется для измерения емкости, индуктивности, активного и реактивного сопротивления, тока, активной и реактивной проводимости, тангенса угла потерь, добротности, модуля

комплексного сопротивления и проводимости, угла фазового сдвига комплексного сопротивления и тока утечки электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в диапазоне частот 25 Гц...1 МГц;

2 – исследуемый фоторезистор;

3 – алюминиевая светонепроницаемая труба длиной 30 см со специфическими накладками на торцах для удобной фиксации исследуемого образца на одном конце и светодиода на другом (рисунок 3.15). В данном случае труба используется для минимизации воздействия внешних источников света;

Используя аппаратный комплекс, были протестированы 15 экземпляров фоторезисторов ФСК-1.

Рассмотрим результаты тестирования на примере трёх образцов с большой разбежкой значений темнового сопротивления (номера 1, 7, 13 из таблицы 3.1). За начало отсчёта времени возьмём момент подачи тока на светодиод.

3.5 Предложения по использованию результатов диссертации в учебном процессе

На кафедре микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники преподаются дисциплины «Физика конденсированного состояния» и «Физика твёрдого тела».

Баз данных по 15 образцам поликристаллического селенид кадмия позволяет при этом обеспечить 15 вариантов выполнения каждой из четырех указанных лабораторных работ по этим дисциплинам.

Скомпонованное оборудование позволяет также (со слов руководителя) проводить процесс обучения магистрантов и аспирантов, дает возможность проводить соответствующее исследование научным сотрудникам БГУИР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были проведены теоретический и практический анализ поликристаллического селенида кадмия.

В работе были представлены схемы комплексов по изучению ВАХ, температурных зависимостей и люкс-амперных характеристик, предложены варианты использования полученных результатов.

Предложено использовать полученные данные в учебном процессе кафедры микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в лабораториях ФТТ и ФКС в разделах «Фундаментальные электронные свойства твердых тел», «Оптические свойства твердых тел и фотоэлектрические явления», «Методы изучения свойств твердых тел».

Результаты проведенных работ докладывались на следующих конференциях:

1. 52-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Радиотехника и электроника», УО «БГУИР» (тезисы докладов не публиковались);

2. IV Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых на базе государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем В.А.Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель. (отражено в тезисах докладов в соответствующем сборнике);

Результаты доклада в Гомеле отмечены «Сертификатом».