

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Боев Дмитрий Вадимович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Вольтамперная характеристика Pb Sn Te : In в режиме тока,  
ограниченного пространственным зарядом.**

Практикум по физической оптике, 2 курс, группа №18302

**Научный руководитель:**

д. ф.-м. Климов А. Э.

Оценка научного руководителя

\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума:**

к.т.н. Астрелин В. Т.

Оценка преподавателя практикума

\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

\_\_\_\_\_

Итоговая оценка

\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*Рекомендуется к публикации в сборнике избранных курсовых работ*

*Научный руководитель*

*Преподаватель практикума*

*Куратор практикума*

## Аннотация

Целью работы являлось снятие вольт-амперной характеристики структур на основе эпитаксиальных пленок Pb Sn Te : In толщиной 1.7 мкм, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии МЛЭ на подложке (111)BaF<sub>2</sub>, в режиме тока, ограниченного пространственным зарядом. Для выполнения поставленной задачи была собрана схема, использован жидкий гелий, и специальный держатель с защитным кожухом.

Причиной погрешности является то, что зависимость снималась при очень маленьком токе, колебания в комнате (наши движения) стали причиной неточности. Но данные помехи не оказывают влияния на конечный результат.

Ключевые слова: Запрещенная зона, пространственный заряд, токи ограниченные пространственным зарядом, бесщелевые полупроводники.

## Оглавление

<b>1. Введение</b> .....	4
<b>2. Теоретическая часть</b> .....	4
Свойства полупроводников при разных температурах. Бесщелевые полупроводники. ....	4
Инжекция .....	5
Ширина запрещённой зоны .....	5
Теория ловушек.....	6
<b>3. Экспериментальная часть</b> .....	7
<b>4. Заключение</b> .....	8
<b>5. Список литературы</b> .....	9
<b>6. Благодарность</b> .....	9

## 1. Введение

Полупроводник – это материал, основным отличительным свойством которого является увеличение электрической проводимости с ростом температуры. Практически в каждом современном электронно-вычислительном приборе используются полупроводники, процессоры микросхемы, все это полупроводниковые приборы.

Одной из наиболее актуальных областей исследования сейчас являются полупроводники с малой запрещенной зоной. Отсутствие энергетической щели в электронном спектре данных полупроводников обуславливает ряд особенностей. Нелинейность вольт-амперной характеристики, обусловлена несколькими факторами: температурой и составом полупроводника с малой запрещенной зоной.

Целью данной работы является исследование полупроводника с очень малой запрещенной зоной, которая зависит от отношения концентраций РbТе и SnТе в веществе. Этот полупроводник применяется в качестве материала для создания высокочувствительных фотоприемников с глубоким (гелиевым) охлаждением для сверхдальнего ИК-диапазона (за пределами окна прозрачности атмосферы 8–14 мкм). В настоящее время подобные полупроводники активно исследуются в спин-спектрии.

Задачи исследования: получение вольт-амперной характеристики (ВАХ) данного полупроводника и определение его свойств при низких температурах (гелиевых).

## 2. Теоретическая часть

**Свойства полупроводников при разных температурах. Бесщелевые полупроводники.**

В отличие от металлов, полупроводники при высоких температурах начинают лучше проводить электрический ток. Это связано с тем, что при повышении температуры количество носителей заряда в полупроводнике увеличивается. В металле же из-за того, что кристаллическая решетка начинает сильнее колебаться и мешать свободному протеканию свободных электронов в его объеме, растёт сопротивление. Промежуточным звеном между металлами и полупроводниками оказываются полупроводники с нулевой шириной запрещенной зоны. В таких системах в силу случайных или симметричных причин валентная зона и зона проводимости соприкасаются. При  $T=0$  в этих полупроводниках оказывается полностью заполнена валентная зона и полностью свободна зона проводимости. Однако, из-за отсутствия запрещенной зоны часть электронов перейдет в зону проводимости при низкой температуре — то есть, как в металлах, электронная система

оказывается восприимчива к слабому воздействию. В то же время, число электронов, откликающихся на это воздействие, оказывается мало и их количество зависит от температуры иначе, чем в металлах. Такие полупроводники называются бесщелевыми.

К представителям бесщелевых полупроводников можно отнести: твёрдые растворы  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ,  $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ,  $Bi_{1-x}Sb_x$ , у которых при определённом соотношении компонент возникает случайное вырождение уровней, соответствующих дну зоны проводимости и потолку валентной зоны. В этих веществах бесщелевое состояние может быть разрушено под действием любого возмущения, в том числе и возмущения, которое не изменяет симметрию кристалла.

**Инжекция** — физическое явление, наблюдаемое в полупроводниковых переходах, при котором при пропускании электрического тока в прямом направлении через р-п-переход, в прилежащих к переходу областях создаются высокие концентрации инжектированных носителей заряда. Явление инжекции является следствием уменьшения высоты потенциального барьера в р-п-переходе при подаче на него прямого смещения.

**Ширина запрещённой зоны** — разность допустимых энергий электронов между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны, также это минимальная энергия, необходимая для перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости. Ширина запрещённой зоны, составляет от нескольких сотых до нескольких электрон-вольт для полупроводников и свыше 6 эВ для диэлектриков. Она может оказаться и равной нулю, или даже отрицательной. Если она равна нулю, зоны проводимости и валентная соприкасаются, и для возникновения электронно-дырочной пары не требуется энергия, поэтому концентрация носителей оказывается отличной от нуля при сколь угодно низких температурах, как в металлах.

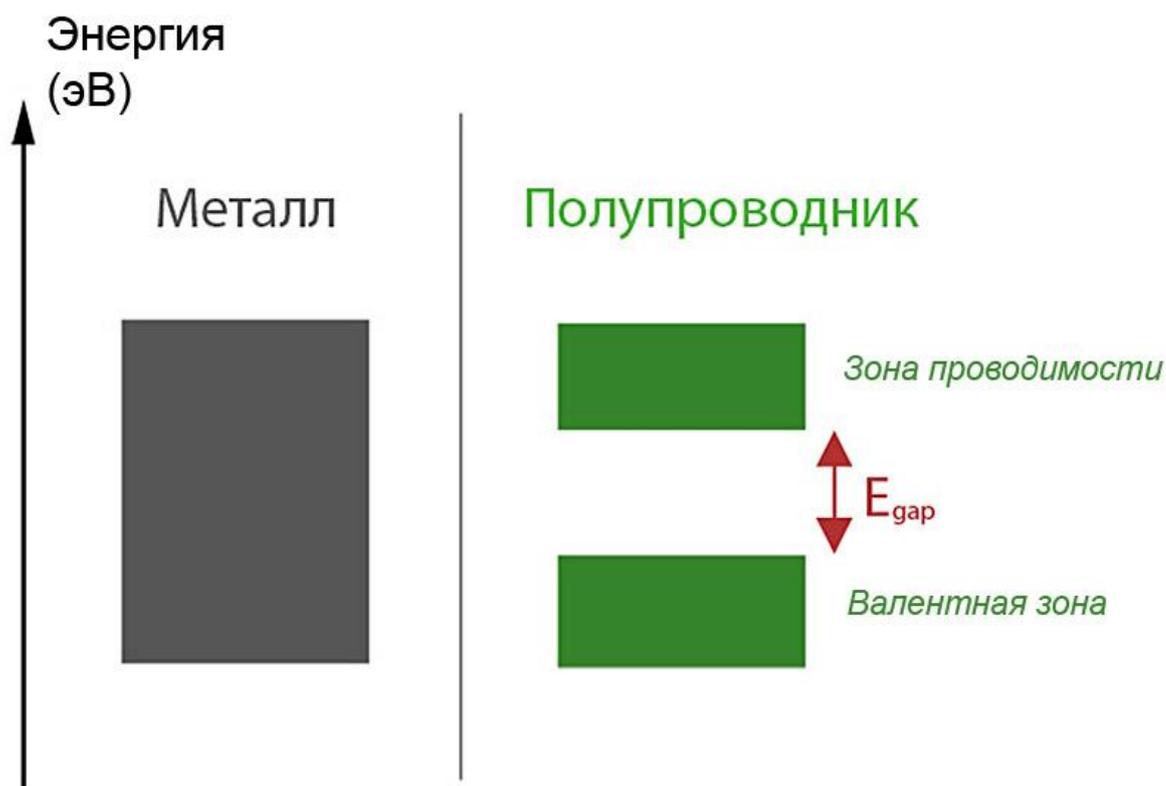


Рис.1 Сравнение энергетических уровней металла и полупроводников.

### Теория ловушек

Основной причиной повышения чувствительности полупроводника к состоянию поверхности является то, что в ограниченном кристалле возникают особые энергетические уровни, локализованные непосредственно у поверхности и играющие роль ловушек электронов и дырок. Наличие таких ловушек приводит к тому, что свободно блуждающие в объеме кристалла электроны и дырки прилипают к поверхности, образуя поверхностный электростатический заряд [1]. С этим зарядом обычно связано сильное ( $\sim 10^5$  В/см) электрическое поле, проникающее на некоторую глубину в объем полупроводника и кардинально изменяющее поведение носителей заряда, что проявляется во многих физических явлениях (электропроводность, работа выхода, фотоэффекты, люминесценция, контактные явления и др.). В прикладном отношении особенно важно то, что поверхностные ловушки во многих случаях ответственны за нежелательные изменения характеристик и нестабильность параметров полупроводниковых приборов.

### 3. Экспериментальная часть

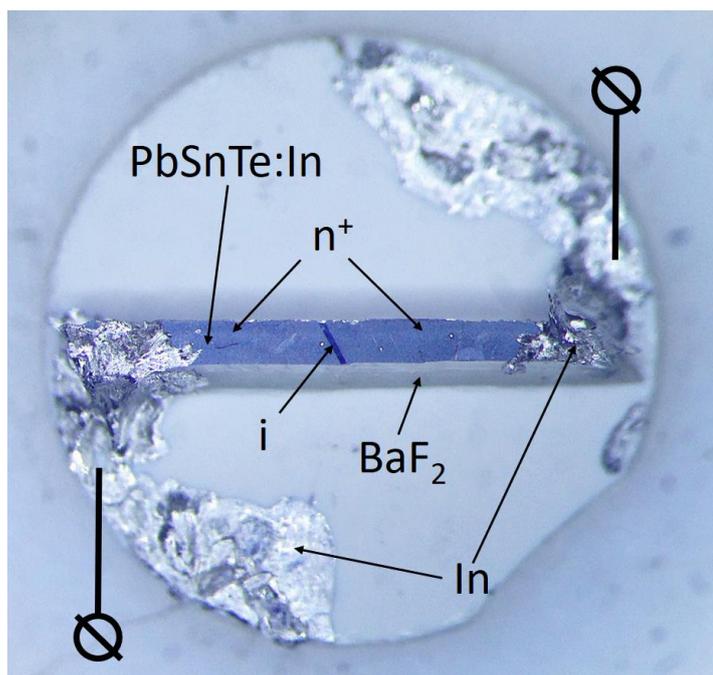
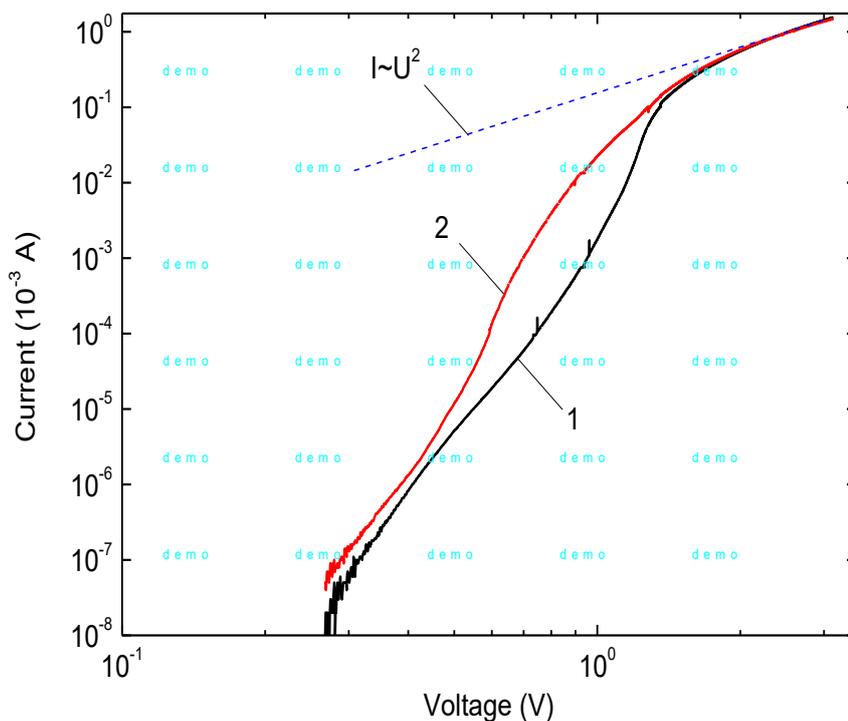


Рис.2 Фотография полупроводника  $PbSnTe:In$

Исследовались пленки  $Pb_{0.71}Sn_{0.29}Te : In$  толщиной 1.7 мкм, полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии МЛЭ на подложке  $(111)BaF_2$ . Концентрация электронов составила  $n_0 < 10^{13} \text{ см}^{-3}$  при  $T < 20 \text{ К}$ , максимальная подвижность  $\mu \approx 3 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  при  $T \approx 40 \text{ К}$ . При первом снятии ВАХа в связи с особенностью нашего полупроводника и температуры, ток рос медленнее, чем при втором снятии ВАХа. При втором снятии ловушки в полупроводнике были заполнены, поэтому ток рос быстрее. При большом напряжении была получена зависимость вида  $I \sim U^2$ .



*Рис. 3  $T=4.2$  К, Кривая 1 – ВАХ первого эксперимента, кривая 2 – ВАХ второго эксперимента*

#### 4. Заключение

В ходе выполнения данной работы была измерена зависимость тока от приложенного напряжения, и было определено, свойства данного полупроводника при токе, ограниченным пространственным зарядом.

В результате были получены графики вольт-амперных характеристик исследуемого полупроводника, при анализе которых была подтверждена теория ловушек в полупроводниках.

## **5. Список литературы**

1. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/598.html>
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб. Пособие: Для вузов. В 5 т. Т III. Электричество. – 4-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004. – 656 с. – ISBN 5-9221-0227-3; 5-89155-086-5.
3. Яковлев В.И. Классическая электродинамика: Учеб. пособие/ Новосиб. ун-т Новосибирск, 2003. – 267 с.
4. Князев Б.А. Лабораторный практикум "Электричество и магнетизм". Выпуск 4. Электрические и магнитные свойства твердых тел. Новосибирск: КОФ НГУ, 2008. - 129 с.
5. [https://www.iae.nsk.su/images/stories/5\\_Autometria/5\\_Archives/2016/5/08\\_neuzv.pdf](https://www.iae.nsk.su/images/stories/5_Autometria/5_Archives/2016/5/08_neuzv.pdf)

## **6. Благодарность**

Астрелену В.Т.

Полине Ишутиной

Зауру Нуриахметову