

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*

**Абдураимов Бахром Абдухалилович**

**ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ И ЛЮКС-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО GaAs**

**Выпускная квалификационная работа**

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

Заведующей кафедрой:

доц. Абидов К.Г.

Руководитель:

ст.преп. Ахмеджанов М.Р.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР</b> .....	8
1.1. Технология получения GaAs .....	8
1.1.1. Выращивание объемных монокристаллов .....	8
1.1.2. Жидкостная эпитаксия .....	9
1.2. Кристаллическая структура и зонная диаграмма GaAs .....	10
1.3. Контакты металл – полупроводник .....	14
1.3.1. Барьеры Шоттки .....	14
1.3.2. Контакты металл – полупроводник .....	17
1.4. Омические контакты .....	17
1.4.1. Минимальное контактное сопротивление .....	17
1.4.2. Сплавные, имплантированные и гетеропереходные омические контакты .....	18
1.5. Ионная имплантация .....	21
1.6. Постановка задачи .....	26
<b>ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ</b> .....	28
2.1. Технология получения экспериментальных образцов .....	28
2.2. Нанесение металлических омических контактов .....	28
2.3. Описание измерительной установки .....	29
<b>ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ</b> .....	32
3.1. Вольтамперные характеристики .....	32
3.2. Люкс-амперные характеристики .....	35
3.3. Спектральные характеристики .....	35

<b>ВЫВОДЫ .....</b>	<b>38</b>
<b>БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....</b>	<b>39</b>
<b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....</b>	<b>47</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>54</b>

## ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени в современной полупроводниковой электронике использовался лишь один материал и один элемент – кремний.

Доминирующее положение кремния объясняется несколькими причинами: замечательными изолирующими свойствами природного оксида кремния, возможностью получения очень чистого материала, простота процесса легирования кремния. Кроме того, число элементов, обладающих полупроводниковыми свойствами весьма, невелико, так что выбор элементарных полупроводниковых материалов ограничен.

Большинство элементарных полупроводников – кремний, германий, серое олово и алмаз – принадлежат к IV группе периодической системы, т.е. имеют по четыре валентных электрона на атом. Это привело к идее синтеза полупроводниковых соединений, в которых среднее число валентных электрона на атом также равно четырём и которые до некоторой степени имитируют свойства кремния. Упомянутые соединения можно составить из элементов III и V групп или элементов II и VI групп (так называемые соединения  $A^{III}B^V$  или  $A^{II}B^{VI}$ ).

Благодаря успешной реализации указанной идеи в настоящее время мы располагаем целым рядом полупроводников типа  $A^{III}B^V$  и  $A^{II}B^{VI}$  с самыми разнообразными свойствами. Арсенид галлия в этом ряду является одним из самых важных. Основное преимущество GaAs – более высокая скорость электронов, чем в Si, особенно в коротких, субмикронных образцах. Этим объясняется быстрое действие транзисторов на GaAs, которые занимают теперь главенствующее положение в электронике СВЧ.

В цифровой электронике преимущества транзисторов на основе GaAs используются пока не полностью. Но суперЭВМ следующего поколения будут базироваться на арсенид галлиевых ИС. Особое место в новой технологии занимают приборы на гетеропереходах, т.е. приборы в которых используются слоистые структуры, выращенные из разных соединений

$A^{III}B^V$ , например, структуры из GaAs и AlGaAs. Основной целью данной выпускной квалификационной работы является изучение влияния ионной имплантации вольтамперные и люкс-амперные характеристики GaAs.

# ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1. Технология получения GaAs

Галлий – элемент редкий. Его получают как побочный продукт при производстве Al или Zn. С помощью стандартных процедур очистки можно получить галлий 99,99999 % чистоты. В жидком состоянии при высоких температурах Ga реагирует с кварцем, что приводит к появлению примесей в GaAs, выращенных в кварцевых тиглях. Ga считается токсичным элементом.

Мышьяк производят в основном из серных руд, таких как  $As_2S_4$  или  $As_2S_3$ . Мышьяк может быть получен в трех различных модификациях. Наиболее стабильной является структура металлического кристаллического мышьяка. Мышьяк токсичен, пары мышьяка химически чрезвычайно активны. Это ограничивает выбор материалов для тиглей, используемых при выращивании GaAs.

### 1.1.1. Выращивание объемных монокристаллов

Основную трудность при выращивании арсенида галлия представляет собой то обстоятельство, что он разлагается в процессе нагрева. Поэтому давление паров мышьяка должно быть выбрано так, чтобы оно могло поддерживать постоянным стехиометрический состав расплава. Еще одна трудность состоит в химической активности Ga и As, которые реагируют с материалом тигля. Наконец, в процессе затвердения GaAs расширяется, что может привести к возникновению больших напряжений в кристалле под действием стенок тигля [1 – 3].

Существуют два основных метода выращивания объемных монокристаллов: (метод Чохральского) вытягивание из расплава и контейнерная зонная плавка.

Метод Чохральского позволяет постоянно наблюдать за ростом монокристалла. Кроме того, в этом методе кристалл GaAs не сжимается стенками тигля. Высокая эффективность и хорошее качество кристалла сделали этот метод наиболее распространенным. Еще одним его преимуществом является то, что кристаллографическая ориентация получаемого кристалла определяется кристаллографической ориентацией затравки.

Объемный GaAs, не легированный специально и выращенный при 1238 °С, обычно представляет собой материал n - типа вследствие того, что в него попадают атомы кремния, служащие донором, либо из исходных химических реактивов, либо из кварцевого тигля. Типичные значения подвижности электронов составляют 3500 – 4000 см<sup>2</sup>/(В·с). Одним из наиболее важных преимуществ технологии объемного GaAs являются возможность получать полуизолирующие подложки, обеспечивающие чрезвычайно низкий уровень паразитных связей между элементами ИС [4].

### **1.1.2. Жидкостная эпитаксия**

«Эпитаксия» – слово греческого происхождения, оно означает «упорядоченно расположенный на чем - либо». Эпитаксиальным называется выращивание кристаллической пленки на кристаллической подложке. Выращенная пленка при этом воспроизводит кристаллографическую структуру подложки.

Схема установки для реализации метода жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) приведена на рис. 1.1. В этой установке подложка, расположенная в графитовом держателе, может скользить под расплавом. Это – оптимальный технологический метод выращивания многослойных структур, который позволяет получать наиболее однородные пленки и наилучшим образом удалять остатки расплава.

Обычно процедура выращивания пленки включает следующие стадии. Вначале Ga помещают в слайдерную кассету. Затем, чтобы удалить примеси, его отжигают при температуре 1000 °С в течении 4 – 10 ч. Далее для насыщения галлия мышьяком к его расплаву добавляют поликристаллический GaAs. С помощью последующего отжига при температуре ~ 800 °С в течении 40 ч удаляют летучие примеси, такие как, кислород и сера. После обезгаживания загружается подложка, и вводятся необходимые примеси. Для уменьшения взаимного влияния различных легирующих добавок используют расплавы с очень низким давлением паров и малым коэффициентом распределения [5, 6].

Следующий этап состоит в нагревании системы в течении 2 – 3 ч до температуры на ~15 °С превышающий температуру роста, с последующим охлаждением до температуры роста (700 – 800 °С).

Большим преимуществом метода ЖФЭ является то, что выращенный слой может содержать меньше примесей, чем исходные компоненты, т.к. большая часть примесей, имеет тенденцию оставаться в процессе кристаллизации в жидкой фазе.

Методы ЖФЭ можно воспроизводимо выращивать слои GaAs с подвижностью, происходящей ~ 150000 см<sup>2</sup>/(В·с) при 77 К, и концентрацией электронов, близкой к 10<sup>14</sup> см<sup>-3</sup>. Плотность электронных ловушек в таком материале составляет < 10<sup>10</sup> см<sup>-3</sup>.

Существуют также и другие методы выращивания эпитаксиальных слоев: газофазная эпитаксия, газофазная эпитаксия с использованием металлоорганических соединений, молекулярно – лучевая эпитаксия.

## 1.2. Кристаллическая структура и зонная диаграмма GaAs

**Кристаллическая структура:** Большинство соединений типа A<sup>III</sup>B<sup>V</sup>, включая GaAs, кристаллизуются со структурой цинковой обманки.

Элементарная ячейка такой структуры содержит два атома А и В и повторяется в пространстве так, что каждый компонент образует гранецентрированную кубическую решетку. Структуру в случае GaAs можно представить как взаимно проникающие гранецентрированные решетки атомов Ga и As, сдвинутые друг относительно друга на четверть главной диагонали (рис. 1.2).

В соответствии с рис. 1.2 связи между ближайшими атомами Ga и As ориентированы вдоль направления  $\langle 111 \rangle$ . Ближайшие эквивалентные атомы расположены в направлении  $\langle 110 \rangle$ .

Из-за отсутствия в GaAs центра инверсии направления  $[111]$  и  $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$  не эквиваленты. Направление от атома галлия к ближайшему атому мышьяка обычно имеет обозначение  $[111]$ , а обратное ему обозначается как  $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ . Поверхность кристалла, сколотого вдоль плоскости  $(111)$ , состоит либо из атомов Ga, имеющих по три связи с кристаллом, либо из атомов As, имеющих только по одной связи с кристаллом. Для плоскости  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  ситуация обратная. Плоскость  $(111)$  называется галлиевой, а плоскость  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  – мышьяковой.

Вследствие частичной гетерополярности связи в GaAs сильнее, чем гомополярные связи в Si или Ge. Это приводит к меньшей амплитуде колебаний решетки (и, как следствие, к большей подвижности), более высокой точки плавления и более широкой запрещенной зоне [7, 8].

**Зонная структура:** Уникальность электрофизических свойств GaAs, объясняется особой структурой энергетических зон, обеспечивающих прямые переходы электронов из зоны проводимости в валентную зону без изменения импульса, благодаря чему перешедшие электроны способны отдать всю свою энергию в виде светового кванта. Второй особенностью энергетической структуры GaAs является наличие двух долин в зоне проводимости, разность энергетических уровней которых составляет  $\sim 0,36$  эВ. В сильных электрических полях электроны приобретают энергию, достаточную для перевода части электронов проводимости из глубокого

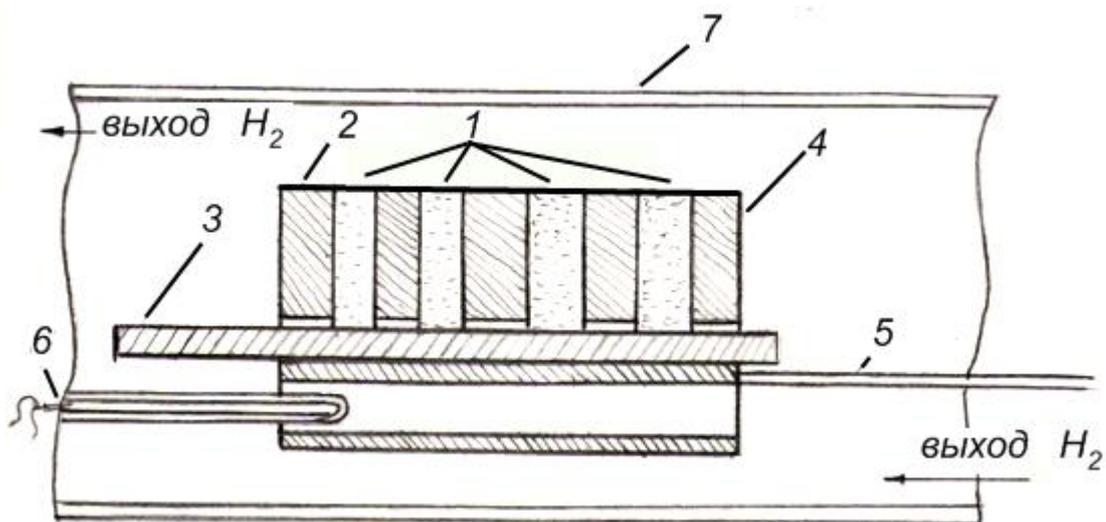


Рис. 1.1. Реализация метода ЖФЭ: 1 – растворы-расплавы, 2 – стенки ячеек, 3 – графитовый держатель подложек, 4 – подвижный графитовый держатель раствора-расплава, 5 – выдвигной стержень, 6 – термопара, 7 – кварцевая трубка.

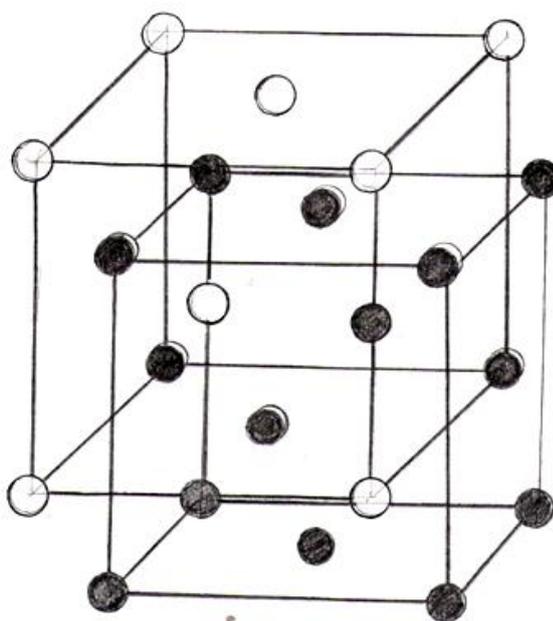


Рис. 1.2. Структура арсенида галлия:  $\circ$  – атомы галлия;  $\bullet$  – атомы мышьяка.

основного энергетического минимума в менее глубокий, побочный минимум энергетического спектра электронов. Квантомеханические расчеты показывают, что этот переход сопровождается изменением эффективной массы электронов. Таким образом в сильном электрическом поле происходит разделение электронов проводимости на две группы с различными эффективными массами, что приводит к образованию своеобразных доменов, прохождение которых по кристаллу вызывает флуктуацию тока, и следовательно, генерацию СВЧ колебаний, получившему название эффекта Ганна.

Модель, отражающая наиболее существенные черты зонной структуры кубических полупроводников, изображена на рис. 1.3. Зонные структуры, показанные на рис. 1.3 типичны для Si, Ge и полупроводников типа  $A^{III}B^V$ . Зонная структура, показанная на рис. 1.3 имеет три минимума зоны проводимости, расположенные в точках  $\Gamma(0, 0, 0)$  и  $L(1, 1, 1)$  и в некоторой точке  $X(1, 0, 0)$ . Вершины валентных зон расположены в точке  $\Gamma$ , причем две из них (зоны легких и тяжелых) в этой точке вырождены, а третья отщеплена спин-орбитальным взаимодействием. Значения ширины запрещенной зоны и эффективной массы для GaAs составляют:

$E_{\Gamma}$ , эВ	$E_L$ , эВ	$E_x$ , эВ	$E_{SO}$ , эВ	$m_{hh}$	$m_{hl}$	$m$
1,42	1,71	1,90	0,34	0,62	0,074	0,067

$m$  – эффективная масса электронов,  $m_{hh}$ ,  $m_{hl}$  – эффективная масса дырок (тяжелых и легких соответственно).

Указанные особенности энергетической зонной структуры привели к созданию на основе GaAs высоко эффективных когерентных и некогерентных источников ИК-излучения и нового типа твердотельных СВЧ генераторов (диоды Ганна).

Такие свойства арсенида галлия, как большая ширина запрещенной зоны, малая эффективная масса электронов, большая подвижность и малое

время жизни носителей значительно расширяет диапазон работы приборов на его основе по сравнению с классическими полупроводниками Si и Ge. Большая ширина запрещенной зоны и высокая подвижность позволяют использовать GaAs-приборы в области высоких температур и высоких частот, что исключительно важно для применения GaAs в новых видах ИС.

### 1.3. Контакты металл – полупроводник

#### 1.3.1. Барьеры Шоттки

Электростатический потенциальный барьер (барьер Шоттки) возникает на границе полупроводника с металлом. Чтобы понять природу этого эффекта, рассмотрим сначала процессы на границе полупроводника n – типа (рис. 1.4). Внутри кристаллов потенциальная энергия электронов меньше, чем в вакууме, т.к. электроны испытывают притяжение со стороны положительных ионов кристаллической решетки. Тем, не менее благодаря тепловому движению некоторые электроны имеют энергию, превосходящую  $E_C + X_{SO}$ , и могут покинуть кристалл [9 – 11].

Перпендикулярный к поверхности поток электронов может быть рассчитан с помощью распределения Максвелла-Больцмана:

$$I_S = \frac{m_n (kT)^2}{2\pi^2 \hbar^3} e^{-X_S/kT} \quad (1.1)$$

где  $m_n$  – масса электрона,  $T$  – температура решетки. Этот эффект называют термоэлектронной эмиссией. Ушедшие электроны, оставляют в кристалле uncompensated положительный заряд, и возникающее электрическое поле приводит к изгибу зон вблизи поверхности. Кроме того, этот положительный заряд притягивает электроны назад, вследствие чего, устанавливается термодинамическое равновесие.

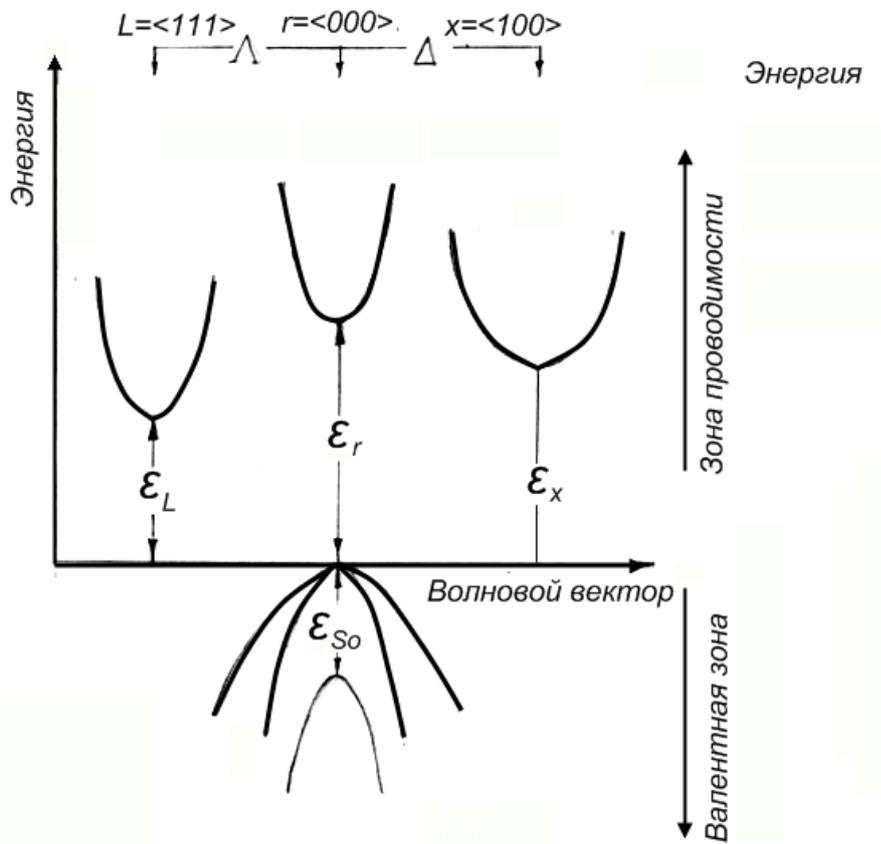


Рис. 1.3. Зонная структура модельного кубического полупроводника.

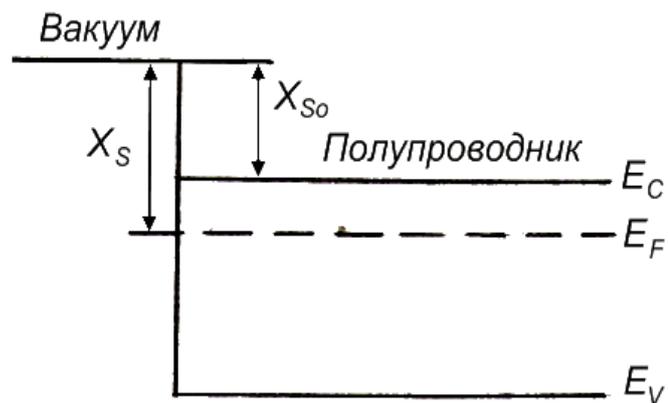


Рис. 1.4. Распределение потенциала на поверхности полупроводника:  $E_C$  – дно зоны проводимости,  $E_V$  – потолок валентной зоны,  $E_F$  – уровень Ферми,  $X_S$  – работа выхода,  $X_{S0}$  – энергия электронного сродства.

На рис. 1.4 показано распределение потенциала без учета изгиба зон. Если привести в соприкосновение металл и полупроводник, то возникнут два встречных потока электронов: из полупроводника в металл (см. (1.1)) и из металла в полупроводник:

$$I_m = \frac{m_n(kT)^2}{2\pi^2\hbar^3} e^{-X_m/kT} \quad (1.2)$$

где  $X_m$  – работа выхода металла. Если  $X_m > X_s$ , то  $I_m < I_s$  при этом металл будет заряжаться отрицательно, а полупроводник положительно. Результирующая разность потенциалов будет равна:

$$U_{Bi} = X_m - X_s \quad (1.3)$$

а соответствующая высота барьера составит

$$\phi_B = X_m - X_{s0} \quad (1.4)$$

где  $X_{s0}$  – энергия электронного сродства. Отрицательный заряд в металле практически локализован в моноатомном слое вблизи поверхности (вследствие большой плотности свободных электронов). Плотность положительного заряда в полупроводнике ограничена концентрацией ионизированных доноров, и область пространственного заряда простирается вглубь полупроводника. Возникающее распределение потенциала показано на рис. 1.5.

Однако реальная высота барьера Шоттки значительно отличается от задаваемой уравнением (1.4). Это отличие вызвано наличием поверхностных состояний на границе между полупроводником и оксидным слоем, который всегда присутствует на поверхности [12 – 15].

### **1.3.2. Контакты металл – полупроводник**

В реальных приборах для получения барьера Шоттки поверхность полупроводника подвергается химическому травлению непосредственно перед осаждением металла. В таких условиях неизбежно формирование приповерхностного оксидного слоя, и высота барьера определяется поверхностными состояниями. Хотя от вида металла существенно зависит высота барьера, в основном металл выбирают из соображений легкости осаждения, химической стойкости, удельного сопротивления и т.д. При изготовлении приборов на основе GaAs, например, широко используются затворы из алюминия, а в арсенид галлиевых ИС – контакты из TiW – Au. Сплавы TiW обладают хорошей адгезией, устойчивы к коррозии и обеспечивают барьер хорошего качества. Для уменьшения переходного сопротивления сплава на его поверхность часто напыляют золотую пленку. Если необходимо работать при высоких температурах, то используют вольфрамовые контакты, например, когда необходим отжиг контактов Шоттки после ионной имплантации. Сопротивление этих контактов более чем в два раза превосходит сопротивление контактов на основе алюминия.

## **1.4. Омические контакты**

### **1.4.1. Минимальное контактное сопротивление**

Как уже отмечалось в предыдущем разделе, омические контакты с низким сопротивлением получают на практике путем увеличения уровня легирования вблизи границы раздела металл – полупроводник до такой степени, что обедненный слой, связанный с барьером Шоттки становится очень тонким и ток через барьер возрастает за счет туннелирования.

Зонная диаграмма контакта металл –  $n^+$ ·GaAs –  $n$  GaAs иллюстрирующая роль  $n^+$ -слоя показана на рис. 1.6. На основе этой диаграммы можно оценить нижнюю границу контактного сопротивления  $r_{\text{конт.}}$ , приведенного к единице площади. Эта оценка основывается на предположении, что приведенное контактное сопротивление на границе металл – полупроводник мало по сравнению с приведенным сопротивлением  $n^+$  -  $n$  – перехода. Из теории  $n^+$  -  $n$  – перехода находим, что

$$(r_{\text{конт.}})_{\text{min}} = \frac{(2\pi mkT)^{1/2}}{q^2 n_0} \quad (1.5)$$

Здесь  $m$  – эффективная масса,  $n_0$  – концентрация легирующей примеси в активном слое. Для GaAs имеем  $m = 0,067m_e$  и

$$(r_{\text{конт.}})_{\text{min}} (\text{Ом} \cdot \text{см}^2) = 1,55 \cdot 10^{-5} \left( \frac{T}{300} \right)^{\frac{1}{2}} (10^{15} / n_0) \quad (1.6)$$

Здесь температура выражена в градусах Кельвина, а концентрация примеси в  $\text{см}^{-3}$ .

#### 1.4.2. Сплавные, имплантированные и гетеропереходные омические контакты

Общепринятым является использование сплавных омических контактов, которое дает возможность создать высоколегированный слой вблизи поверхности. Однако, как будет показано ниже, неоднородность тока не позволяет достигать в этом случае теоретических значений контактного сопротивления [16, 17].

Для создания омических контактов используется также ионная имплантация или диффузия, дающие высоколегированный слой вблизи поверхности.

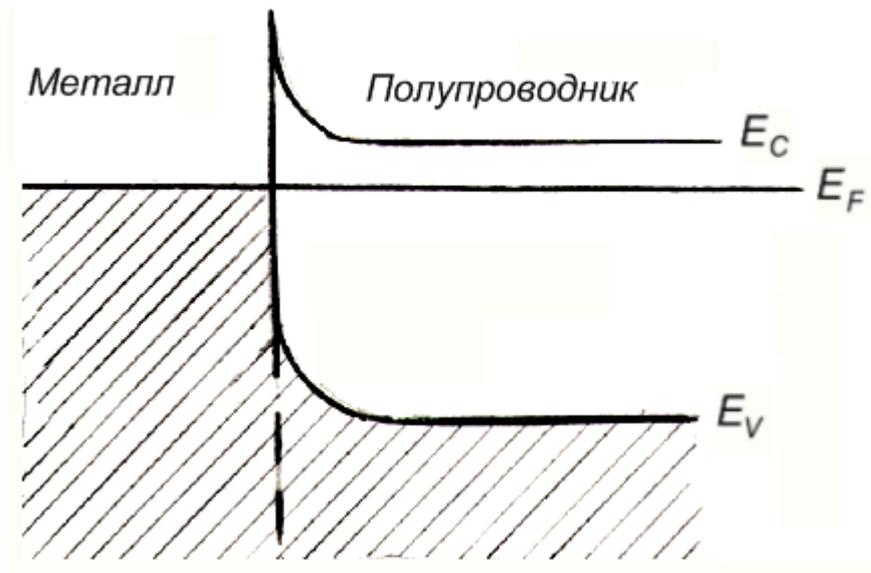
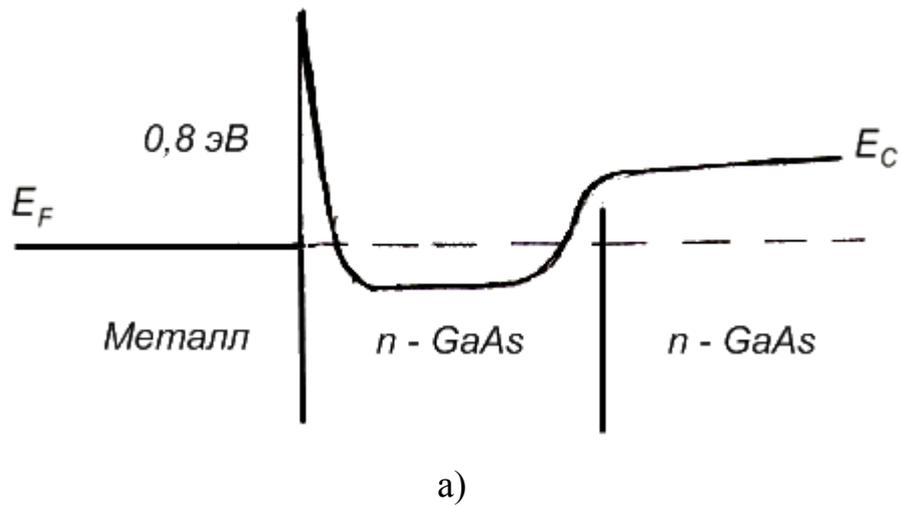
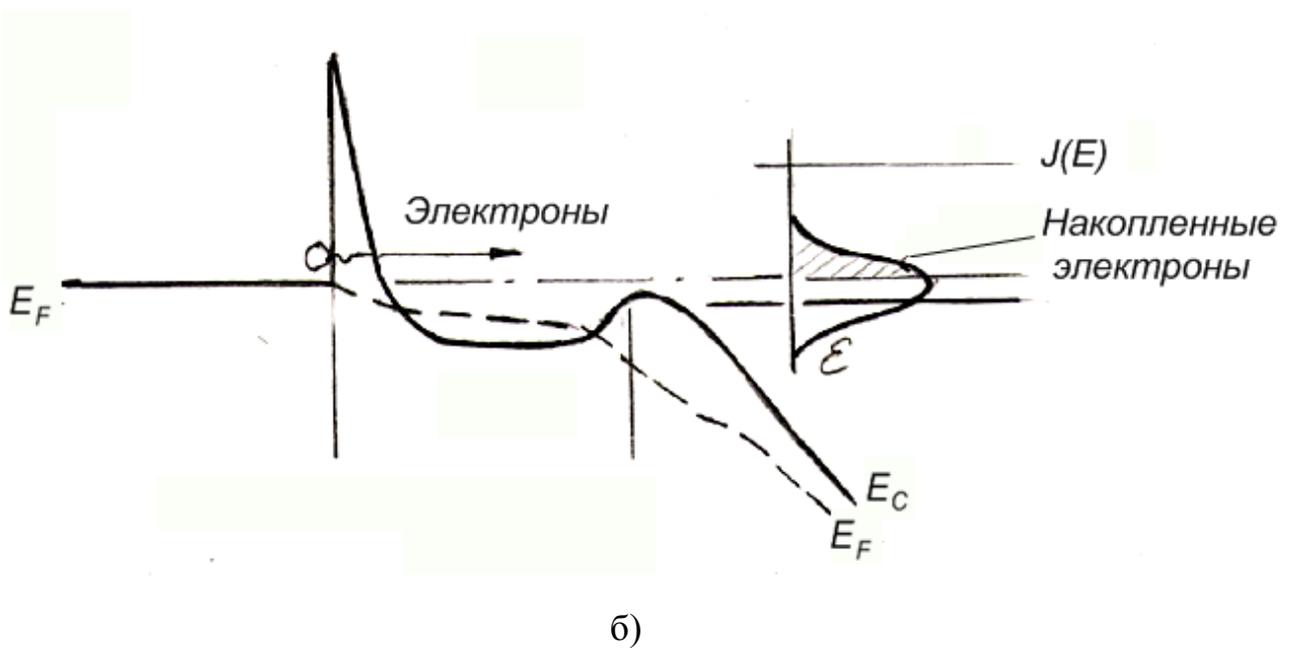


Рис. 1.5. Барьер металл – полупроводник.



а)



б)

Рис. 1.6. Зонная диаграмма омического контакта металл –  $n^+$  GaAs – n GaAs в отсутствие (а) и при наличии (б) смещения.

Концентрация легирующей примеси ограничивается растворимостью примеси и может достигать  $5 \cdot 10^{-19} \text{ см}^{-3}$  для n GaAs и  $10^{20} \text{ см}^{-3}$  для p GaAs. Ионная имплантация позволяет получать вблизи поверхности концентрации, превышающие предел растворимости.

Существует и еще один метод – эпитаксиальное выращивание высоколегированных слоев между активным слоем и металлическим контактом. Многообещающий вариант этого метода состоит в уменьшении высоты барьера и, следовательно, контактного сопротивления с помощью введения промежуточного полупроводникового слоя между металлом и активным слоем прибора (Экспериментальным путем установлено, что во многих случаях высота барьера составляет  $\sim 2/3$  ширины запрещенной зоны). Для GaAs, легированного до  $1,5 \cdot 10^{18}$  и  $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , были получены контактные сопротивления  $5 \cdot 10^{-8}$  и  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  соответственно.

Напыление эвтектического сплава Au-Ge (с никелевым покрытием) с последующим вжиганием при температуре, превосходящей температуру плавления эвтектического сплава, было впервые предложено для изготовления контактов к n GaAs в работе зарубежных ученых Ганна, Браслау и теперь применяется достаточно широко. Для изготовления сплавных контактов используются также AgInGe, AuGe-AgAu, In-AuGe, AuGe-Pt. В процессе сплавления образуются вакансии Ga. В случае контактов Au-Ge эти вакансии занимают диффундирующими атомами Ge, которые в подрешетке Ga играют роль доноров. Эффективная плотность легирующей примеси в сплавленном слое может достигать  $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

Для уменьшения контактного сопротивления  $r_{\text{конт.}}$  используют следующие пути: сначала создают однородный сильнолегированный слой, используя многократную ионную имплантацию или молекулярно-лучевую эпитаксию, затем делают сплавной контакт к этому слою и тем самым уменьшают сопротивление растекания [18, 19].

Еще одна интересная возможность уменьшения контактного сопротивления обсуждалась выше – это уменьшение эффективной высоты барьера Шоттки с помощью гетероконтактов.

### 1.5. Ионная имплантация

Ионная имплантация один из важнейших методов изготовления СВЧ приборов и ИС на GaAs. При использовании данного метода для легирования полупроводника или создания в нем слоев с высоким сопротивлением применяют бомбардировку поверхности полупроводника пучком быстрых ионов. Уровень легирования и распределения примеси в полупроводнике определяется величиной потока и энергией ионов. Появляющиеся в процессе бомбардировки дефекты отжигают при температуре  $\sim 800$  °С.

К преимуществам данного метода относятся возможность независимого контроля уровня и профиля легирования, сравнительно хорошая воспроизводимость и легкость локального легирования любого участка поверхности с помощью маскирования. Для получения сложного профиля легирования с высоким разрешением, которое трудно или невозможно получить эпитаксиальными методами, можно использовать многократную имплантацию. Эти преимущества особенно важны в случае полупроводниковых соединений, таких, как GaAs, где диффузионное легирование произвести сложнее, чем в кремнии [20 – 23].

Распределение имплантированных ионов близко к гауссовому и характеризуется положением максимума  $R$  и среднеквадратичного отклонения  $\Delta R$  (рис. 1.7).

Согласно теории ионной имплантации [8], профиль распределения имплантированных ионов имеет гауссову форму в случае аморфных мишеней, для которых отклонение от траекторий абсолютно неупорядоченно. В случае кристаллических мишеней распределение

имплантированных ионов зависит от кристаллографической ориентации поверхности мишени. Когда направление пучка ионов совпадает с кристаллографическим направлением, в котором между атомами полупроводника существуют сравнительно большие промежутки (каналы) часть ионов проникает в полупроводник достаточно глубоко. Это может привести к негауссовому профилю распределения примеси и даже к наличию у него второго максимума. Уменьшить этот эффект можно, если ионный пучок немного отклонить от такого кристаллографического направления.

Имплантированные ионы смещают атомы полупроводника из узлов. Если энергия ионов достаточно велика, на поверхности полупроводника возникают области аморфизации. При больших дозах имплантации поверхностный слой может стать полностью аморфным. В GaAs формирование аморфизованных слоев подавляется, если ионная имплантация проводится при температуре, превышающей 150 °С. Для уменьшения плотности дефектов, возникающих в кристалле, после имплантации необходимо провести отжиг при температуре ~800 °С.

Однако при нагревании выше 600 °С с поверхности GaAs улетучивается мышьяк. Для того, чтобы можно было нагреть GaAs вплоть до 950 °С, его поверхность покрывает с помощью плазменного напыления слоем  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . При температурах до 750 °С лучшим покрытием является AlN, поскольку его коэффициент теплового расширения ближе к GaAs. Можно также проводить отжиг в атмосфере As при избыточном давлении (без защиты поверхности).

В процессе отжига происходит диффузия имплантированной примеси, в результате чего её профиль распределения изменяется. Существует множество пленок, препятствующих выходу атомов примеси с поверхности образца. Наличие таких пленок приводит к увеличению концентрации легирующей примеси вблизи поверхности по сравнению с исходным, близким к гауссовому профилю.

В зависимости от того какие ионы имплантируются можно получить GaAs n -, p-типа или GaAs с высоким сопротивлением. Примеси шестой (Se, Te, S) или четвертой (Si, Sn) группы приводят к формированию n GaAs. При имплантации в образец, нагретый до  $\geq 150$  °C, ионы VI группы занимают узлы As. Имплантация при таких повышенных температурах вызывает увеличение эффективности легирования (т.е. увеличение отношения уровня легирования к плотности имплантируемых ионов рис. 1.8). Чтобы элементы VI группы оказались донорами, они должны занимать в материале узлы Ga. Для атомов Sn нагревание образцов в процессе имплантации дает значительное увеличение эффективности легирования, в то время как при имплантации Si увеличение невелико.

Важным фактором при имплантации является также температура последующего отжига. Обычно её выбирают в диапазоне 850 – 950 °C. Эффективность легирования зависит от дозы имплантации. Для малой дозы она оказывается значительно выше, т.к. при этом меньше повреждается материал (рис. 1.9). Для ликвидации радиационных повреждений в слоях, подвергшихся имплантации с высокой дозой, используют импульсные лазерные и электронные пучки. В случае импульсного лазера использовались короткие ( $\sim 20$  нс) импульсы, которые переводят имплантированный слой из аморфного состояния в кристаллическое. Требуемая энергия импульса зависит от толщины аморфного слоя. Максимальная концентрация носителей в подвергнутых лазерному отжигу имплантированных слоях GaAs может достигать  $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , что значительно превосходит ту величину, которую можно получить с помощью термического отжига. Отжиг электронным пучком дает ту же концентрацию, что и лазерный отжиг.

Подвижность электронов в имплантированных слоях зависит от максимальной концентрации носителей и изменяется от  $3500 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  при плотности легирования  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$  до  $2000 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  при плотности  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  и  $300 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  при плотности  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

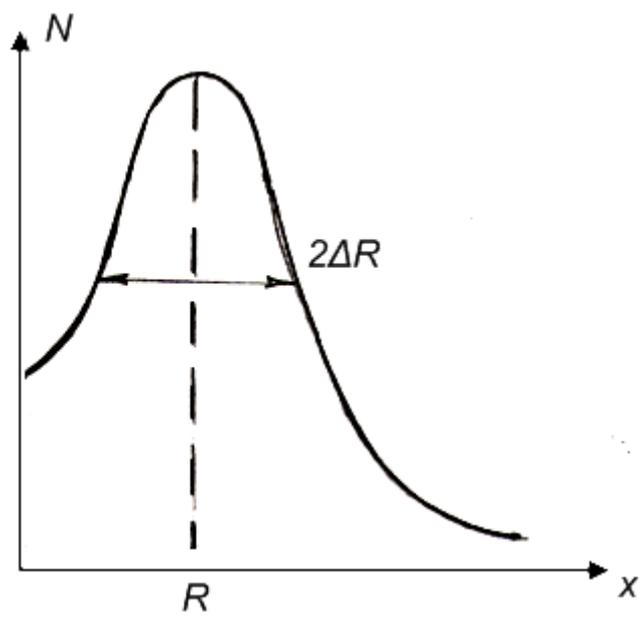


Рис. 1.7. Типичный профиль имплантации ( $R$  – расстояние от поверхности до точки максимума,  $\Delta R$  – среднеквадратичное отклонение).

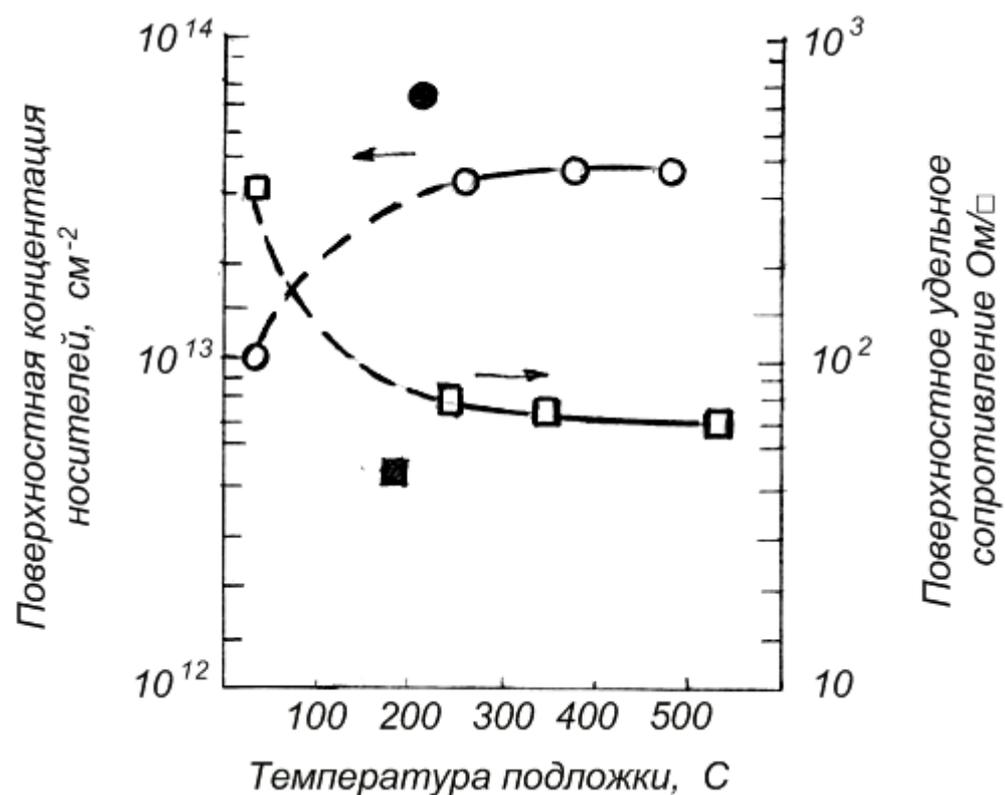


Рис. 1.8. Зависимость поверхностной концентрации носителей и поверхностного удельного сопротивления от температуры подложки (Доза имплантации  $10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; имплантируется Se при  $E = 400 \text{ кэВ}$ ; температура отжига  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ; время отжига 15 мин; покрытие  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Белые квадраты соответствуют имплантации через слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  толщиной 70 нм; черные – имплантация непосредственно в GaAs).

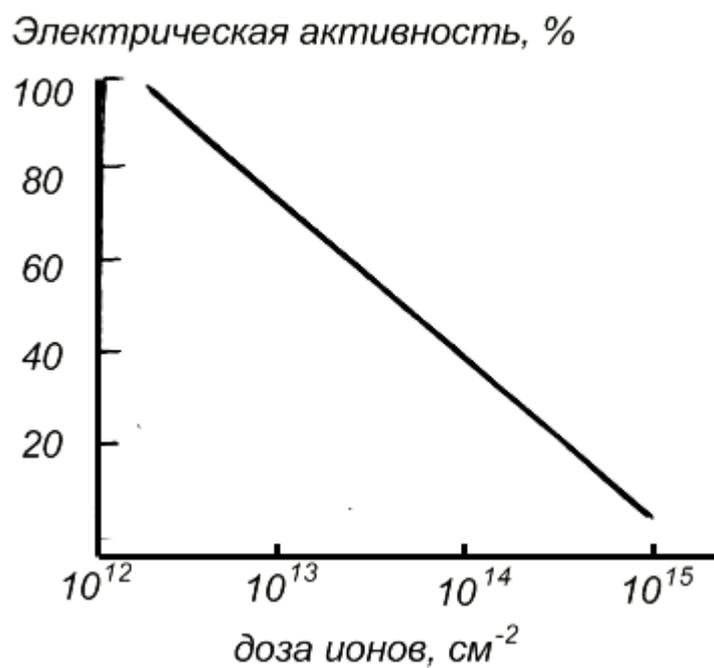


Рис. 1.9. Зависимость электрической активности имплантированного при 400 кэВ  $\text{Se}^+$  от дозы. Имплантация происходила в полуизолирующий, легированный хромом GaAs. Температура имплантации 350 °С; температура отжига 900 °С; время отжига 10 – 15 мин.

Стандартными легирующими примесями р - типа для GaAs является Zn, Be, Cd, Mg и C. Для малой дозы ( $\leq 10^{14}$  см<sup>-2</sup>) эффективность легирования близка к 100%. В случае большой дозы она падает из-за наличия предела растворимости.

Качество и воспроизводимость ионно-имплантированных слоев GaAs сильно зависит от качества арсенид галлиевой подложки, используемой для имплантации. Одним из возможных последствий низкого качества подложки является формирование поверхностного проводящего слоя на не имплантированных участках полуизолирующей подложки в процессе отжига – это так называемый эффект поверхностной инверсии. Могут также изменяться профили имплантированных ионов, и у него могут появиться «хвосты» (уходящие вглубь от поверхности на длину вплоть до 1 мкм). Свидетельством низкого качества подложки является кажущееся увеличение энергии активации имплантированной примеси, превышающее иногда 100%.

Тщательная проверка качества подложек помогает избежать указанных проблем, которые связаны, вероятно, с диффузией Cr в легированных хромом полуизолирующих подложках.

Методом ионной имплантации из-за вызываемых ионами повреждений решетки можно получать полуизолирующие слои GaAs. Также этим методом были получены самые разнообразные приборы на GaAs и других полупроводниковых соединениях, в том числе полевые транзисторы, ИС, варисторы, лавинно-пролетные диоды, солнечные батареи и биполярные транзисторы.

## **1.6. Постановка задачи**

Краткий обзор литературных данных по исследованию арсенид галлиевых структур свидетельствует, что он является перспективным материалом для микро- и оптоэлектроники. Вместе с тем свойства

легированного ионами, в частности ионами бария, арсенида галлия остаются малоизученными. Отсутствуют сведения о его фотоэлектрических свойствах. Поэтому в выпускной квалификационной работе ставились следующие задачи:

1. Получить экспериментальные образцы арсенида галлия, легированного ионами бария.
2. Исследовать вольтамперные, световые характеристики эталонных и экспериментальных образцов GaAs.
3. Проанализировать спектральные характеристики.

## ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Технология получения экспериментальных образцов

а) Эталонный образец (образец №1) представляет собой монокристаллический арсенид галлия ориентированный в кристаллографическом направлении  $\langle 100 \rangle$ . Концентрация носителей заряда составляет  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Образец специально нелегированный. Тип проводимости обусловлен неконтролируемыми примесями, обычно кислородом и в технологическом процессе температурного воздействия (отжига) при температуре около  $800^\circ\text{C}$  приобретает p - тип проводимости. Толщина образцов после механической обработки (шлифовки, полировки) составляет 350 – 400 мкм. Такие кристаллы используются в оптических модуляторах.

б) Экспериментальный образец (имплантированный, образец №2) получен имплантацией ионов бария с энергией пучка 1 кэВ, доза имплантации составила  $10^{16} \text{ см}^{-2}$ , температура последующего отжига  $750^\circ\text{C}$ ; имплантирование в подложку проводилось при комнатной температуре. Толщина легированного слоя или глубина внедрения ионов равна 200 – 300 Å. Образцы имеют неправильную геометрическую форму. Примерные линейные размеры образца №1 1 см × 0,7 см, образца №2 1,3 см × 1 см.

### 2.2. Нанесение металлических омических контактов

Для снятия и измерения заданных характеристик с образца, необходимо предварительно изготовить омические контакты. Изготовление омических контактов производилось на установке ВУП – 4.

Вакуумный универсальный пост (ВУП-4) предназначен для осуществления операций электронно-микроскопического препарирования, связанных с распылением материалов в вакууме. Прибор может быть

использован для металлизации материалов в вакууме, нагрева и охлаждения исследуемых образцов, очистки образцов и распыления материалов с помощью ионной бомбардировки.

Процесс изготовления контактов состоит из следующих этапов.

образец устанавливается в рабочую камеру на столик держатель; напыление производится через специальную «маску»; в испаритель кладется кусочек олова и рабочая камера закрывается. Далее включаем механический форвакуумный насос для откачки предварительного вакуума  $10^{-3}$  Торр. откачка идет примерно 10 мин. Вакуум измеряется манометрическим термопарным преобразователем ПМТ – 4. На основе которого строится термопарный манометр. Вакуум ниже  $10^{-3}$  мм рт. ст. измеряется ионизационным манометром на основе преобразователя ПМИ – 2. После достижения предварительного вакуума вентиль форвакуумного насоса перекрывается и открывается вентиль диффузионного насоса. После достижения вакуума  $10^{-4} - 10^{-5}$  Торр. через воронку заливается жидкий азот для охлаждения ловушек. Ловушки служат для улавливания паров масла. После откачки рабочей камеры до высокого вакуума  $\sim 10^{-6}$  торр (20 мин.) включаем нагреватель рабочего столика для прогрева подложки. Через испаритель проходит электрический ток разогревающий олово до температуры парообразования. Процесс напыления длился около полминуты. Подложка охладилась до  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Закрываем вентиль насоса и поворотом ручки напускаем в объем воздух. Открыли колпак, сняли со столика образцы с оловянными дорожками. Образец готов для дальнейших измерений. Приведенное контактное сопротивление полученного омического контакта составляет  $5 \cdot 10^{-4}$  Ом·см<sup>2</sup>.

### **2.3. Описание измерительной установки**

На рис. 2.1 приведена электрическая схема измерительной установки. Она состоит из блока питания Б5-49 постоянного тока, позволяющее

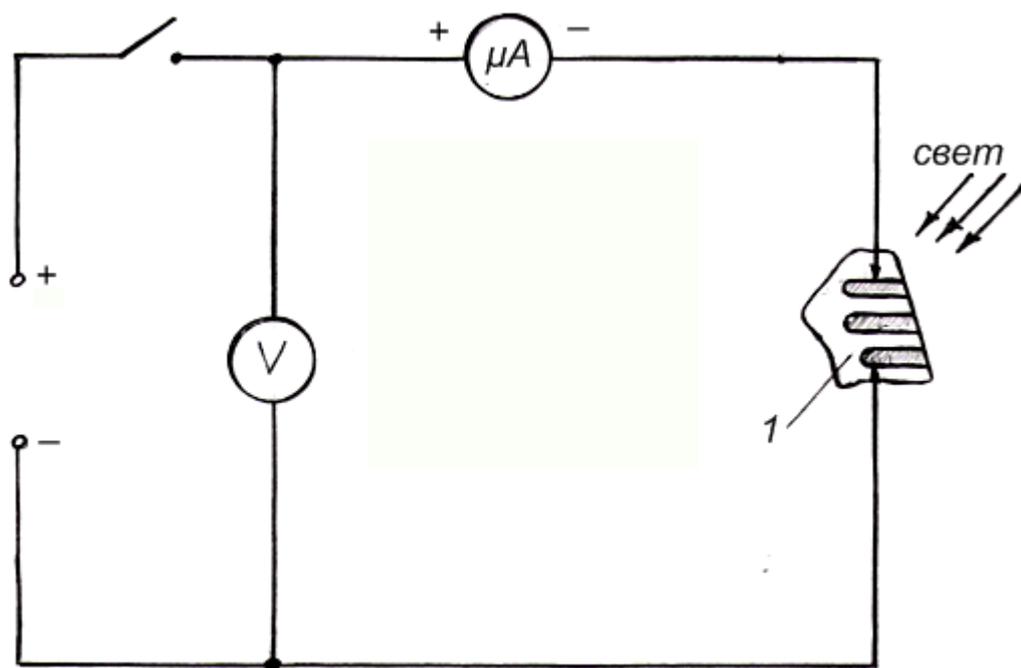


Рис. 2.1. Электрическая схема измерительной установки: 1 – образец с омическими контактами.

подавать постоянное напряжение с шагом 0,1 В. Напряжение на образце фиксируется вольтметром В7-21, а ток вольтамперметром В7-21А. Пределы измерения тока изменялись от долей микроампера до единиц миллиампера. Погрешность измерения составляет 4%.

В качестве оптического источника использовали вольфрамовую лампочку; с максимумом излучения  $\lambda = 0,55$  мкм. Спектральные характеристики снимались на ИКС-21. Освещенность измерялась люксметром Ю.116.

## ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 3.1. Вольтамперные характеристики

На рис. 3.1. приведена вольтамперная характеристика эталонного образца (обр. №1). Видно, что по мере увеличения приложенного напряжения ток нелинейно возрастает. Темновой и световой токи исходят из одной точки (0,02 мкА), далее разность между ними увеличивается. Нелинейность вольтамперных характеристик указывает на высокоомность исследуемого эталонного образца. Т.е. в формировании тока имеют место инжекционные процессы со стороны анода и процессы обеднения со стороны катода. Величина тока при 1 В достигает в темноте до 0,54 мкА, а при подсветке до 1,3 мкА.

Что же касается имплантированных ионами бария образцов (рис. 3.2), то в них как темновые, так и световые ВАХ очень сильно отличаются от ВАХ образца №1. Токи отличаются почти на 2 порядка. Так в темноте значение тока при напряжении 1 В достигает 94 мкА, а световой ток имеет значение до 290 мкА при напряжении 1 В. Это указывает на то, что чувствительность в легированном образце намного больше, чем в эталонном образце.

Можно сказать, что при внедрении ионов бария создаются fotocувствительные центры, где генерируются фотоносители. Механизм формирования токов идентичен с имеющим место в контрольном образце.

Но, предположительно, увеличение толщины легированного слоя позволило бы приблизить их вольтамперные характеристики к линейным. В итоге можно было бы получать проводящие слои с идеально омическими областями.

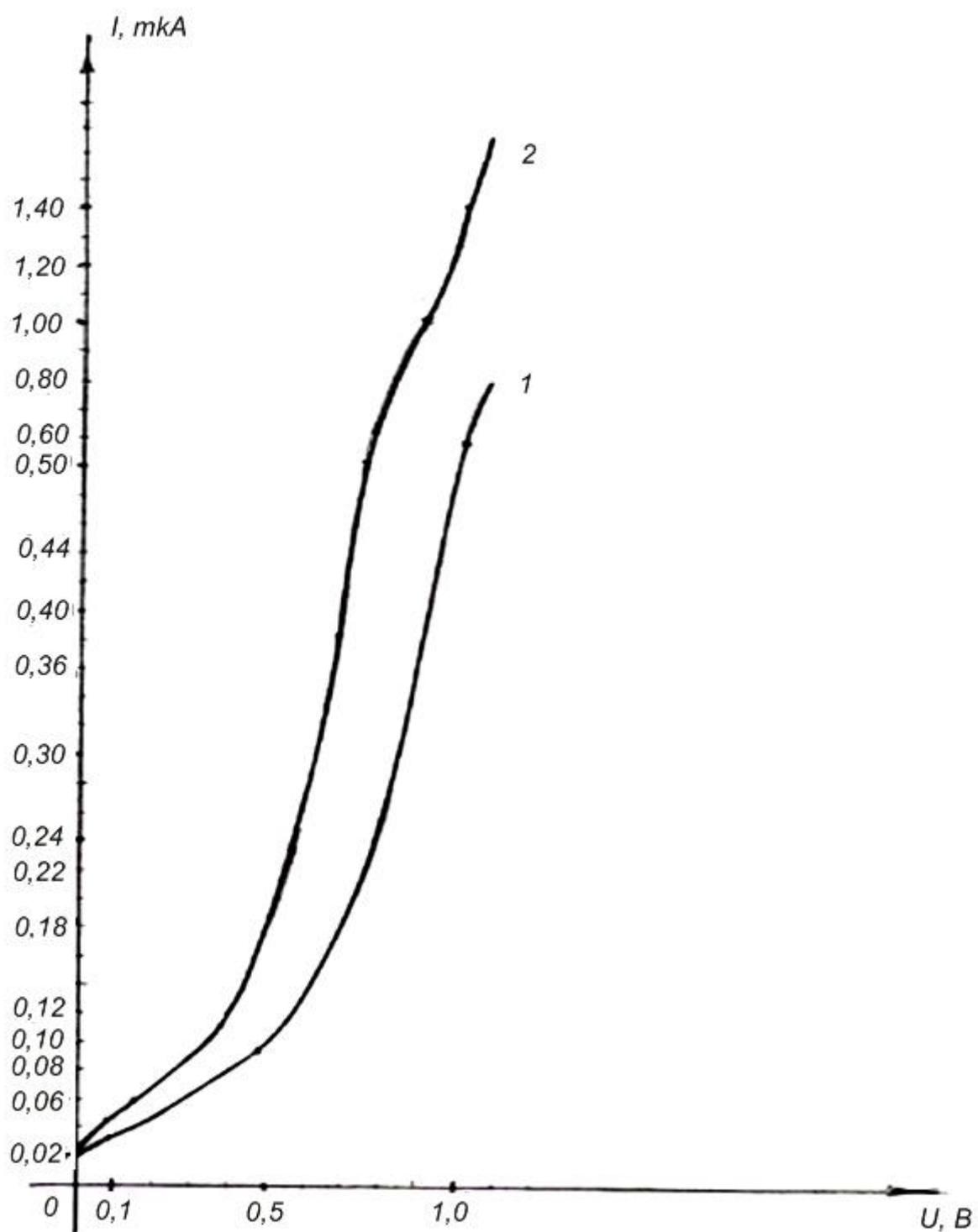


Рис. 3.1. Вольтамперные характеристики эталонного образца (обр. №1): 1 – темновые, 2 – световые.

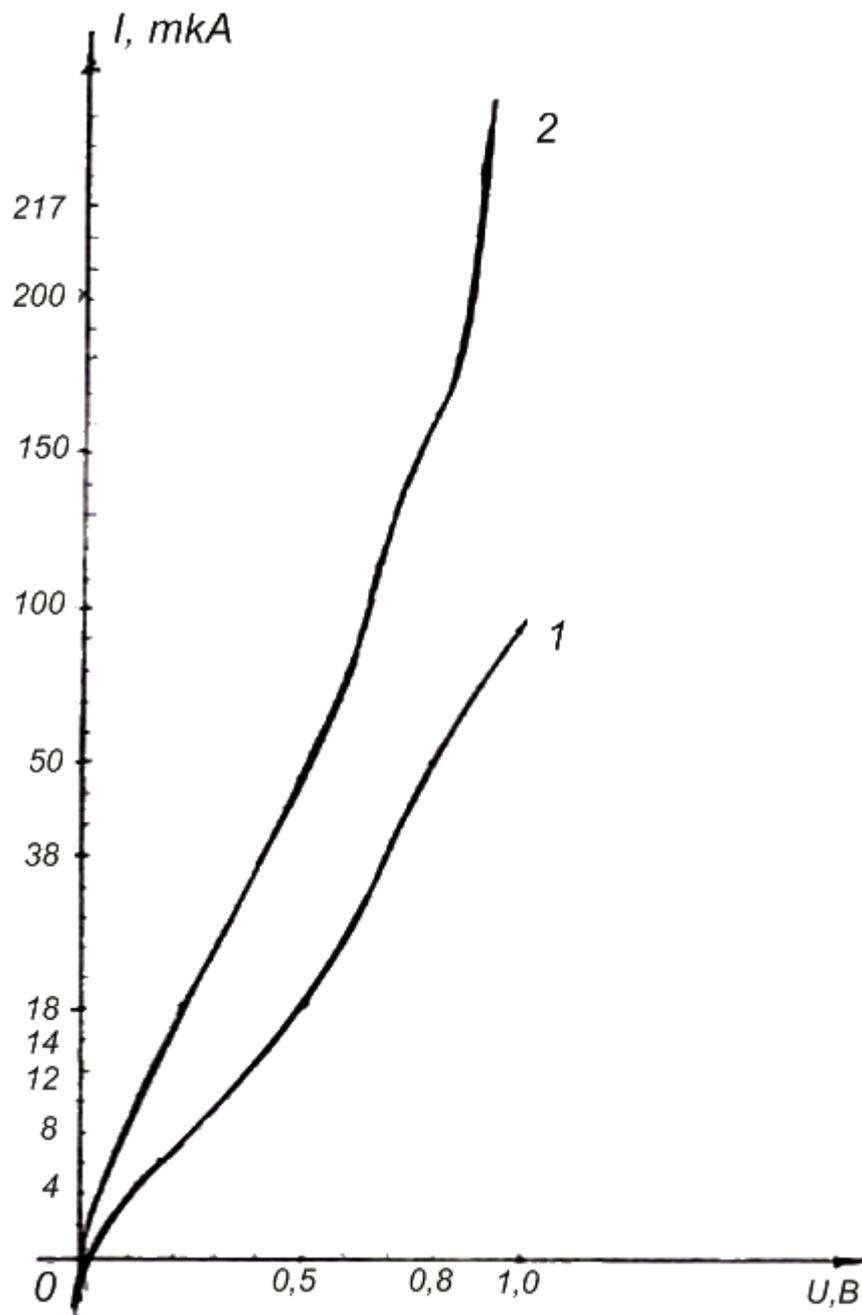


Рис. 3.2. Вольтамперные характеристики образца №2: 1 – темновые, 2 – световые.

### 3.2. Люкс-амперные характеристики

Исследования люкс-амперных характеристик показали, что эталонные и имплантированные образцы существенно отличаются по фоточувствительности (см. рис. 3.3). Например, при заданном напряжении 1В увеличение освещенности исследуемых образцов приводит в начале к определенному росту фототока, который в дальнейшем сменяется участком насыщения. В частности на эталонном образце в измеренном интервале освещенностей  $(49 - 100) \times 10^4$  лк<sup>3</sup> линейность сохраняется, однако в легированном образце – кривая 2 наблюдается смена участка насыщения дальнейшим ростом. Если в эталонном образце, процессы генерации с увеличением освещенности остаются неизменными, то в легированном образце количество генерированных носителей с интенсивностью освещения возрастает. То есть с увеличением освещения вместе с ростом фотоносителей, также уменьшается проводимость. О разной фоточувствительности свидетельствуют также значения фототоков: у эталонного образца 8 мкА ( $E = 100 \times 10^4$  лк), у легированного образца ~ 237 мкА при той же освещенности.

### 3.3. Спектральные характеристики

Спектральные характеристики эталонного и легированного образцов отличаются как по качеству, так и по величине фототока (рис. 3.4). У эталонного образца токи порядка единиц микроампер, у легированного образца единицы миллиампер.

В эталонном образце, как и в традиционных кристаллах арсенида галлия максимум спектральной чувствительности лежит около 0,9 мкм. В легированном образце чувствительность больше и как следует из рис. 3.4, *a* чувствительная область может охватить более коротковолновую область спектра.

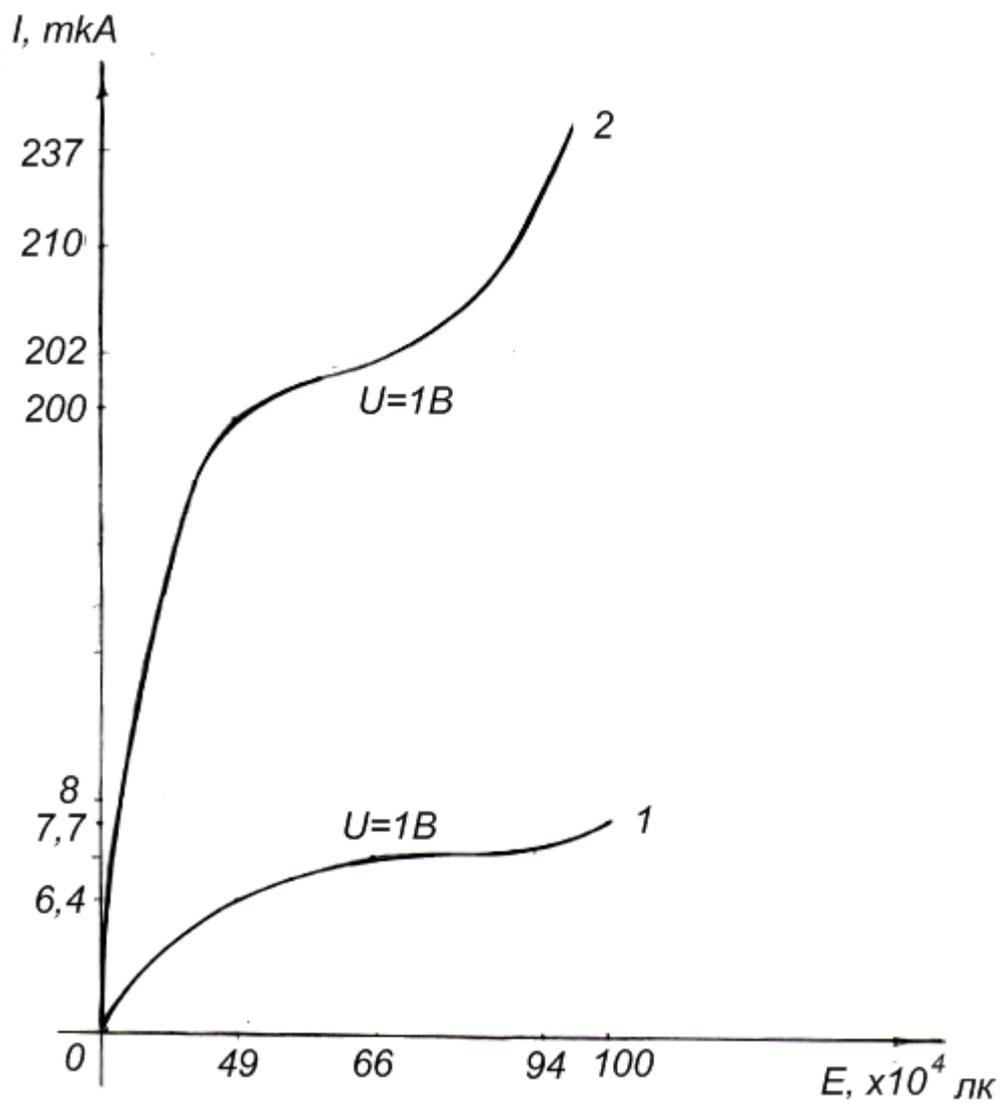


Рис. 3.3. Люкс-амперные характеристики: 1 – образец №1, 2 – образец №2.

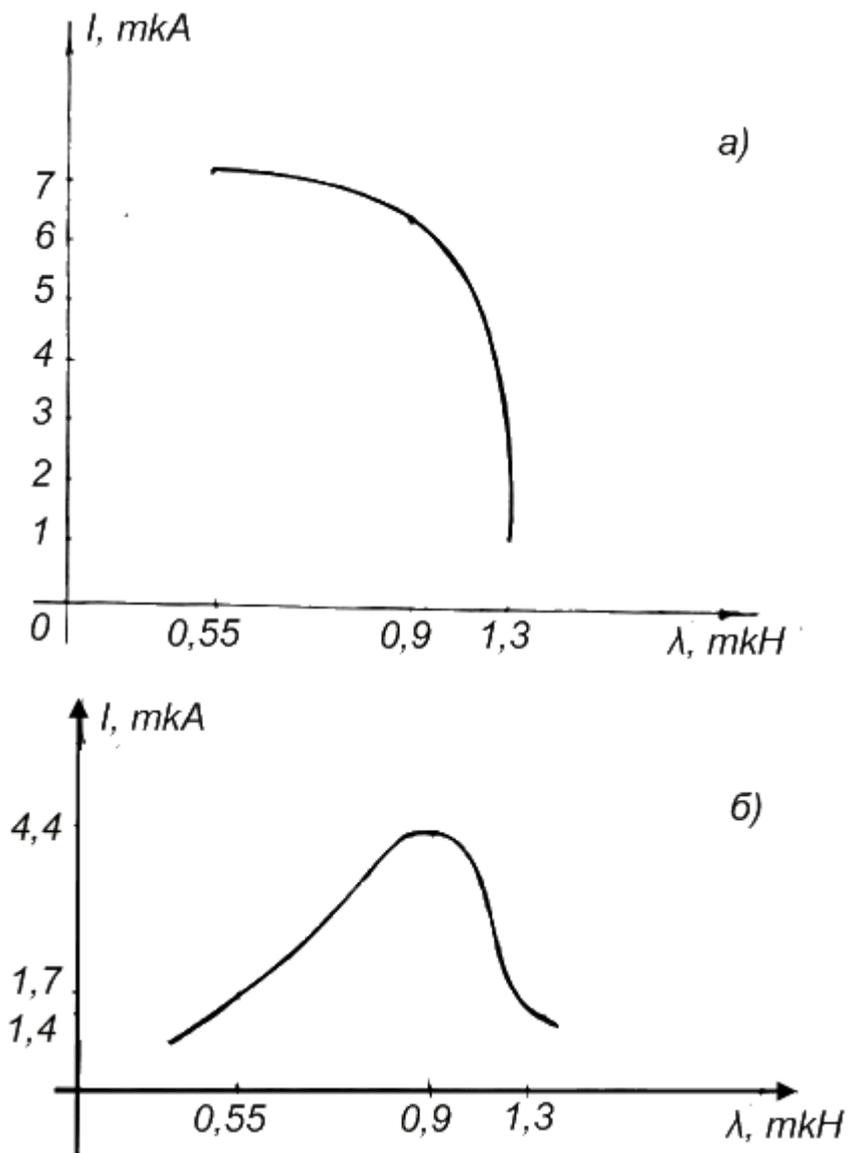


Рис. 3.4. Спектральные характеристики: а – легированный образец (№2), б – эталонный образец (№1).

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований экспериментально показано, что внедрение ионов бария в кристалл арсенида галлия способствует улучшению его фотоэлектрических и спектральных характеристик. Люкс-амперные и вольтамперные характеристики свидетельствуют о возможности использования легированного барием арсенида галлия в оптических переключателях или бистабильных устройствах. При этом рабочая область охватывает широкий оптический диапазон.

Таким образом, получены омические металлические контакты к экспериментальным образцам. Проведены исследования вольтамперных, спектральных и люкс-амперных характеристик. Показаны отличия эталонного и легированного образцов, в частности

1. Показано, что внедрение ионов Ва увеличивает токовую чувствительность GaAs в несколько раз.
2. Спектральные характеристики GaAs после ионной имплантации существенно улучшаются. Значение фототока увеличивается в 100 и более раз.

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

## *Производственная санитария*

В данном разделе выпускной квалификационной работы приведем основные требования при работе на установках ионной имплантации (вакуумного напыления).

Установка вакуумного напыления пленок работает при разрежении воздуха в объеме рабочей камеры порядка до  $10^{-7}$  мм. рт. ст.

Электропитание установки ведется от сети с напряжением, равным 380 В. Для питания катода узла напыления применяется напряжение свыше 1000 В.

Все виды насосов для получения вакуума (механические, диффузионные) в процессе эксплуатации должны удовлетворять следующим требованиям:

- размещаться в оборудовании или за его пределами так, чтобы обеспечивать их безопасное и удобное обслуживание;
- вращающиеся части насоса ограждаются металлической сеткой или кожухом;
- выхлоп откачной системы оборудования должен быть направлен за пределы помещения.

При обслуживании установки возможны следующие виды опасности [24, 25]:

- электроопасность;
- пожароопасность;
- термоопасность;
- травмирование;
- ожог, например, жидким азотом.

- Источником электроопасности являются: неисправная электропроводка и отсутствие надежного заземления установки, открытые токоведущие части, неисправная блокировка;
- Источником пожароопасности является этиловый спирт при наличии искры или огня на рабочем месте;
- Источником термоопасности являются: нагреватели паромасляного насоса, горячие детали рабочих камер;
- Источники травмирования: приводы вращения карусели и механических насосов, съемные крышки рабочих камер;
- Источником ожогов является, например, жидкий азот. Температура кипения жидкого азота равна минус 196<sup>0</sup>С, поэтому он может вызвать обморожение кожи и поражение слизистой оболочки глаз.

Во избежание электроопасности необходимо соблюдать следующие требования:

- все операции по загрузке (выгрузке) изделий выполнять только после снятия напряжения с токоведущих частей рабочей камеры;
- включение и отключение установки проводить отжатием кнопки выключение сети, размещенной на пультах управления установкой.

Во избежание термоопасности не касаться незащищенными руками нагретых узлов установки (нагревателей паромасляных насосов, нагретых деталей рабочей камеры).

Чтобы исключить травмирование, не надо касаться привода вращения карусели. Привод механического насоса должен быть закрыт кожухом.

*Приемы освобождения пострадавшего от электрического тока до 1000 В*

Отключить установку с помощью отжатия кнопки выключение сети или с помощью ближайшего штепсельного разъема выключателя (рубильника).

В случае отдаленности выключателя перерубить или перерезать провод (каждый в отдельности) топором или другим режущим инструментом с сухой рукояткой из изолирующего материала.

При невозможности быстрого разрыва электрической цепи оттолкнуть пострадавшего от провода за концы одежды или отбросить сухой палкой.

При этом обязательно принять следующие меры предосторожности:

- одеть резиновые перчатки или обернуть руки сухой тряпкой;
- положить под ноги себе изолирующий предмет (сухая доска, резиновый коврик, свернутая сухая одежда);
- при отделении пострадавшего от токоведущих частей действовать одной рукой;
- в случае опасности, грозящей аварией или несчастным случаем, работающий обязан уведомить администрацию (мастера, начальника цеха, технолога);
- при получении травмы пострадавшим, работу прекратить, оказать помощь пострадавшему.

Оказание первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током и порядок обращения за медицинской помощью:

- сообщить в медпункт и быстро определить состояние пострадавшего;
- уложить пострадавшего на спину или на твердую поверхность и расстегнуть стесняющую дыхание одежду;
- проверить по подъему грудной клетки сохранилось ли у пострадавшего дыхание;
- проверить наличие пульса (на лучевой артерии у запястья или на сонной артерии на передне-боковой поверхности шеи);
- проверить состояние зрачков (узкий или широкий), широкий не подвижный зрачок указывает на отсутствие кровообращения мозга;
- если пострадавший в сознании уложить его удобное положение и до прибытия врача обеспечить полный покой, наблюдая за дыханием и пульсом.

- если пострадавший потерял сознание, но у него сохранилось устойчивое дыхание и пульс, обеспечит приток свежего воздуха и полный покой. Давать пострадавшему нюхать нашатырный спирт и обрызгивать водой.
- если пострадавший плохо дышит (редко, судорожно, всхлипыванием), необходимо приступить к искусственному массажу сердца.

### *Обеспечение электробезопасности на рабочем месте*

Перед началом работы проверить исправность действия защитных устройств (блокировок, механических заземлителей) рабочей камеры. Исправность их действия определяется не менее чем по двум признакам:

- по показаниям измерительных приборов;
- по сигнальным лампам.

Рабочее место необходимо содержать в чистоте и порядке. На рабочем месте не должно быть лишних предметов. Разрешается иметь только тот инструмент, приборы, расходный материал, которые необходимы для работы.

Приборы на рабочем месте устанавливаются так, чтобы их провода не пересекали проводов другого оборудования.

Проходы к щитам электропитания, к пульту управления установкой должны быть свободны. На панелях и пультах управления должна быть световая сигнализация, а также соответствующие надписи всех органов управления.

На всех розетках указывается величина питающего напряжения.

Излучающие головки с импульсными лампами накачки должны иметь блокировку, исключающую возможность их вспышки при открытом осветителе. Лампы накачки заключаются в светонепроницаемые кожухи, а конденсаторы обеспечиваются разрядными устройствами.

При неисправностях на установке (о чем свидетельствует запись

наладчика в рабочем журнале на установку) к работе не приступать, сообщить мастеру участка.

Обеспечение безопасности при аварийных ситуациях:

- при аварийных ситуациях, связанных с поражением электрическим током необходимо принять меры по освобождению пострадавшего от электрического тока;
- сообщить мастеру;
- в зависимости от состояния пострадавшего обратиться к врачу.

### *Электрические поля токов промышленной частоты*

Источниками электромагнитных полей (ЭП) промышленной частоты являются высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), измерительные приборы, устройства защиты и автоматики, соединительные шины и др. При длительном хроническом воздействии ЭП возможны субъективные расстройства в виде жалоб невротического характера (чувство тяжести, головная боль в височной и затылочной областях, ухудшение памяти, повышенная утомляемость, ощущение вялости, разбитость, раздражительность, боли в области сердца, расстройство сна; угнетенное настроение, апатия, своеобразная депрессия с повышенной чувствительностью к яркому свету, резким звукам и другим раздражителям), проявляющиеся к концу рабочей смены. Расстройства в состоянии здоровья работающих, обусловленные функциональными нарушениями в деятельности нервной и сердечно-сосудистой систем астенического и астеновегетативного характера, являются одним из первых проявлений профессиональной патологии.

Допустимые уровни напряженности электрических полей установлены в специальном стандарте. Стандарт устанавливает предельно допустимые уровни напряженности электрического поля частотой 50 Гц для персонала, обслуживающего электроустановки и находящегося в зоне влияния

создаваемого ими электрического поля, в зависимости от времени пребывания и требований к проведению контроля уровней напряженности электрических полей на рабочих местах.

Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего электрического поля равен 25 кВ/м. Пребывание в электрическом поле напряженностью более 25 кВ/м без средств защиты не допускается. Допустимое время пребывания в электрическом поле напряженностью свыше 5 до 20 кВ/м включительно определяется по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где  $T$  – допустимое время пребывания в электрическом поле при соответствующем уровне напряженности, ч;  $E$  – напряженность воздействующего электрического поля в контролируемой зоне, кВ/м.

Расчет допустимой напряженности в зависимости от времени пребывания в электрическом поле производится по формуле:

$$E = \frac{50}{T + 2}$$

Допустимое время пребывания в электрическом поле может быть одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность электрического поля не должна превышать 5 кВ/м.

Требования стандарта действительны при условии исключения возможности воздействия электрических зарядов на персонал, а также при условии применения защитного заземления всех изолированных от земли предметов, машин и механизмов, к которым возможно прикосновение работающих в зоне влияния электрического поля.

Средства защиты от электрического поля частотой 50 Гц:

- стационарные экранирующие устройства (козырьки, навесы, перегородки);
- переносные (передвижные) экранирующие средства защиты (инвентарные навесы, палатки, перегородки, щиты, зонты, экраны и т. д.).

К индивидуальным средствам защиты относятся: защитный костюм - куртка и брюки, комбинезон; экранирующий головной убор - металлическая или пластмассовая каска для теплого времени года и шапка с прокладкой из металлизированной ткани для холодного времени года; специальная обувь, имеющая электропроводящую резиновую подошву или выполненная целиком из электропроводящей резины.

### *Пожарная безопасность*

На предприятиях электронной промышленности применяется большое количество легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ. Все виды работ с легковоспламеняющимися веществами должны вестись в отдельных помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией, в металлических вытяжных шкафах. В этих помещениях запрещается иметь ЛВЖ, ГЖ, горючие материалы, а также курить. На видных местах вывешиваются плакаты типа: «Не зажигать огня», «Взрывоопасно», «Не ударять».

Причины пожара могут быть неэлектрического и электрического характера:

- неэлектрического – к ним относятся: неправильное устройство и эксплуатация котельных, печей, отопительных приборов, неосторожное обращение с огнем, самовозгорание. Чтобы исключить эти причины, необходимо обучать персонал, правильно эксплуатировать машины, оборудование.

- электрического – к ним относятся: короткое замыкание, перегрузка, большое переходное сопротивление, статическое электричество. Для

предупреждения этих причин нужно правильно подобрать марку и сечение проводов, изоляцию, проводить профилактические ремонты и осмотр оборудования.

В случае возникновения пожара необходимо немедленно отключить вентиляцию, нагревательные приборы, оборудование; убрать стоящие вблизи пламени ЛВЖ и ГЖ; применять наиболее эффективные для данного случая средства пожаротушения (накрыть пламя кошмой или асбестовым одеялом, применить огнетушители); сообщить о пожаре в пожарную часть.

Противопожарная защита обеспечивается: максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов вместо пожароопасных; ограничением количества горючих веществ и их размещения; изоляцией горючей среды; предотвращением распространения пожара за пределы очага; применением средств пожаротушения; применением конструкции объектов с регламентированными пределами огнестойкости и горючести; эвакуацией людей; системами противодымной защиты; применением средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре; организацией пожарной охраны объектов.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- I. Техничко-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. Техничко-экономические обоснования проекта
    - Цель, сущность и задачи проекта и его актуальность.
    - Экономическая эффективность проекта.
  2. Определить объём инвестиции.

Нижеследующим таблицам дано приведенных затрат на ВКР.

Объём инвестиции на покупку материально-производственных запасов

№	Наименование материалов	Количество	Цена материала за единицы	НДС	Стоимость материала с учетом НДС
1	Плѐнки G-D As	4	100 000	80 000	180 000
2	Танталовые лодочки	1	75 000	15 000	90 000
3	Вольфрамовые стержни	2	40 000	16 000	56 000
	Итого:				326 000

**Объём инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов**

№	Наименование материалов	Количество	Цена материала за единицы	НДС	Стоимость материала с учетом НДС
1	экспериментальный прибор	1	2 000 000	400 000	2 400 000
2	Чувствительные измерительные приборы	2	100 000	40 000	140 000
3	Вольтметр, амперметр, тесторы	6	300 000	360 000	660 000
4	ЭВМ, принтер, сканер	3	2 000 000	1 200 000	3 200 000
	<b>Итого:</b>				<b>6 400 000</b>

**Стоимость основных фондов**

№	Наименование основных фондов	Количество	Стоимость основных фондов
1	Лаборатория	-	130 000
2	Оборудование	-	6 400 000
3			
	<b>Итого</b>		<b>6 530 000</b>

Амортизационные отчисления составляют 20% от стоимости основных  
фондов

$A_{\text{отчисл.}} = 20 \% * \text{ОФ.}$

$A_{\text{отчисл.}} = 0,2 * 6\,530\,000 / 12$

$A_{\text{отчисл.}} = 108\,833 \text{ сум.}$

Затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание 12 % от стоимости  
основных фондов

$P_T = 12 \% \text{ ОФ.}$

$P_T = 0,12 * 6\,530\,000 / 12$

$P_T = 65\,300 \text{ сум.}$

Расчёт заработной платы производственных рабочих

Наименование операций	Должность	Количество дней	Средняя однодневная плата	Стоимость сделанной работы
Выбор темы на разработку	СНС	1	15 000	15 000
Изучение и анализ литератур по выбранной теме	МНС	2	7 050	14 100
Разработка интерфейса программы	МНС	2	7 050	14 100
Занесение плана лекций	МНС	3	7 050	21 150
Отладка программы	МНС	1	7 050	7 050

Тестирование комплекса программ	МНС	2	7 050	14 100
Выявление ошибок	МНС	2	7 050	14 100
Исправление ошибок	МНС	2	7 050	14 100
Экономическая часть	МНС	2	7 050	14 100
	СНС	1	15 000	15 000
Охрана труда	МНС СНС	2	7 050	14 100
		1	15 000	15 000
Разработка пояснительной записки	МНС	1	7 050	7050
Рецензирование	СНС	1	15 000	15 000
Оформление и защита дипломного проекта	МНС	1	7 050	7 050
Итого		24		201 000

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

$$З_{\text{осн}} = \text{СОТ} * 0,4 + \text{СОТ}$$

$$З_{\text{осн}} = 201\,000 * 1,4$$

$$З_{\text{осн}} = 281\,400 \text{ сум}$$

Дополнительной заработной платы производственных рабочих берётся 10 % от основной заработной платы.

$$З_{\text{д}} = \text{КД} * З_{\text{осн}}$$

$$Зд = 0,1 * 281\ 400$$

$$Зд = 28\ 140 \text{ сум}$$

Фонд оплаты труда определяется как сумма основной и дополнительной заработной платы

$$\text{ФОТ} = З.\text{осн.} + Зд$$

$$\text{ФОТ} = 281\ 400 + 28\ 140$$

$$\text{ФОТ} = 309\ 540$$

Затраты на социальное страхование рассчитывается 25 % от ФОТ

$$\text{ОФСС} = 25 \% * \text{ФОТ}$$

$$\text{ОФСС} = 0,25 * 309\ 540$$

$$\text{ОФСС} = 77\ 385$$

Транспортные расходы рассчитываются 20 % от Основных затрат

$$\text{РТР} = 0,2 * 281\ 400$$

$$\text{РТР} = 56\ 280 \text{ сум}$$

Расход пара на производственные нужды

Длина – 4

Ширина – 4

$V = \text{длина} * \text{ширина}$

$$V = 16 * 663,05 = 10\ 608,8 \text{ сум}$$

Расходы на электроэнергию определяются по формуле

$$W = N * T * S$$

$N$  – Установленная мощность, кВт;

$T$  – время работы;

$S$  – стоимость электроэнергии за 1 кВт.

$$W = 1 * 144 * 112,20$$

$$W = 16\,156,8 \text{ сум}$$

Объём инвестиций определяется по формуле

$$K = \text{МПЗ} + \text{ФОТ} + \text{АОФ} + \Sigma P$$

$$K = 326\,000 + 309\,540 + 108\,833 + 225\,730,6 = 970\,103,6 \text{ сум}$$

Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статей затрат	Сумма
1	Стоимость выполненных работ	716 949, 8
2	Затраты на производство	551 499, 9
3	Производственная себестоимость	520 545,9
4	Расходы периода	30 954
5	Материальные затраты	352 765, 6
6	сырьё	326 000
7	Электроэнергия + отопление	26 765, 6
8	ФОТ	309 540
9	Социальное страхование	77 385
10	Амортизация	108 833
11	Прочие затраты 1	24 787, 9
12	Основная заработная плата	201 000

### Расчёт экономической эффективности выполненных работ

№	Наименование показателей	Единица измерения	Сумма	Примечание
1	Стоимость выполненных работ	сум	716 949, 8	Таблица
2	Затраты на производство	сум	551 499, 9	Таблица
3	Инвестиции	сум	970 103, 6	Формула
4	Экономическая эффективность	сум	165 449, 9	Формула
5	Срок окупаемости	Ой	5,8	Формула
6	Рентабельность	%	17 %	Формула

Экономическую эффективность определим по формуле

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

$$\mathcal{E} = 165\,449,9 \text{ сум}$$

C1 и C2 – себестоимость до и после

$$C1 = C2 * 1,3$$

Q – объём производства.

Рентабельность определяется по формуле

$$R = \mathcal{E} * 100 \% / K$$

$$R = 156\,449,9 / 100 / 970\,103,9$$

$$R = 17 \%$$

Определяем срок окупаемости

$$T_{ок} = K / \mathcal{E}$$

Э – экономическая эффективность;

K – капитал.

$$T = 970\,103,9 / 165\,449,9 = 5,8$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сытенько Т.Н. Электрофизические свойства арсенида галлия. Киев 1978 г.
2. Жур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир. 1991 г.
3. Полупроводниковые арсениды и фосфиды элементов III группы. Т.: Фан. 1981 г.
4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. М.: «Мир». 1974 г.
5. Арсенид галлия. Получение, свойства, применение. Под ред. Ф.П. Кесананлы, Д.Н. Наследова, М.: Наука. 1973 г.
6. Денисов А.Г. и др. Методы контроля соединений  $A^3B^5$ . М.: ЦНИИ. «Электроника». 1984 г.
7. Гольдберг Ю.А., Царенков Б.В. Зависимость сопротивления омических контактов арсенид галлия – металл от концентрации носителей тока. ФТП. т. 3. 1969 г.
8. Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И. Физические основы электронной и ионной технологий. М.: Высшая школа. 1984 г.
9. Черняев А.В. Метод ионной имплантации в технологии приборов и ИС на основе арсенида галлия. М. 1990 г.
10. Вавилов В.С., Ташлыков И.С. Ионно-имплантационное легирование GaAs: обзоры по электронной технике. М.: ЦНИИ «Электроника». 1991 г.
11. Полупроводниковые соединения  $A^III B^VI$ . Под ред. Виллардсона и Х.Геринга. Пер. с англ. Т.Н. Вигдоровича и Нашелського, М. 1967 г.
12. Соболев В.В. Оптические фундаментальные спектры соединений группы  $A^III B^V$ , Кишинев. 1979 г.
13. Электрические и оптические свойства полупроводников  $A^III B^V$ . М.: Наука. 1976 г.

14. Данилов Ю.А. Электрическая изоляция и другие эффекты ионной имплантации в GaAs квантово-размерных структурах. //Мат. XVII межд. конф. "Взаимодействие ионов с поверхностью", Т.2. М., 2005, С. 31 – 36.
15. [http://www.osp.ru/cw/2003/35/038\\_1.htm](http://www.osp.ru/cw/2003/35/038_1.htm)
16. <http://chemistry.fas.nyu.edu/page/home>
17. <http://www.phys.rsu.ru/web/nano/elements.html>
18. Высоцкий С.Л., Джумалиев А.С., Казаков Г.Т., Никитов С.А., Филимонов Ю.А. Магнитные свойства ультратонких пленок железа на подложках арсенида галлия (100). //Радиотехника и Электроника. 2002. Т.47. №7. с. 773 – 787.
19. Сошников И.П., Петров В.А., Цырлин Г.Э., Самсоненко Ю.Б., Буравлев А.Д., Задиранов Ю.М., Ильинская Н.Д., Трошков С.И. Исследование особенностей роста нитевидных нанокристаллов GaAs в мезоструктурах // Физика твердого тела, 2013, том 55, вып. 4. С. 645 – 649.
20. [http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/505674/description#description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/505674/description#description)
21. Обухов И.А. Моделирование переноса заряда в мезоскопических структурах. – Севастополь: Вебер, 2005. - 226 с.
22. Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф., Амирова С.И., Рзаев Р.М. Влияние температуры и легирования редкоземельными элементами на подвижность носителей заряда в кристаллах моноселенида индия // Физика и техника полупроводников, 2013, том 47, вып. 8. С. 1009 – 1013.
23. [http://www.springerlink.com/content/1063-7850?sortorder=asc&p\\_o=132](http://www.springerlink.com/content/1063-7850?sortorder=asc&p_o=132)
24. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. /Под ред. С. В. Белова. – М.: Высшая школа, 2009. – 448 с.

25. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. 2 - ое издание. М.: Энергоиздат, 1984.