

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ВАКУУМНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКЕ

Диод Шоттки

Выполнили студенты группы Б04-905

Андросов Алексей
Боргоякова Вероника
Головкина Анна
Григорьевых Илья
Демушкин Дмитрий
Колотова Вера
Ломоносов Александр
Мохова Анна
Захаров Федор

2021
Долгопрудный

Цель работы: познакомиться с устройством диода Шоттки, изготовить его, снять его вольт-амперную характеристику, сравнить его параметры с другими диодами.

В работе используются: диод Зенера, диоды Шоттки, легированный кремний n и p типов, алюминий.

Ход работы

Вид кремния	ρ , Ohmcm	Толщина слоя золота, nm
n-type	0.2-0.311	200
p-type	1-10	60

Таблица 1: Характеристики образцов кремния, использованных в работе

В ходе работы мы напылили алюминий на кремний n и p типов. После этого мы сняли вольт-амперные характеристики полученных и заводских устройств:

Диода Зенера – 1N4733A

Диоды Шоттки – 1N5819, 1N5822, D229D, образованный напылением Al на кремний n типа

Омический контакт – образованный напылением Al на кремний p типа

Диод Шоттки

Диод Шоттки представляет собой выпрямитель тока, основанный на нелинейном характере электрической проводимости контакта металла с полупроводником.

Номер (материал)	Прямое напряжение (открытия) U_F , V	Ток утечки, μA
1N5819 (Si)	0.6	1
1N5822 (Si)	0.5	2
D229D (Si)	1	0.3

Таблица 2: Табличные характеристики фабричных диодов Шоттки

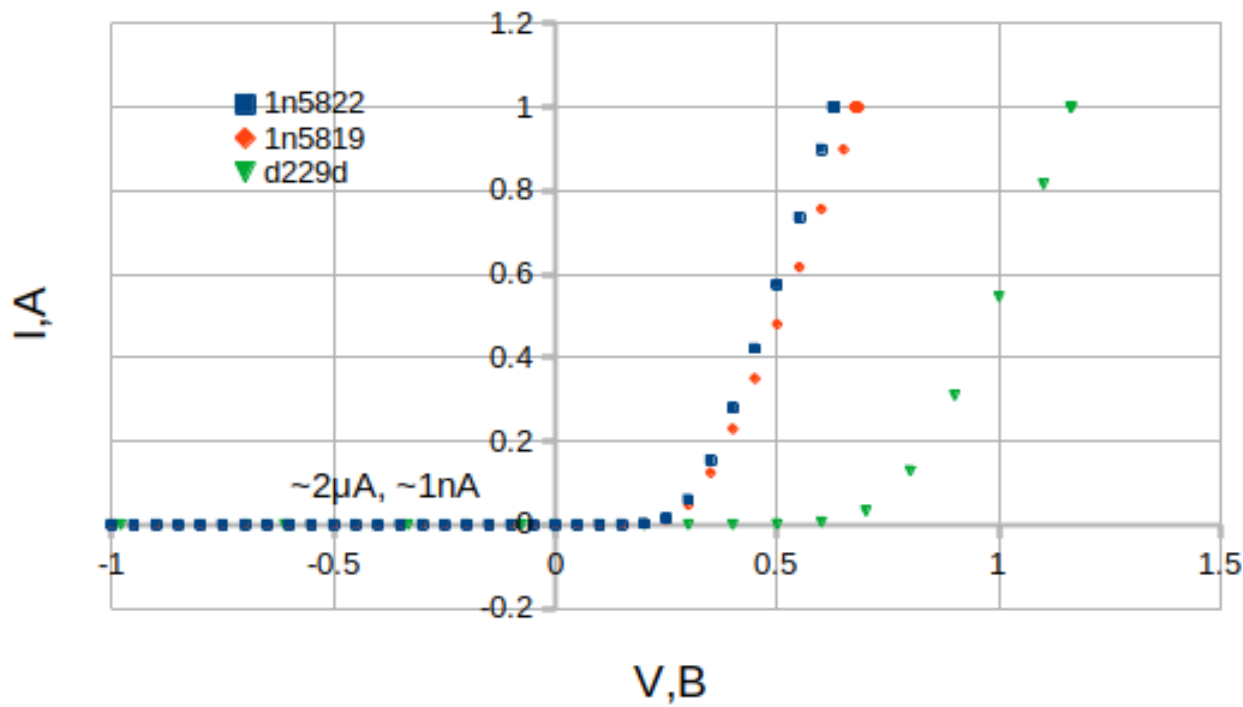


Рис. 1: ВАХ фабричных диодов Шоттки

Напыленный диод Шоттки

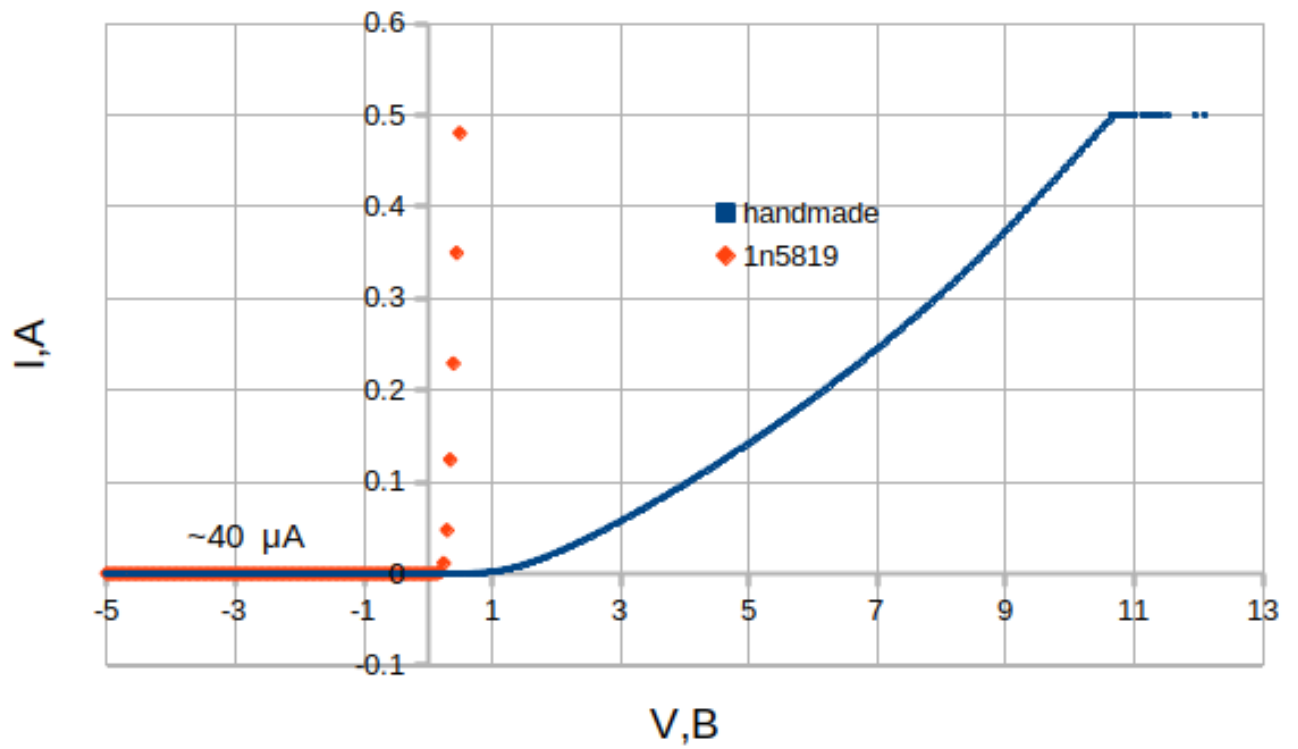


Рис. 2: ВАХ напыленного диода Шоттки в сравнении с фабричным (1N5819)

По полученным данным определим параметры напыленного диода:

Прямое напряжение (открытия) U_F , V	Ток утечки, μA
10.5	40

Таблица 3: Экспериментальные характеристики напыленного диода Шоттки

Диод Зенера

Диод Зенера (полупроводниковый стабилитрон) представляет собой особый диод, функционирующий в режиме устойчивого пробоя в условиях обратного смещения р-п перехода.

Диод	Стабилизация U_0 , V	Прямое напряжение, V	Ток утечки, μA
1N4733a	5	1.2	10

Таблица 4: Табличные характеристики диода Зенера

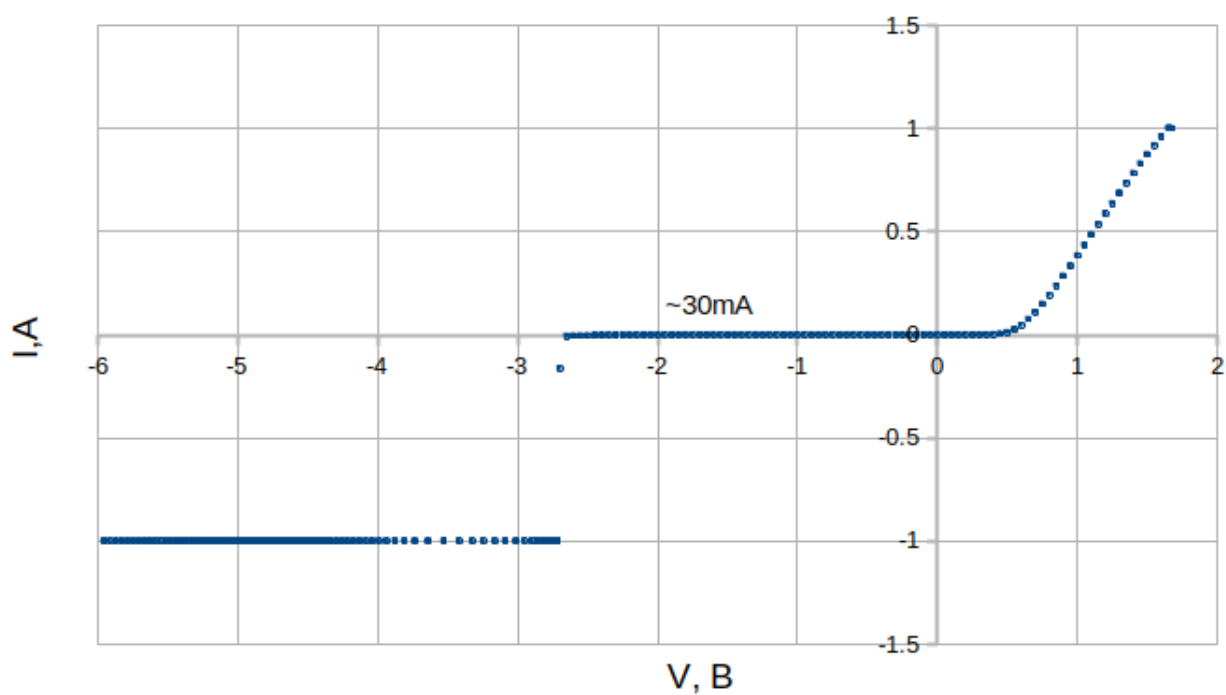


Рис. 3: ВАХ диода Зенера

Омический контакт

Омический контакт – это контакт металл-полупроводник, в котором не проявляется потенциальный барьер на границе раздела.

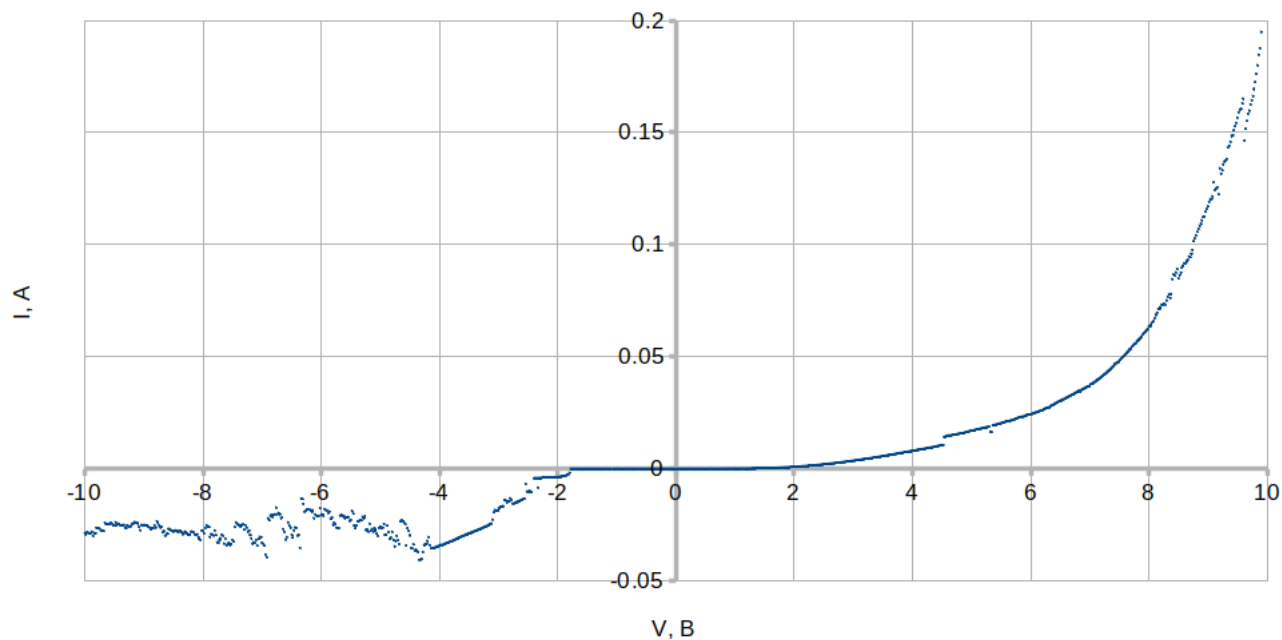


Рис. 4: ВАХ омического контакта

Омический контакт должен характеризоваться линейной ВАХ, однако наш эксперимент этого не показал, следовательно мы наблюдали частично выпрямляющий диод. Область, расположенная левее нуля напоминает увеличенную область тока утечки для диодов, с которыми мы работали. Те же слова можно сказать и про область правее нуля. Таким образом предположение о частичном выпрямлении тока имеет место быть, а появление этого объясняется конструкцией нашего исследуемого элемента.

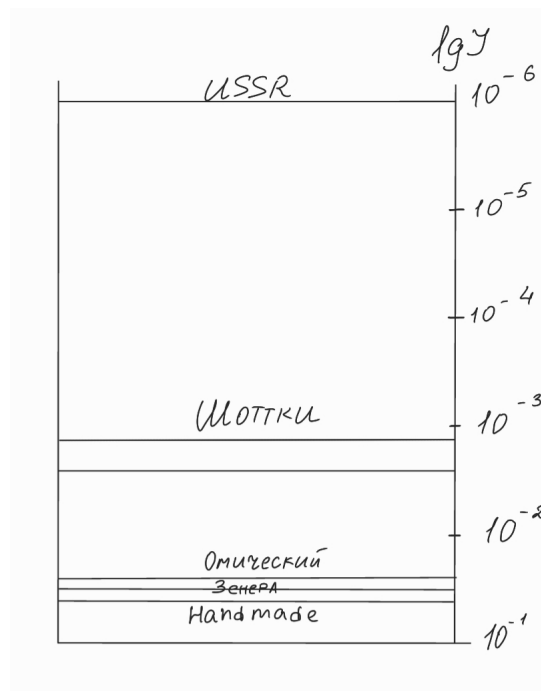
Можно ввести аналогичные выпрямительным диодам характеристики: ток утечки 25 мА , прямое напряжение не достигается.

Сравнение диодов между собой

Чтобы узнать особенности исследуемых диодов, построим их вместе на одном графике, при этом рассмотрим две области: тока утечки и открытия диодов.

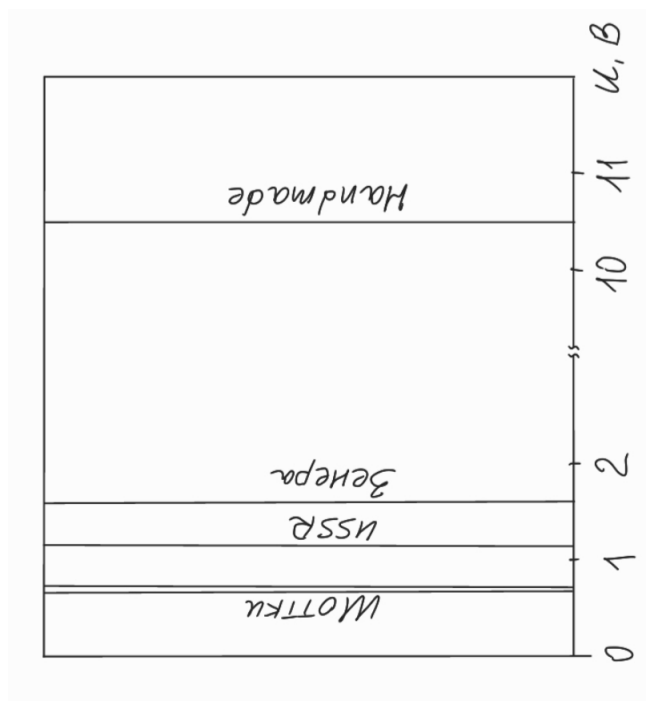
Область тока утечки

Диод	Ток утечки, μA
Шоттки:	
1N5819	1.5
1N5822	2.1
D299D	0.001
Handmade	40
Зенера:	30
Омический:	25



Область открытия

Диод	U_F , V
Шоттки:	
1N5819	0.7
1N5822	0.65
D299D	1.2
Handmade	10.5
Зенера:	1.6



Выводы

Сравним напыленный диод с фабричным (1N5819) и оценим его коэффициент идеальности:

$$\ln I = \ln(SA_0T^2) - \frac{\phi}{kT} + \frac{\varepsilon}{\gamma kT}U$$

(коэффициент идеальности γ показывает отклонение от диодной теории, обычно его значения лежат от 1 до 2)

$$\gamma_{\text{фабр}} = \frac{1}{kT} \frac{dU}{d \ln I} = 1.5$$

$$\frac{1}{kT} = \gamma_{\text{фабр}} \cdot \frac{d \ln I}{dU}$$

$$\gamma_{\text{handmade}} = 350$$

(примем температуры диодов одинаковыми)

Мы познакомились с устройством диода Шоттки и изготовили его с помощью напыления Al на кремний n-типа.

Сняли вольт-амперные характеристики различных диодов и сравнили их параметры. Оценили коэффициент идеальности полученного диода.

При напылении Al на кремний p-типа мы должны были получить омический контакт, но получили что-то подобное диоду: возможно, это связано с тем, что КРП при контакте Al с кремнием не удовлетворяла условию омического контакта ($\phi_m > \phi_p$ -необходимое условие).

Приложение

Объяснение принципа работы диода Шоттки

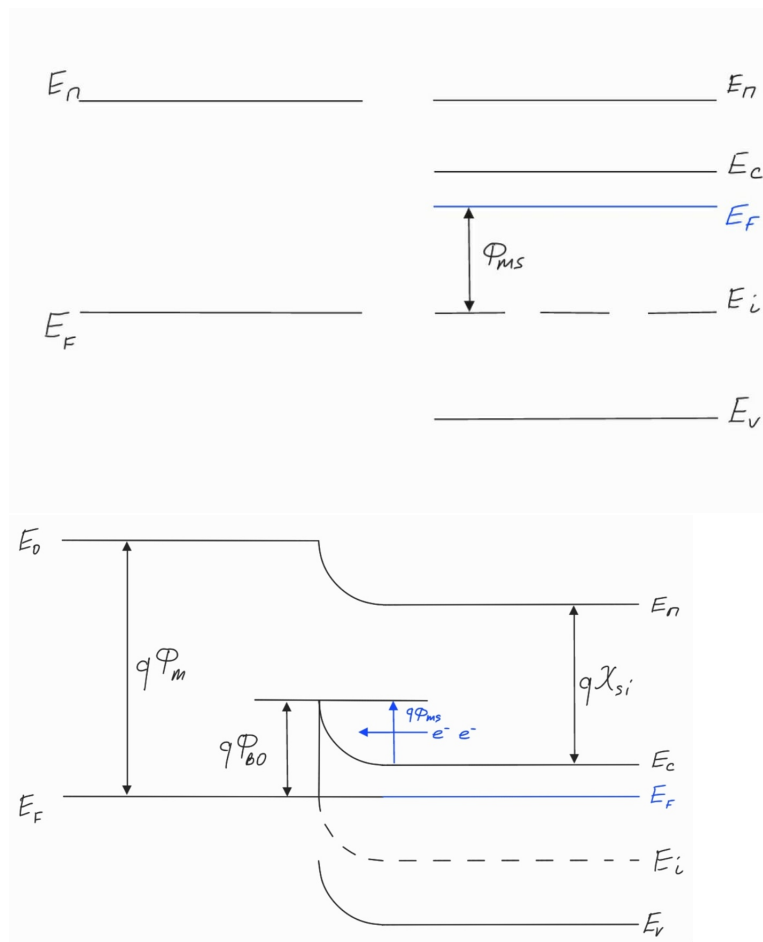


Рис. 5: Энергетические уровни полупроводника и металла до (сверху) и после (снизу) контакта. E_0 - уровень вакуума, E_f - уровень Ферми, E_c - зона проводимости, E_v - валентная зона, E_i - собственная энергия Ферми.

же встретят потенциальный барьер, однако высота его будет ниже, нежели в первом случае. Электронам понадобится меньшая энергия и следовательно нужно будет подать меньшее напряжение для того, чтобы ток начал течь.

Рассмотрим контакт металла с n-полупроводником ($\varphi_n < \varphi_m$) Если привести такую систему в электрический контакт, то уровни Ферми металла и полупроводника сравняются, а уровень вакуума, зона проводимости, валентная зона и собственная энергия ферми будут изгибаться.

В таком случае если подать положительное напряжение на полупроводник, электроны на границе металл/полупроводник встретятся с потенциальным барьером, высота которого равна $q(\varphi_m - \psi_{si})$. Он будет препятствовать прохождению электронов до тех пор, пока положительное напряжение, поданное на металл, не будет достаточно высоким, чтобы энергии электронов хватило для прохождения барьера.

Если же подать положительное напряжение на металл, то на границе металл/полупроводник они так

Принцип работы диода Зенера

До момента наступления этого пробоя, ток через стабилитрон протекает лишь очень малый, ток утечки, в силу высокого сопротивления стабилитрона.

Но когда наступает пробой, ток мгновенно вырастает, поскольку дифференциальное сопротивление стабилитрона составляет в этот момент от долей до сотен Ом. Таким образом, напряжение на стабилитроне весьма точно поддерживается в определенном диапазоне обратных токов, относительно широко.

Физическая картина эффекта заключается в следующем. При обратном смещении р-п перехода энергетические зоны перекрываются, и электроны могут переходить из валентной зоны р-области в зону проводимости п-области, благодаря электрическому полю, это повышает количество свободных носителей заряда, и обратный ток резко возрастает.

Как видно из рис.6 , стабилитрон, в отличие от обычного диода, работает на обратной ветви ВАХ. В обычном диоде, если к нему приложить обратное напряжение, может возникнуть пробой по одному из трех путей (или по всем сразу): туннельный пробой, пробой лавинный и пробой вследствие теплового разогрева токами утечки.

Тепловой пробой кремниевым стабилитронам не важен, ибо они проектируются так, чтобы или туннельный, или лавинный пробой, либо оба типа пробоя одновременно наступали задолго до тенденции к тепловому пробую. Серийные стабилитроны на данный момент изготавливаются преимущественно из кремния.

Пробой стабилитрона происходит в умеренно легированных полупроводниках р-типа и сильно легированных полупроводниках п-типа.

Стабилитроны широко применяют в качестве самостоятельных стабилизирующих элементов, а также источников образцовых напряжений (опорных напряжений) в стабилизаторах на транзисторах.

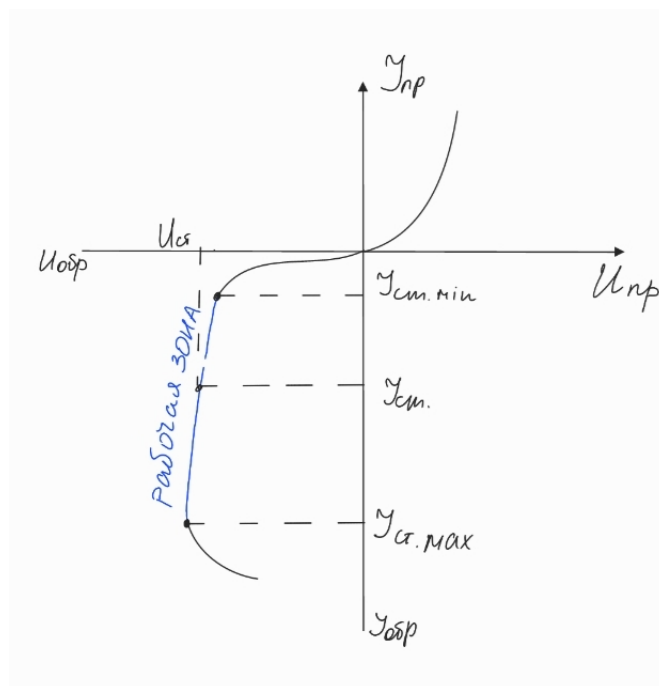


Рис. 6: Вольт-амперная характеристика диода Зенера

Принципы устройства омического контакта

Такие контакты должны обладать практически линейной ВАХ и низким электрическим сопротивлением. Важным требованием, предъявляемым к ним, является отсутствие инжекции (то есть при пропускании электрического тока в прямом направлении через р-п-переход в прилегающих к переходу областях создаются высокие концентрации неравновесных («инжектированных») носителей заряда), способной существенно ухудшить параметры приборов. Одним из наиболее распространенных способов получения омических контактов является введение в металл примеси, которой легирован полупроводник. Так, в случае германия, легированного сурьмой, в качестве припоя часто используется олово, содержащее сурьму. При приплавлении олова к германию в приконтактной области образуется тонкий рекристаллизационный слой вырожденного полупроводника, сильно обогащенного сурьмой. Этот слой обладает высокой проводимостью и по своим свойствам близок к металлу. Такой n^+-n контакт имеет низкое сопротивление и почти всегда линеен. Из-за низкой концентрации дырок в вырожденном слое контакт является практически неинжектирующим.

Наиболее широко при изготовлении приборов и интегральных схем на гетероструктурах используются сплавные омические контакты, которые дают возможность создать высоколегированный слой вблизи поверхности. Однако сплавной контакт не позволяет достигать теоретических значений контактного сопротивления. Одним из вариантов уменьшения контактного сопротивления является выращивание гетероструктур. Основная идея метода состоит в уменьшении высоты барьера и, следовательно, контактного сопротивления с помощью введения промежуточного полупроводникового слоя с малой шириной запрещенной зоны между металлом и активным слоем прибора. Методом молекулярно-лучевой эпитаксии формируются гетероструктуры. Полупроводниковый слой имеет высокую концентрацию носителей и ширину запрещенной зоны – 0,35 эВ, что обеспечивает получение низкоомных омических контактов с большинством металлов.

В соответствии с представлениями об однородном удельном переходном сопротивлении омического контакта следовало бы ожидать, что удельное погонное сопротивление контакта не будет зависеть от длины ОК при $L > L_{eff}$ и будет резко увеличиваться при $L < L_{eff}$. На практике наблюдается иной ход зависимости. При больших значениях длины омического контакта удельное погонное сопротивление контакта слабо растет, а при малых значениях длины ($L < L_k$) – достаточно резко уменьшается.

Список литературы

1. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. М: Наука, 1977, с. 205-242
2. К. Тилл, Дж. Лаксон. Интегральные схемы: Материалы, приборы, изготовление. М: Мир, 1985, с. 203-223
3. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции/ Под ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера. - М.: Мир, 1982. с. 17-35, 59-81, 408-434, 484-538.