

Московский Физико-Технический Институт  
Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Отчёт по лабораторной работе:  
Конвективная диффузия в молекулярно-  
электронных преобразователях

Выполнили студенты группы Б04-005  
Карташов Константин  
Давыдов Владислав  
Корнеев Николай  
Голощапов Михаил

Долгопрудный 2022

# I Анотация

**Цель работы:** изготовить контакты алюминия с кремнием n- и p-типов, снять вольтамперную характеристику диода Шоттки, построить ее в полупологарифмическом масштабе, рассчитать высоту барьера, построить вольтамперную характеристику омического контакта.

**Оборудование:**

- ▷ Вакуумная установка,
- ▷ Газоразрядная трубка,
- ▷ Лабораторный блок питания.

## II Теоретические сведения

### i Энергетические диаграммы

В данной работе нам предстоит работать с процессами, истекающими из внутреннего энергетического строения металлов и полупроводников. Чтобы понять это строение посмотрим на энергетические диаграммы:

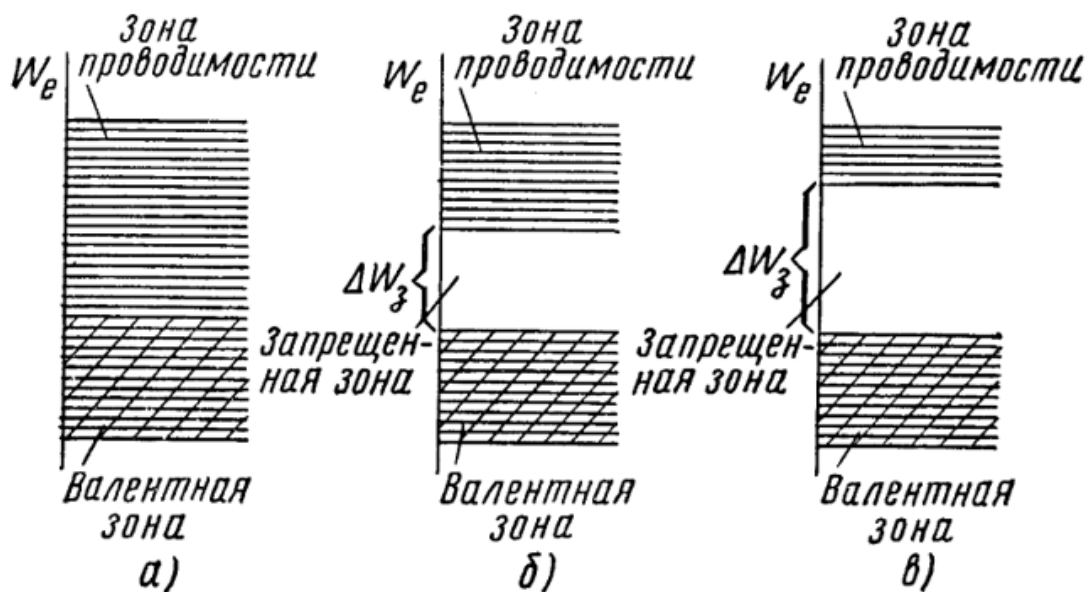


Рис. 1: Энергетические диаграммы металла, полупроводника и диэлектрика

- В металле зона проводимости и валентная зона пересекают друг друга (рис.1а), сама диаграмма металла представляет собой потенциальную яму глубиной  $\varphi_F$  - энергия Ферми. Уровень Ферми может меняться в зависимости от внешних условий.

- В полупроводнике вся диаграмма разделена на три зоны: зона проводимости, запрещенная зона и валентная зона. При нулевой температуре все электроны находятся в самой нижней валентной зоне, а уровень Ферми находится посередине запрещенной зоны. С увеличением температуры электроны становятся способны преодолеть запрещенную зону и находиться в зоне проводимости, это конечно заставляет уровень Ферми сближаться к зоне проводимости.

Полупроводники возможно легировать примесью, это ожидаемо меняет его энергетическую диаграмму.

Если легировать полупроводник примесями с n-проводимостью, то полупроводник получает лишние электроны с энергией соответствующей верхней части запрещенной зоны, следовательно данные электроны легко могут перейти в зону проводимости и сместить уровень Ферми "вверх".

В случае легирования примесью с p-проводимостью акцепторная примесь захватывает электроны из валентной области, таким образом эти электроны остаются там и уровень Ферми смещается "вниз".

## ii Потенциальный барьер металл-полупроводник

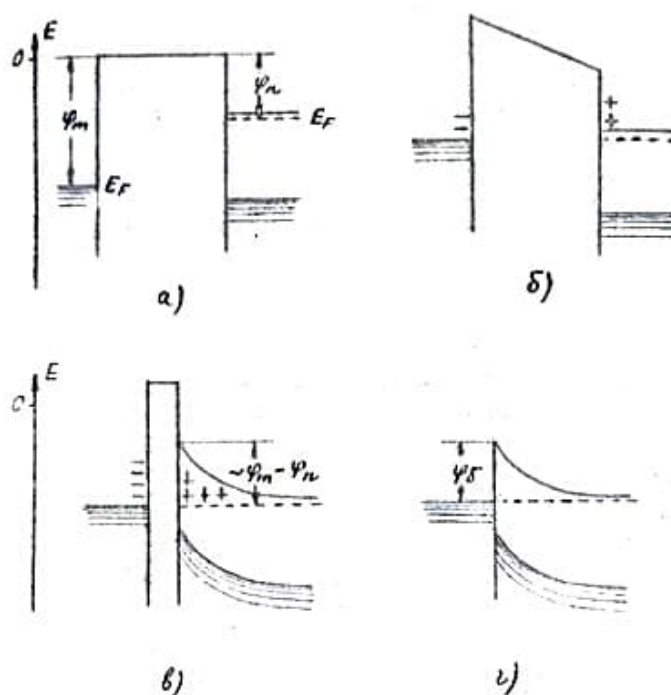


Рис. 2: Энергетические диаграммы металла и полупроводника

Возьмем металл и полупроводник, так что  $\varphi_m > \varphi_n$ . Если мы приведем их в контакт (например, соединим проволокой), то электроны из зон проводимости полупроводника начнут переходить в металл пока уровни Ферми не сравняются (2б). Это в свою очередь приведет к разности потенциалов между ними:  $U = \frac{(\varphi_m - \varphi_n)}{e}$ .

Теперь сблизим наши образцы - электрической поле между ними будет возрастать и в какой-то момент станет достаточно большим, чтобы воздействовать на внутреннее строение полупроводника. Зоны внутри полупроводника начинают искривляться

(2в), что в свою очередь образует дополнительный потенциал равный  $U$ . Электроны покидают поверхностные области полупроводника и образуют обедненные слои.

Образовавшийся барьер Шоттки позволяет только электронам с достаточно большой энергией совершать обмен. Ток, создаваемый этими электронами, описывается по формуле термоэлектронной эмиссии:

$$I_0 = SA_0 T^2 e^{-\frac{\varphi}{kT}} \quad (1)$$

Общий ток является суммой двух токов, идущих с противоположных сторон. Поэтому при отсутствии внешнего напряжения общий ток равен нулю. Однако если подать напряжение, то оно в основном затронет обедненный слой, что в свою очередь изменяет высоту барьера. Из-за этого процесса пропускная способность диода Шоттки является односторонней и ток описывается формулой:

$$I = I_0 (e^{\frac{eU}{kT}} - 1) \quad (2)$$

Все это время мы рассматривали случай, когда  $\varphi_m > \varphi_n$ . Если это не так, то электрическое поле будет направленно в другую сторону, следовательно, искривление происходит в другую сторону. Что в свою очередь образует "обогащенный" слой вместо обедненного с большой проводимостью. Потенциальный барьер в этом случае отсутствует, следовательно при достаточно малых токах контакт можно считать омическим.

---

### III Экспериментальная часть

ВАХ снимали с готовых образцов (рис. 7) (в виду неисправности установки свои диоды сделать не получилось): кремний, легированный фосфором и покрытый с обеих сторон алюминием (Al – nSi–Al) и легированный бором и покрытый с одной стороны алюминием, а с другой – золотом (Al–pSi–Au). На первом образце наблюдался контакт Шоттки, а на втором – омический. Построим ВАХ на основе получившихся значений для контакта Шоттки и омического контакта.

Построим ВАХ контакта Шоттки в полулогарифмическом масштабе. Прямолинейный участок аппроксимируем выражением:

$$\ln I = \ln SA_0 T^2 - \frac{\varphi_b}{k_B T} + \frac{e}{\gamma k_B T} U \quad (3)$$

Линейно экстраполируя характеристику к нулевому напряжению, находим  $I_0$ :

$$I_0 = -6.59 \pm 0,05$$

Получили  $I_0$  с точностью до знака. Минус означает, что ток течёт в противоположном направлении с полярностью подключения вольтметра. Вычислим высоту барьера по формуле:

$$\varphi_b = k_B T \ln \frac{SA_0 T^2}{|I_0|}, \quad (4)$$

где  $S = 10^4$  мкм<sup>2</sup>,  $T = 300$  К,  $A_0 = 1.20 \cdot 10^{-6}$  А · м<sup>-2</sup> · К<sup>-2</sup> Получим:

$$\varphi_b = 0.58 \pm 0.02 \text{ эВ}$$

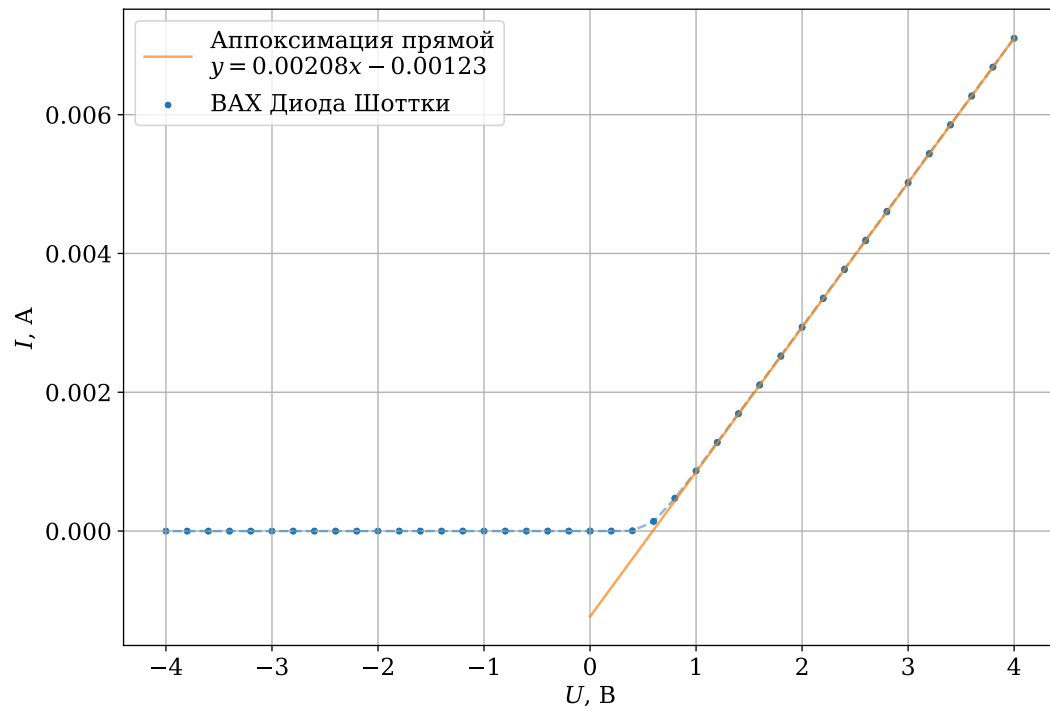


Рис. 3: ВАХ контакта Шоттки

## IV Вывод

В данной работе для выданного нам образца был построен прямолинейный участок ВАХ выпрямляющего контакта в полулогарифмическом масштабе и вычислена величина высоты энергетического барьера  $\varphi_b = 0.58 \pm 0.02$  эВ.

---

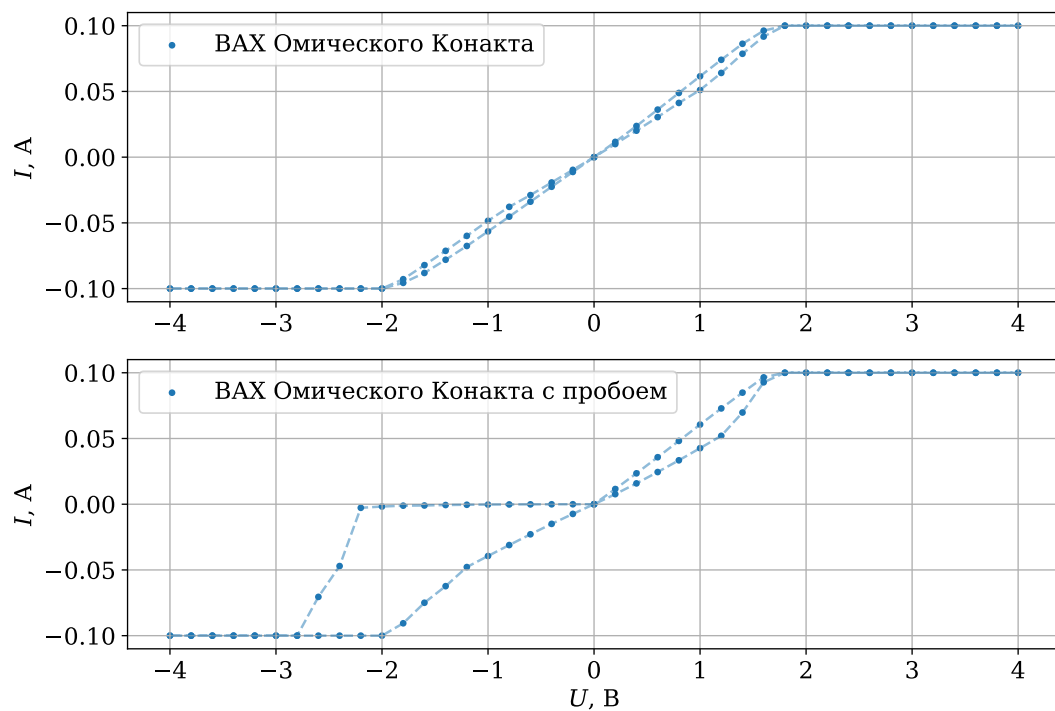


Рис. 4: ВАХ омического контакта

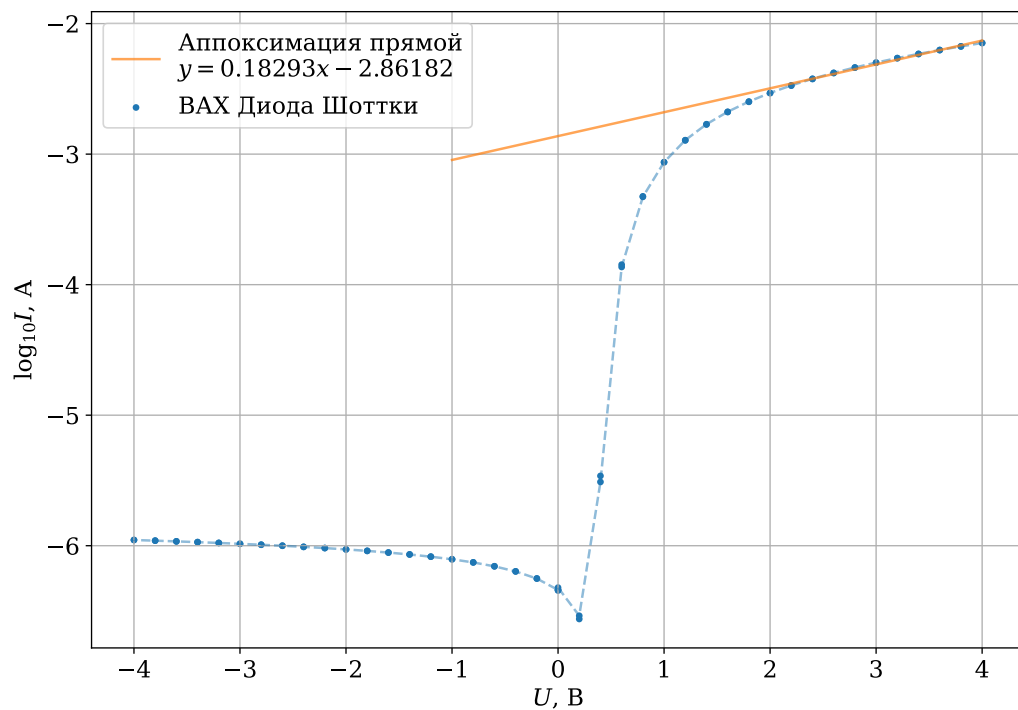


Рис. 5: ВАХ Шоттки в десятичном логарифмическом масштабе

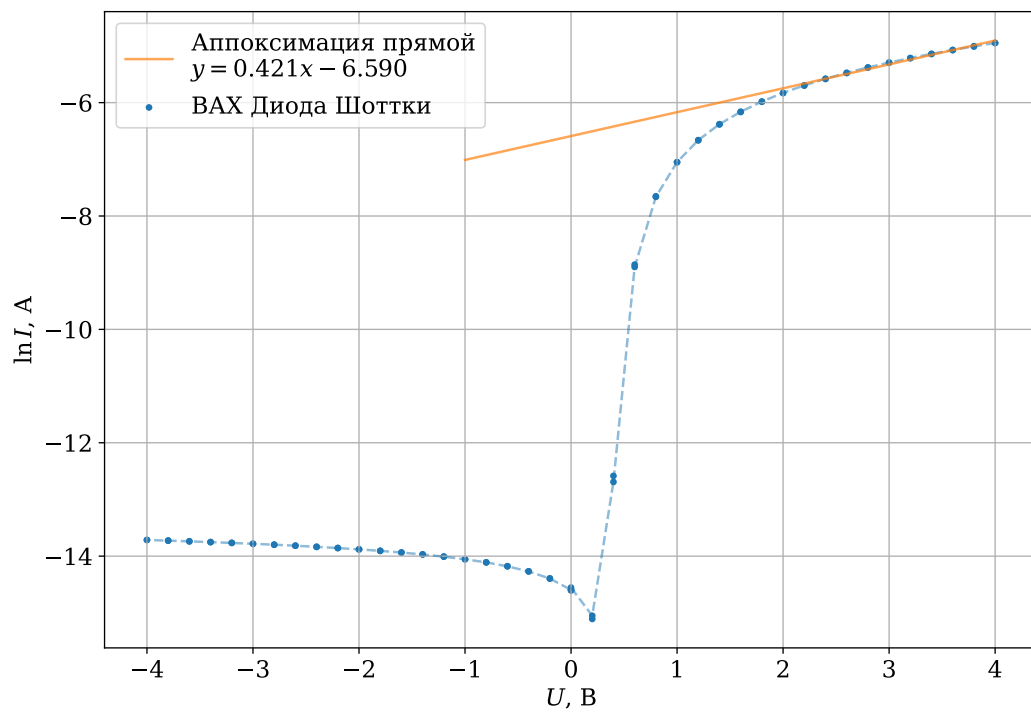


Рис. 6: ВАХ диода Шоттки в натуральном логарифмическом масштабе

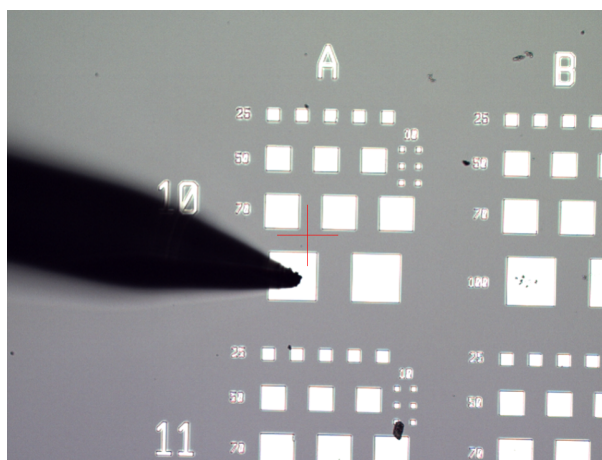


Рис. 7: Диод Шоттки под микроскопом