

Московский Физико-Технический Институт
(Национальный исследовательский университет)

Лабораторная работа

Диод Шоттки

Работу выполнили

Даниил Евгеньевич Борток

Атласов Владислав Романович

Марина Бичина

Долгопрудный, 2022 г.

Введение

Диод Шоттки — выпрямитель тока, основанный на принципе нелинейной электрической проводимости контакта металла с полупроводником, характеризуется высокой плотностью тока и повышенным быстродействием. Используются в технике СВЧ в качестве детекторов, смесителей частоты, умножителей, переключателей и тд.

Цель работы: изготовить контакты алюминия с кремнием п- и р-типов, снять вольтамперную характеристику диода Шоттки, построить ее в полулогарифмическом масштабе, рассчитать высоту барьера, построить вольтамперную характеристику омического контакта.

1. Теоретические сведения

1.1. 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:

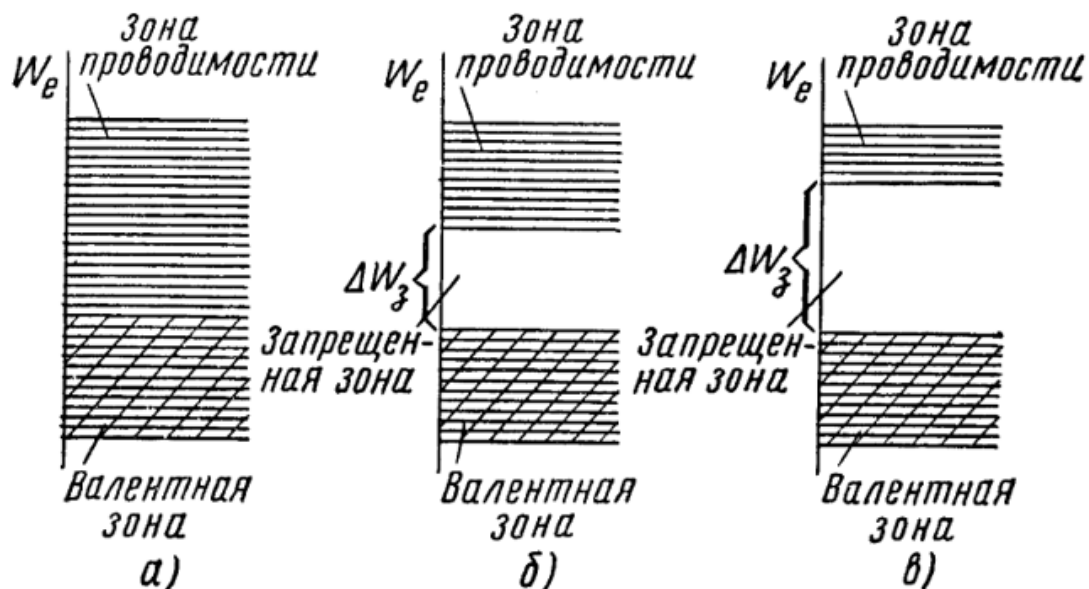


Рис. 1: Энергетические диаграммы металла, полупроводника и диэлектрика

- В металле зона проводимости и валентная зона пересекают друг друга (рис.1а), сама диаграмма металла представляет собой потенциальную яму глубиной φ_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".

1.2. Потенциальный барьер металл-полупроводник

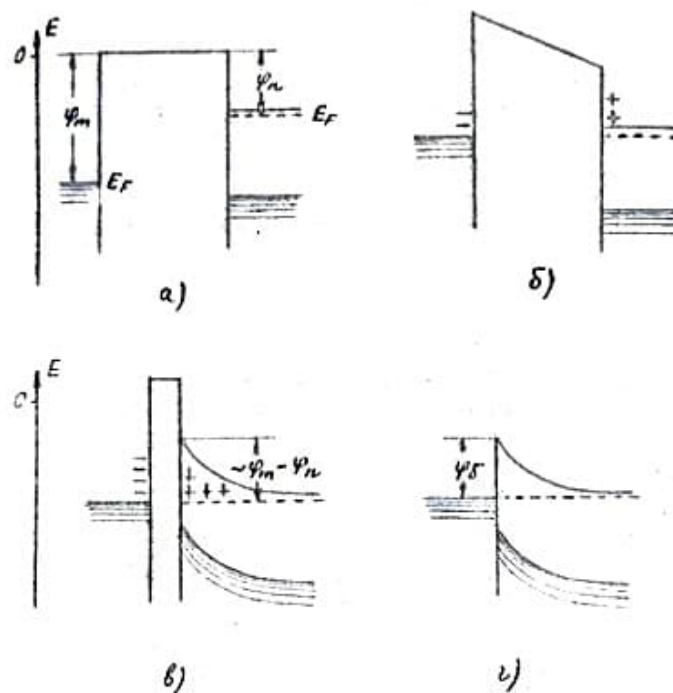


Рис. 2: Энергетические диаграммы металла и полупроводника

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 - электрическое 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 направлено 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.

2. Обработка результатов

ВАХ снимали с готовых образцов (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:

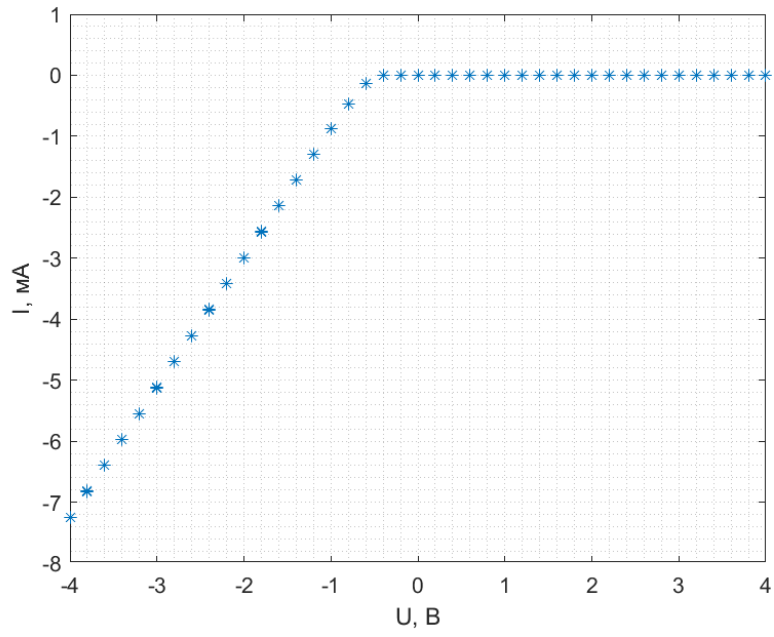


Рис. 3: ВАХ контакта Шоттки

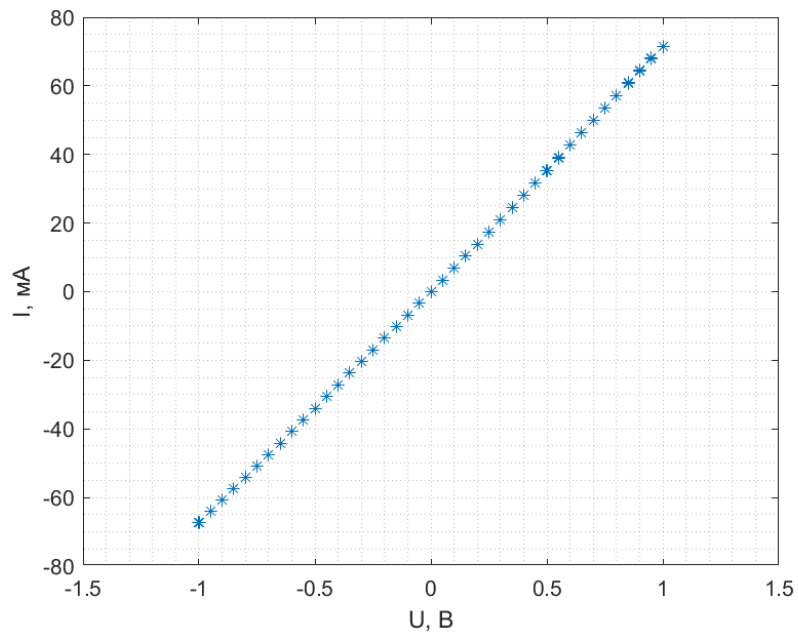


Рис. 4: ВАХ омического контакта

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

Линейно экстраполируя характеристику к нулевому напряжению, находим I_0 :

$$I_0 = -6,75 \pm 0,05$$

Получили I_0 с точностью до знака. Минус означает, что ток течёт в противоположном

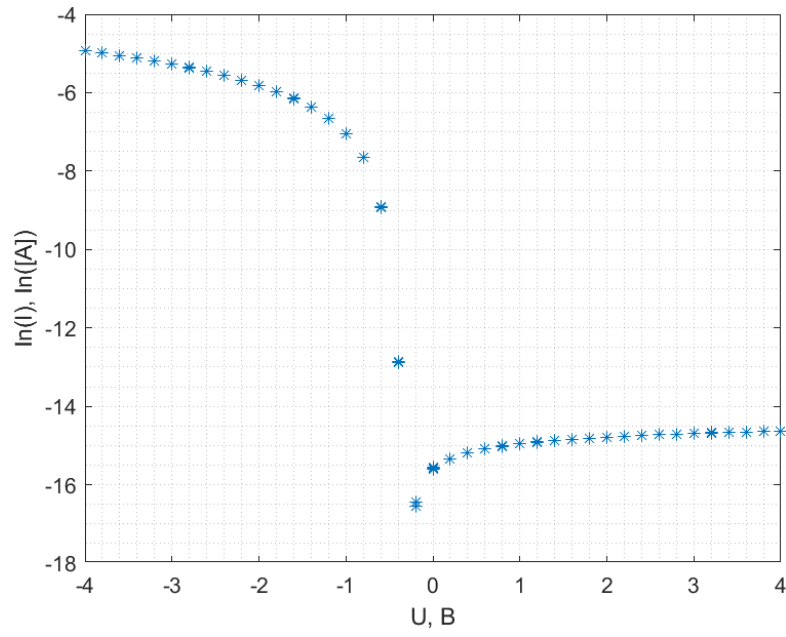


Рис. 5: ВАХ Шоттки в полулогарифмическом масштабе

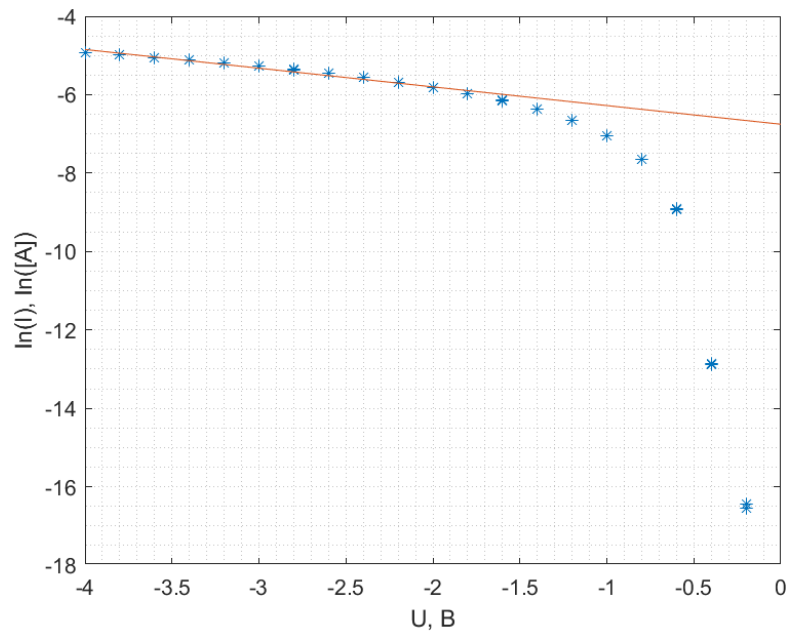


Рис. 6: Левая половина ВАХ Шоттки в полулогарифмическом масштабе с прямой для расчётов

направлении с полярностью подключения вольтметра. Вычислим высоту барьера по формуле:

$$\varphi_b = k_B T \ln \frac{S A_0 T^2}{|I_0|}, \quad (4)$$

где $S = 50 \text{ мм}^2$, $T = 300 \text{ К}$, $A_0 = 1,20 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-2}$ Получим:

$$\varphi_b = 0,36 \pm 0,02 \text{ эВ}$$

3. Вывод

В данной работе для выданного нам образца был построен прямолинейный участок ВАХ выпрямляющего контакта в полулогарифмическом масштабе и вычислена величина высоты энергетического барьера $\varphi_b = 0,36 \pm 0,02 \text{ эВ}$.