



010805. Пробой $p-n$ перехода

Цель работы: Изучить явление туннельного пробоя в $p-n$ переходе.

Требуемое оборудование, входящее в состав модульного учебного комплекса МУК-ТТ1:

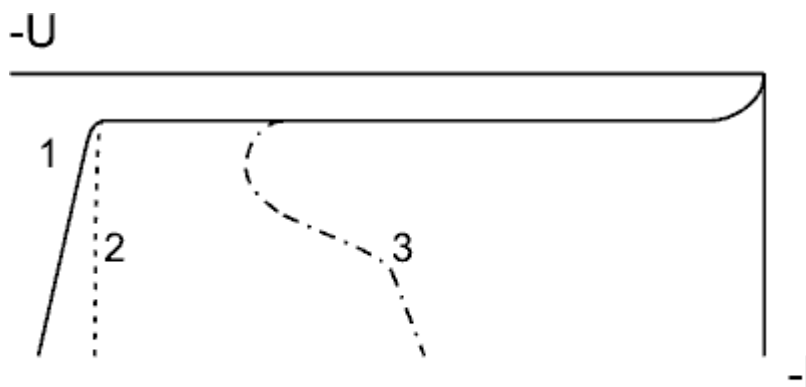
1. Блок амперметра-вольтметра АВ1	1 шт.
2. Блок генератора напряжений ГН4	1 шт.
3. Стенд с объектами исследования СЗ-ТТ01	1 шт.
4. Соединительные провода с наконечниками Ш4-Ш1.6	6 шт.

Краткое теоретическое введение

Существует предел повышения запирающего напряжения на $p-n$ переходе. Этот предел определяется пробоем $p-n$ перехода. Начиная с некоторого значения напряжения обратный ток увеличивается медленно, а затем все быстрее и быстрее. Если не принимать специальных мер, то переход окажется пробитым. В области больших запирающих напряжений вольтамперные характеристики будут иметь вид одной из кривых, показанных на рис. 1.

Различают четыре вида пробоя:

- туннельный пробой;
- лавинный пробой, или пробой за счет ударной ионизации;
- тепловой пробой за счет кумулятивного разогрева перехода;
- поверхностный пробой.



- 1 - Туннельныйи пробой
- 2 - Лавинный прбой
- 3 - Тепловой пробой

Рис. 1

Туннельный (зенеровский) пробой является результатом непосредственного воздействия сильного электрического поля на кристаллическую решетку полупроводника. При сильном обратном смещении $p-n$ -перехода можно создать условия для прямых электронных переходов между валентной зоной и зоной проводимости (туннелирования). Запрещенная зона при этом трактуется как область отрицательной кинетической энергии, в которой волновые функции быстро затухают. Вероятность перехода электрона через такой потенциальный барьер (с сохранением энергии) отлична от нуля, если с другой стороны барьера имеются состояния с равной или меньшей энергией. Эта вероятность имеет существенное значение только, при большой напряженности поля и малой ширине барьера. При этом образуются парные заряды электрон — дырка, увеличивающие ток через переход. По этому туннельный будет характерен для узких (тонких) переходов.

Лавинный пробой возникает в том случае если не основные носители, попадающие в поле области объемного заряда, приобретают энергию, достаточную для разрыва валентной связи. При столкновении с решеткой кристалла они выбивают из связи валентный электрон. В результате этого также возникает парный заряд, увеличивающий ток через переход. Для того чтобы носители заряда успели приобрести за время движения в переходе достаточную энергию, время их дрейфа должно быть относительно велико. Поэтому ударная ионизация наблюдается только в достаточно широких переходах, т. е. в переходах на относительно высокоомном материале

Как в первом, так и во втором случае сопротивление перехода начинает падать, ток резко возрастает. Так как эти два случая являются предельными, то часто мы будем иметь дело с переходами, в которых будут действовать оба указанных механизма.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что как у сплавных, так и у диффузионных германиевых и кремниевых переходов туннельный пробой наблюдается в основном при удельных сопротивлениях менее $0,1 \text{ ом/см}$. Напряжения туннельного пробоя составляют при этом менее 2В для германиевых и менее 5В для кремниевых переходов. Пробивные напряжения свыше 7В для кремниевых и свыше 5В для германиевых переходов соответствуют лавинному пробую. Промежуточные значения соответствуют одновременному существованию обоих видов пробоя. ВАХ для туннельного и лавинного пробоев оказываются довольно сходными, и практически не всегда можно с уверенностью сказать, какая из причин вызвала пробой.

Температурная зависимость напряжения туннельного пробоя будет определяться температурной зависимостью ширины $p-n$ перехода. С ростом температуры уменьшается контактная разность потенциалов, уменьшается ширина $p-n$ перехода, вероятность туннелирования возрастает, и напряжение пробоя падает.

Температурная зависимость напряжения лавинного пробоя зависит от температурной зависимости длины свободного пробега носителей тока. При рассеянии носителей на решетке подвижность носителей уменьшается. Поэтому для того, чтобы носитель при меньшей длине свободного пробега приобрел энергию, достаточную для ионизации валентных связей, поля в переходе должны иметь большую величину. Это приводит к тому, что напряжение пробоя будет увеличиваться с ростом температуры.

Таким образом, напряжения туннельного и лавинного пробоев имеют противоположные знаки изменения напряжения пробоя с изменением температуры ($\frac{dU_n}{dT}$). Изменение знака происходит при концентрациях порядка $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. В этой области ($U_n = 5 \div 6 \text{ В}$) изменения напряжения пробоя с температурой будут минимальными.

Тепловой пробой может иметь место в тех случаях, когда не обеспечивается необходимый отвод тепла от перехода, работающего в режиме выпрямления больших токов.

Явление поверхностного пробоя заключается в следующем. Поверхностный заряд, имеющийся практически всегда на поверхности полупроводника в месте выхода $p-n$ перехода на

поверхность, может сильно исказить картину поля в переходе. Это в свою очередь повлияет на ширину перехода на поверхности и как следствие может увеличить вероятность пробоя.

Методика эксперимента

Исследовать пробой $p-n$ -перехода можно с помощью полупроводникового стабилитрона. Полупроводниковым стабилитроном называется электронный прибор, предназначенный для получения опорного (стабильного) напряжения. Этот прибор состоит из $p-n$ -перехода, системы контактов и корпуса.

Для наблюдения пробоя $p-n$ -перехода необходимо его включить в обратном смещении (рис. 2). Для обеспечения защиты стабилитрона от неограниченного возрастания тока при превышении напряжения генератора выше напряжения пробоя необходимо использовать ограничивающее сопротивление R .

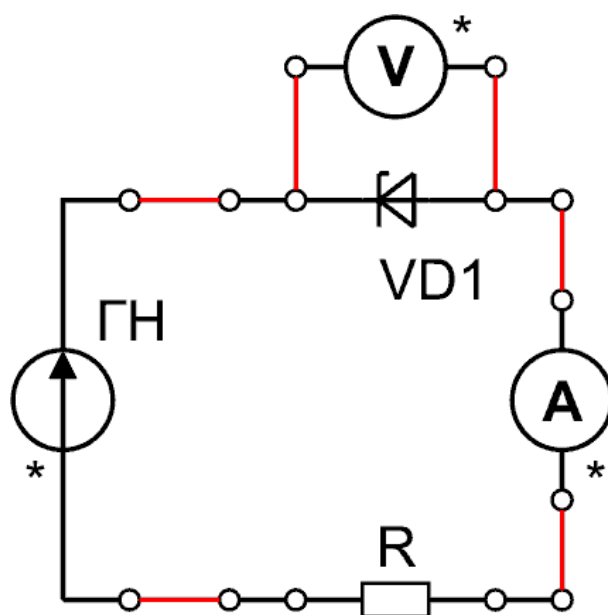


Рис. 2

Рекомендуемое задание

1. Получить данные для построения обратной ветви ВАХ, задаваясь разными значениями обратного напряжения на ГН и измеряя соответствующие значения обратного тока стабилитрона. При различных значениях температуры. Рекомендуемые значения 300К, 330К, 360К, 390К. Построить графики.
2. По результатам п. 1 построить график зависимости напряжения стабилизации от температуры при постоянном токе стабилизации $U_C = f(T)_{I = const}$. Рекомендуемое значение тока стабилизации 20 мА.

май 2010