

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6:

Изучение туннельного и обращенного диодов

Цель работы - изучить конструкцию и принцип работы, и произвести анализ вольт - амперных характеристик туннельного и обращенного диодов; определение их параметров по характеристикам (рис.1а, б).

Пояснения. Несмотря на то, что туннельные диоды являются двухполюсными, с их помощью можно усиливать и генерировать электрические колебания. Способность туннельных диодов выполнять функции активного элемента электрической цепи объясняется тем, что на одном из участков ВАХ их дифференциальное сопротивление отрицательное (участок nv на рис.2). Физически это означает, что при увеличении напряжения на диоде ток через него уменьшается.

Туннельные диоды выполняются из полупроводниковых материалов с высокой концентрацией примесей — вырожденных полупроводников — и имеют более узкий запирающий слой, чем обычные диоды (0,1—0,2 мкм), а поэтому значительно большую напряженность электрического поля запирающего слоя (до 10^6 В/см).

При отсутствии внешнего напряжения через туннельный диод протекают, как и через обычный диод, диффузионные и дрейфовые токи электронов и дырок. Однако эти токи не определяют работу прибора и его вольт - амперную характеристику при малых прямом и обратном напряжениях. В этом режиме через диод протекают также значительно большие токи, обусловленные туннельным эффектом, который можно пояснить с помощью энергетических диаграмм (рис.3а-г).

Потенциальный барьер в туннельном p - n -переходе (рис.3а) превышает ширину запрещенной зоны (33), поэтому валентная зона ($B3$) p -области и зона проводимости ($3I$) n -области перекрываются — интервал a .

Одну часть интервала a составляют уровни энергии, заполненные электронами, другую — свободные уровни. Разумеется, между занятыми и свободными частями интервала a нет столь резкой границы, и распределение электронов по энергиям изменяется плавно, причем количество свободных уровней увеличивается при приближении к потолку валентной зоны p -области и удалении от дна зоны проводимости n -области.

Между перекрывающимися частями зон возможен переход электронов по горизонтали без изменения их энергии. В этом состоит туннельный эффект. При туннельных переходах электроны не преодолевают потенциальный барьер, а проникают через него — туннелируют. Очевидно, что для туннелирующего электрона в зоне, куда он переходит, должен быть свободный уровень энергии, значение которой равно его собственной энергии.

При отсутствии внешнего напряжения туннельные переходы электронов представляют собой одинаковые прямой $I_{пр.т}$ и обратный $I_{обр.т}$ туннельные токи.

При подаче обратного напряжения потенциальный барьер и интервал перекрытия зон (рис.3б) увеличиваются и создаются условия, при которых занятым энергетическим уровням в валентной зоне p -области противостоят свободные энергетические уровни в зоне проводимости n -области. При этом более вероятными становятся туннельные переходы электронов обратного туннельного тока $I_{обр.т}$. Обратный ток стремительно нарастает и при обратном напряжении 20—40 мВ приближается к максимально допустимому значению. При обратном напряжении туннельные диоды не работают.

При подаче прямого напряжения интервал a (рис.3в) уменьшается и быстро растет прямой туннельный ток $I_{пр.т}$, так как перекрываются заполненные уровни энергии зоны проводимости n -области и свободные уровни энергии валентной зоны p -области. Прямой ток через переход быстро нарастает, чему соответствует первая восходящая ветвь ВАХ (участок On характеристики на рис.2). Точка n , в которой ток $I_{пр.т}$ достигает максимального значения, называемая пиком характеристики, определяет ток I_n и напряжение U_n пика ВАХ туннельного диода.

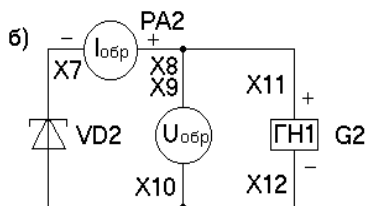
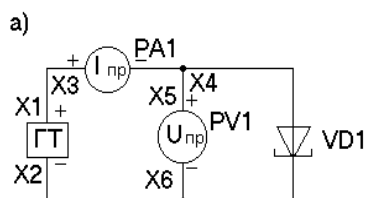


Рис.1

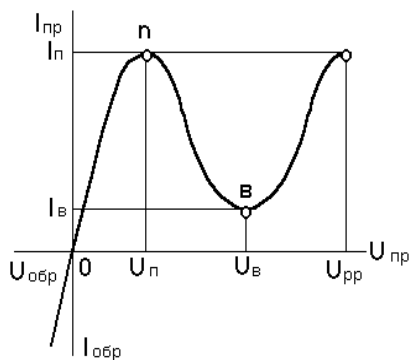


Рис.2

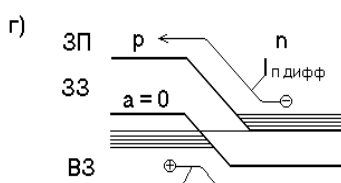
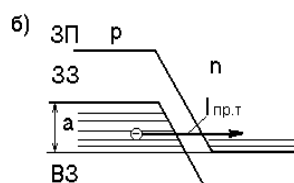
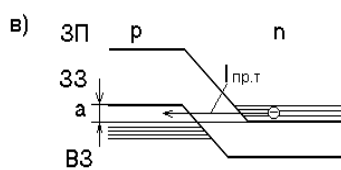
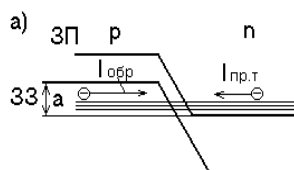


Рис.3

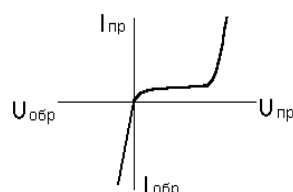
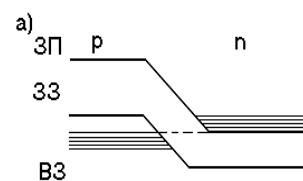


Рис.4

Дальнейшее увеличение прямого напряжения сопровождается уменьшением тока $I_{пр.т}$, так как уменьшается интервал a и, следовательно, число уровней энергии, между которыми возможен туннельный переход, чему соответствует падающий участок nv характеристики. Точка, в которой ток $I_{пр.т}$ становится минимальным, называемая впадиной характеристики, определяет ток I_v напряжение U_v впадины ВАХ туннельного диода.

Из зонной диаграммы, соответствующей точке впадины v (рис.3г), следует, что энергетические зоны не перекрываются ($a = 0$), т.е. туннельный ток невозможен. Диффузионная составляющая тока при напряжении U_v впадины невелика. Существование тока впадины объясняется другим механизмом туннелирования при сквозной запрещенной зоне. При этом электрон преодолевает ее по сложному пути, имеющему горизонтальные и вертикальные участки, на которых его энергия соответственно не изменяется и изменяется.

Еще большему прямому напряжению соответствует вторая восходящая ветвь ВАХ — участок, расположенный на рис.2 правее точки впадины v . При прямом напряжении, большем U_v , через диод проходит диффузионный ток.

Основными параметрами туннельного диода являются:

- токи I_n и I_v и напряжения U_n и U_v пика и впадины;
- напряжение раствора U_{pp} — прямое напряжение на второй восходящей ветви ВАХ, при котором прямой ток равен току пика I_n ;
- отношение тока пика к току впадины I_n/I_v .

Обращенные диоды являются разновидностью туннельных и также изготавливаются из вырожденных полупроводников, но с несколько меньшей концентрацией примесей. Зонная диаграмма обращенного диода при отсутствии внешнего напряжения показана на рис.4а. Обратное напряжение увеличивает потенциальный барьер. При этом перекрываются $B3$ p -области и $ЗП$ n -области, появляется и увеличивается обратный туннельный ток. При прямом напряжении ток через диод сначала невелик и

начальный участок ВАХ (рис.4б) имеет небольшой подъем, как у туннельного диода. Затем, после спада, начинается крутой подъем, т. е. нарастает диффузионный ток.

Обращенные диоды используют в качестве выпрямительных для обработки сигналов малой амплитуды (до 0,3—0,4 В), при которых прямой ток через диод мал (10 мкА), а обратный—велик (10 мА). Таким образом, при применении обращенных диодов их обратную ветвь ВАХ используют как прямую обычных диодов, а прямую — как обратную. Отсюда название этих приборов — обращенные диоды.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких полупроводниковых материалов изготавливают туннельные и обращенные диоды?
2. В чем состоит туннельный эффект?