

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕМЕНТЫ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Учебное пособие

Составители:
Е.В. Богатилов,
Т.Г. Меньшикова

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2010

СОДЕРЖАНИЕ

Механизм излучения света в полупроводниках	4
Вольт-амперная характеристика р-п перехода	7
Лабораторная работа № 1. Светоизлучающие диоды	9
Лабораторная работа № 2. Фоторезисторы	14
Лабораторная работа № 3. Фотодиоды	20
Лабораторная работа № 4. Оптопары	24
Список литературы	30

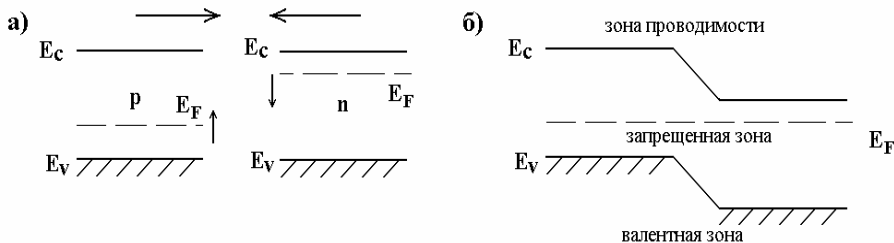


Рис. 4. Образование p - n -перехода: (а) – зонная диаграмма изолированных полупроводников n - и p -типа; (б) – зонная диаграмма p - n -перехода

На границе контакта n - и p -областей полупроводника энергетические зоны смещаются таким образом, чтобы положение уровня Ферми E_F (энергетического уровня, вероятность заполнения которого равна $1/2$) в обеих областях совпало (рис. 4а, б). Напряжение, приложенное к p - n -переходу, смещает энергетические уровни: положительное напряжение смещает уровни вверх, а отрицательное – вниз.

Переход электрона из валентной зоны в зону проводимости называется генерацией, а переход электрона из зоны проводимости в валентную зону называется рекомбинацией. При генерации носителей заряда поглощается энергия, а при рекомбинации энергия выделяется. Энергия может выделяться либо в виде света (излучательная рекомбинация), либо в виде тепла (безызлучательная рекомбинация). Для большинства полупроводников вероятность излучательной рекомбинации намного меньше, чем безызлучательной. Это объясняется следующей причиной. Реальная структура энергетических зон имеет сложный характер и положение E_c и E_v зависит от волнового числа электрона k (который связан с импульсом электрона) – рис. 5. Различают полупроводники, у которых положение дна зоны проводимости совпадает с положением потолка валентной зоны – прямозонные полупроводники (например, GaAs), и полупроводники, у которых эти точки соответствуют различным значениям волнового вектора электронов – непрямоzonные материалы (Ge, Si). При рекомбинации электрон должен отдать не только энергию, но и импульс. Поскольку фотон имеет очень маленький импульс, необходимо, чтобы в процессе излучательной рекомбинации в непрямоzonных материалах участвовала третья частица, что существенно снижает вероятность излучательной рекомбинации.

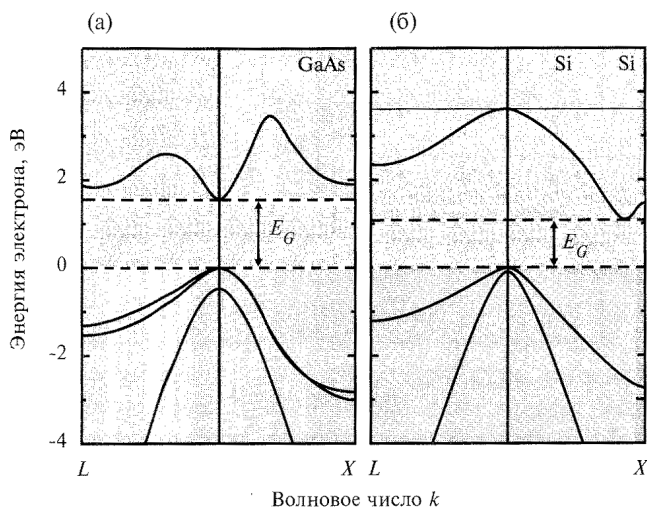


Рис. 5. Зонная структура прямозонных (а) и непрямозонных (б) полупроводников

Вольт-амперная характеристика р-п перехода

Идеализированная ВАХ p - n -перехода описывается следующим уравнением (рис. 6):

$$I = I_0(e^{U/\varphi_T} - 1),$$

где ток I_0 называют тепловым током. Он определяет величину обратного тока идеальной ВАХ, так как при $U < 0$ $e^{U/\varphi_T} \rightarrow 0$ и $I \rightarrow -I_0$.

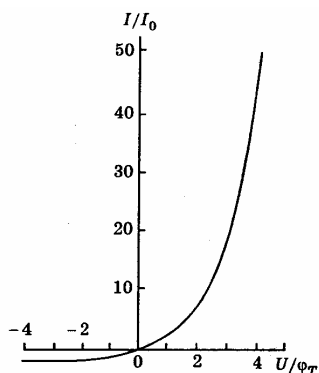


Рис. 6. Идеализированная ВАХ p - n перехода

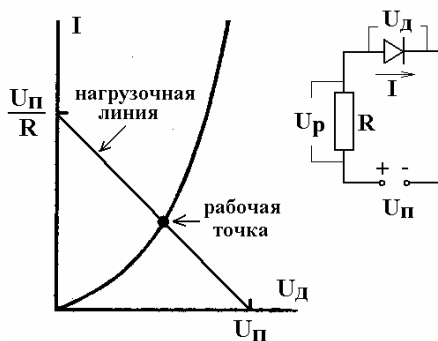


Рис. 7. Построение нагрузочной линии

Режим работы оптоэлектронного прибора определяется при помощи так называемой нагрузочной линии. На выходе любого прибора всегда имеется некоторое сопротивление нагрузки. Это или специально предназначенный для этого нагрузочный резистор, или следующий прибор, подключенный к выходу данного оптоэлектронного устройства. Для определения режима работы оптоэлектронного прибора на одном графике строят выходную характеристику рассматриваемого прибора (т. е. график, по оси x которого отложено выходное напряжение, а по оси y – выходной ток) и ВАХ нагрузочного резистора. Следует обратить внимание, что ВАХ нагрузочного резистора строится не в координатах «падение напряжения на резисторе» – «ток через резистор», а в координатах «выходное напряжение оптоэлектронного прибора» – «ток через резистор». Пересечение нагрузочной линии (т. е. ВАХ нагрузочного резистора) и ВАХ оптоэлектронного прибора называется рабочей точкой и определяет режим работы прибора при данном сопротивлении нагрузки.

Для того, чтобы построить нагрузочную линию, рассмотрим схему, которая содержит последовательно включенные источник питания с напряжением U_n , нагрузочное сопротивление R , на котором падает напряжение U_p и оптоэлектронный прибор, на котором падает напряжение U_d (рис. 7). Через все элементы схемы течет одинаковый ток I . Так как напряжение питания в данной схеме распределяется между резистором и оптоэлектронным прибором, можно записать:

$$U_n = U_p + U_d.$$

Согласно закону Ома, падение напряжения на резисторе равно. $U_p = I \cdot R$. Тогда $U_n = I \cdot R + U_d$, откуда получаем выражение для ВАХ резистора в координатах $I - U_d$:

$$I = \frac{U_n}{R} + \frac{1}{R} \cdot U_d.$$

Полученное уравнение прямой линии строится по двум точкам пересечения с осями координат: при $U_d = 0$ $I = \frac{U_n}{R}$, при $I = 0$ $U_d = U_p$.