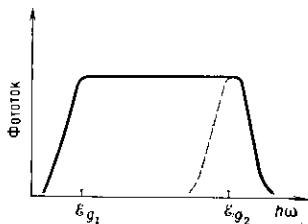
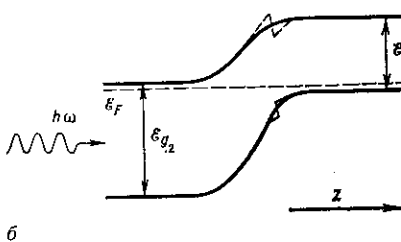


ник служит в этом случае «окном», прозрачным для света, поглощаемого в узкозонном слое, и защищает область генерации неравновесных электронно-дырочных пар от рекомбинации, потерь на поверхности кристалла.

Область спектральной чувствительности фотоэффекта определяется формой потенц. барьеров на границе. В резких Г. барьеры, возникающие из-за разрывов зон, препятствуют разделению носителей, возбуждаемых светом при его поглощении в узкозонном полупроводнике (рис. 5, б). В плавных Г. разрывы зон и пикки на границах отсутствуют, благодаря чему достигается постоянная спектральная чувствительность в диапазоне



а



б

Заключение. Особенности зонных диаграмм Г. и связанные с ними односторонняя инжекция, сверхинжекция, инжекция в тянущих полях делают Г. мощным

Рис. 5. Фотоэффект в плавном гетеропереходе: а — зависимость фототока от энергии фотонов (пунктир — длинноволновая граница спектральной чувствительности в случае резкого гетероперехода); б — зональная диаграмма (пунктир — форма барьеров в резком гетеропереходе).

средством управления потоками носителей в полупроводниках. Благодаря этому электрич. характеристики транзисторов, тиристоров и др. полупроводниковых приборов на основе Г. лучше, чем у аналогичных приборов на основе $p-n$ -переходов. Особенности излучат. рекомбинации и вентильного фотоэффекта послужили основой для создания оптоэлектронных приборов (гетеролазеров, светодиодов, фотодетекторов и др.; см. Гетероструктура).

Лит.: Милнс А., Фойхт Д., Гетеропереходы металл — полупроводник, пер. с англ., М., 1975; Шарма Б. Л., Пурохит Р. К., Полупроводниковые гетеропереходы, пер. с англ., М., 1979. Ж. И. Алферов, С. А. Гуревич.

ГЕТЕРОСТРУКТУРА — полупроводниковая структура с неск. гетеропереходами (ГП). Возможность изменять на границах ГП ширину запрещенной зоны ϵ_g и диэлектрическую проницаемость ϵ позволяет в Г. эффективно управлять движением носителей заряда, их рекомбинацией, а также световыми потоками внутри Г.

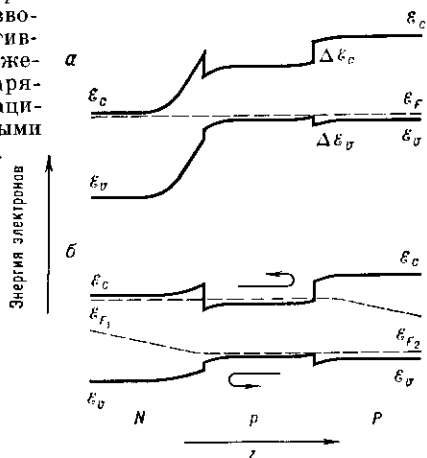


Рис. 1. Зональные диаграммы гетероструктуры типа $N-p-P$: а — в равновесии; б — при прямом смещении; ϵ_F — уровень Ферми, ϵ_{F1} , ϵ_{F2} — квазиуровни Ферми.

Электронное ограничение. На рис. 1, а показана зональная диаграмма Г. типа $N-p-P$ (двойная Г., ДГ). Предполагается, что толщина d узкозонного p -слоя меньше диффузионной длины (L) неравновесных носи-

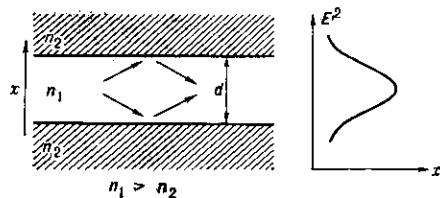
телей. При прямом смещении (рис. 1, б) барьер в зоне проводимости на изогинном $p-P$ -ГП ограничивает сквозной диффузионный ток электронов, инжектированных в p -слой, а барьер в валентной зоне на $N-p$ -ГП — сквозной ток дырок (ограничение сквозного тока имеет место и в Г. типа $N-n-P$). В большинстве случаев, когда разрывы в зонах $\Delta\epsilon_c$ и $\Delta\epsilon_v \gg kT$ (T — темп-ра кристалла), сквозным диффузионным током в ДГ можно пренебречь и в p -слое имеет место полное ограничение инжектир. носителей, т. е. локализация неравновесных носителей зарядов в узкозонной части Г., ограниченной более широкозонными полупроводниками. В этом случае плотность j тока прямого смещения определяется только рекомбинацией носителей заряда в узкозонном (активном) слое:

$$j = e\Delta n d / \tau, \quad (1)$$

где Δn — концентрация неравновесных носителей, инжектированных в активный слой, τ — их время жизни, e — элементарный заряд. При толстом p -слое ($d \gg L$) $j \approx e\Delta n L / \tau$. Отсюда следует, что при одинаковой плотности тока в ДГ за счёт электронного ограничения концентрации неравновесных носителей Δn в тонком p -слое ($d \ll L$) в L/d раз больше, чем в толстом.

Оптическое ограничение (волноводный эффект). Т. к. узкозонный слой имеет обычно больший показатель преломления $n_1 > n_2$ (рис. 2), то в нём имеет

Рис. 2. Волноводный эффект в двойной гетероструктуре: n_1 — показатель преломления узкозонного слоя, n_2 — широкозонных слоев; $E^2(z)$ — зависимость интенсивности световой волны от координаты z .



место волноводное распространение света, обусловленное полным внутренним отражением света на границах. Оно отчётливо проявляется, когда $d \gg \lambda$ (λ — длина волны света). Волноводный эффект может наблюдаться как при освещении Г. извне, так и для света излучат. рекомбинации внутри узкозонного слоя. Последний случай наиб. важен в большинстве практич. применений (см. ниже).

Структура эл.-магн. полей, соответствующих локализованным волнам (собственным модам оптич. волновода, см. Световод), может быть найдена из решений ур-ний Максвелла, если в полупроводниковых слоях Г. известна ф-ция $n(z)$. Волноводные свойства Г. могут изменяться под влиянием внеш. воздействий, напр. при возбуждении в узкозонном слое неравновесных носителей, т. к. в зависимости от их концентрации изменяется диэлектрическая проницаемость узкозонного слоя.

Практическое применение. Наиб. важное применение Г. — т. н. оптоэлектронные приборы (гетеролазеры, гетеросветодиоды). В Г., активная область к-рых представляет собой прямозонный полупроводник типа $AIII BV$ с $\epsilon_g \sim 1$ эВ, внутр. квантовый выход излучат. рекомбинации (отношение числа носителей, рекомбинирующих с излучением фотона, к общему числу инжектированных в узкозонный слой носителей) $\eta_i \sim 100\%$ в широком диапазоне степени легирования и темп-ры (включая 300К). Т. о., при рекомбинации неравновесных носителей в активной области Г. энергия внеш. источника практически полностью может быть преобразована в световую энергию (см. Гетеролазер).

В гетеросветодиодах (источниках спонтанного излучения) излучающая область также прямозонный полупроводник $AIII BV$. Вывод излучения обычно осуществляется перпендикулярно плоскости Г. через верхний широкозонный слой (эмиттер, плоскост.