

ные диоды), максимальный внешний квантовый выход (отношение числа вышедших фотонов к числу рождённых) $\eta_e \sim 40\%$. Плоскостные ИК-диоды используются в оптронах. ИК-диоды для волоконных линий связи (см. *Волоконная оптика*) обладают высокой энергетич. яркостью, которая достигается как за счёт локализации области протекания тока, так и за счёт сужения диаграммы направленности излучения вследствие волноводных эффектов, проявляющихся при выводе излучения через боковые грани кристалла, параллельно плоскости ГП (торцовые диоды). Быстродействие для диодов с сильнолегированными активными областями $\sim 10^{-8} - 10^{-9}$ с (см. также *Светодиоды*).

Г. применяются для создания приёмников оптического излучения — фотодиодов, лавинных фотодиодов, фототранзисторов и фототиристор, преобразователей ИК-излучения в видимое. Наиб. быстродействие и чувствительность имеют Г. типа $n^+ - n^0 - P$ или $p^+ - p^0 - N$ (+ означает сильное легирование, 0 — слабое), освещаемые через широкозонную область. Такие приборы обладают быстродействием $\sim 10^{-10} - 10^{-11}$ с и η_e , близкой к 100%. Изменяя состав и, следовательно, \mathcal{E}_g компонент, можно в широких пределах изменять диапазон спектральной чувствительности фотоприёмников. Использование Г. в лавинных фотодиодах позволяет управлять их осн. пара-

поглощаются в области объёмного заряда $p-n$ -перехода.

Г. с прямыми широкими полупроводниками, обладающими малыми временами τ жизни неравновесных носителей и малыми их диффузионными длинами L , позволили создать быстродействующие диоды, транзисторы и тиристоры, работающие при комнатных темп-рах ($T \sim 300$ К). В выпрямительных *полупроводниковых диодах* для увеличения пробивных напряжений требуется увеличение толщины слаболегир. области (базы), в к-рой находится пространственный заряд. Это приводит к возрастанию потерь при протекании тока в прямом направлении из-за роста падения напряжений на базе. В гетеродиодах с плавными гетеропереходами низкое падение напряжения на базе N^0 достигается благодаря увеличению L в «тянутом» поле. Увеличение эффективной величины L в базе осуществляется в Г. за счёт переноса носителей собств. рекомбинац. излучением.

В биполярных гетеротранзисторах с широкозонным эмиттером за счёт одностороннего характера инжекции эффективность эмиттерного гетероперехода ~ 1 , независимо от легирования базовой и эмиттерной областей (см. *Транзистор*). В гетеротранзисторах базовая область может быть легирована сильнее эмиттерной, что, уменьшая сопротивление базы и ёмкость эмиттерного перехода, повышает быстродействие. Для предотвращения инжекции дырок в коллектор, затягивающей время рассасывания, в импульсных гетеротранзисторах наряду с широкозонным эмиттером используется и широкозонный коллектор. В полевых транзисторах на ДГ с узкозонным каналом за счёт электронного ограничения улучшаются шумовые характеристики, а широкозонный затвор улучшает управление каналом.

Г. к. тиристор может быть представлен в виде комбинации двух транзисторов с Г. типа $p-n-p$ и $n-p-n$, между к-рыми существует положит. обратная связь по току, то всё сказанное о гетеротранзисторах применимо и к гетеротиристорам. Высокий η_e позволяет управлять напряжением включения путём преобразования электр. сигнала в оптический в самой Г. и последующего его преобразования в электрический на коллекторном переходе. Это исключает ограничения на время включения, связанное с диффузией и дрейфом носителей заряда, а также с временем распространения включённого состояния.

Гетеролазеры и гетерофотоприёмники, используемые в сочетании с плёночными полупроводниковыми волноводами, могут выполняться на основе единой Г. и на общей полупроводниковой подложке объединяться (интегрироваться) в оптич. схему (методами планарной технологии). Для управления условиями генерации и распространения света часто используются сложные Г., активный слой к-рых состоит из неск. слоёв постоянного или плавно изменяющегося состава с соответствующим изменением \mathcal{E}_g . Помимо локализации света в пределах одного или неск. слоёв в плоскости ГП, при создании интегрально-оптич. схем возникает необходимость дополнит. локализации световых потоков в плоскости волноводных слоёв (в плоскости ГП). Такие волноводы наз. *плосковыми* и создаются изменением либо состава и свойств полупроводника в плоскости волноводного слоя, либо толщины слоёв. «Встраивание» гетеролазера в волноводную схему осуществляется с помощью *оптического резонатора*, образуемого периодич. модулирующей толщиной волноводного слоя. При определ. выборе периода модуляции благодаря дифракции в волноводе возникает волна, бегущая в обратном направлении. В результате формируется распределённое отражение света (см. *Интегральная оптика*).

Материалы и технология. В приборах на основе Г. чаще всего используются полупроводники $AlGaAs$ и **449**

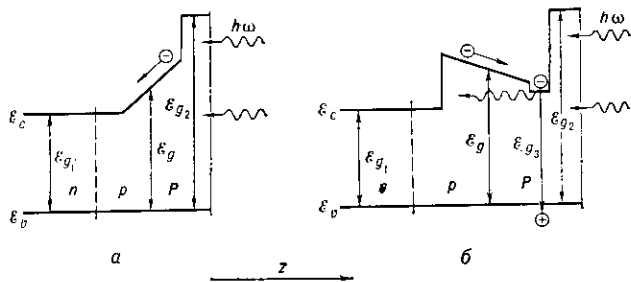


Рис. 3. Зонная структура солнечных гетерофотоэлементов: а — структура с промежуточным варизонным слоем; б — структура с промежуточным преобразованием ВВ-света в люминесцентное излучение.

метром — отношением коэф. ионизации электронов и дырок.

Ввод и вывод излучения в Г. без поглощения позволили создать эффективные эл.-люминесцентные фототиристоры (усилители света), а также преобразователи ИК-излучения в видимое, ДВ-граница чувствительности к-рых значительно сдвинута по сравнению с др. *электронно-оптическими преобразователями*.

На основе Г. типа $n-p-P$ созданы *солнечные батареи*. Область их спектральной чувствительности $\lambda \sim 0,4 - 0,9$ мкм, что соответствует максимуму спектрального распределения интенсивности солнечного света; $\eta_{\text{кпд}} \sim 25\%$, плотность снимаемой мощности ~ 40 Вт/см². Наиб. преимуществами по сравнению с др. преобразователями обладают солнечные гетерофотоэлементы при работе с концентр. потоками солнечной энергии. Гомопереход $p-n$ создаётся в узкозонном полупроводнике (рис. 3); широкозонное «окно», через к-рое падает излучение, состоит из неск. слоёв полупроводников постоянного (с постоянным \mathcal{E}_g) и переменного (варизонный полупроводник) составов. Для собирания макс. кол-ва фотонов осуществляется преобразование частоты коротковолновой ($\hbar\omega \geq \mathcal{E}_{g2}$) части спектра солнечного света. В 1-м случае (рис. 3, а) часть фотонов поглощается в варизонном полупроводнике и рождённые носители доставляются внутр. «тянущим» полем E_i к $p-n$ -переходу, в цепи к-рого возникает электр. ток. Во 2-м случае (рис. 3, б) поле E_i доставляет носители в тонкий слой (\mathcal{E}_{g3}), где они рекомбинируют, а излучённые при этом фотоны