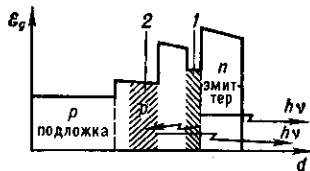


туры через широкозонный эмиттер без потерь на межзонаное поглощение.

Переизлучение света, излучаемого в направлении к подложке, в спец. фотолуминесцентном слое, ширина запрещенной зоны к-рого меньше или равна ширине запрещенной зоны активной области, позволяет в 2—2,5 раза повысить $\eta_{\text{вн}}$. Эти гетероструктуры (рис. 2)

Рис. 2. Схематическое изображение изменения ширины запрещенной зоны гетероструктурных ФЭЛ-структур: 1 — область излучательной рекомбинации; 2 — область переизлучения.



называют фотоэлектролюминесцентными (ФЭЛ-структурами).

В ДГ, содержащей активную узкозонную область, заключенную между двумя широкозонными эмиттерами, прозрачными для генерируемого излучения, и не содержащей поглощающий свет подложки (т. е. многопроходные двойные гетероструктуры, МДГ), фотоны, отразившись от поверхности внутрь кристалла, могут после многократных отражений внести вклад в выходящее излучение. При этом потеря фотонов на поглощение в активной области $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ не наблюдается в связи с тем, что поглощение происходит с переизлучением, квантовый выход к-рого близок к 1. Многопроходность приводит к резкому возрастанию $\eta_{\text{вн}}$. Так, в С. на основе МДГ $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ (рис. 3) достигнут $\eta_{\text{вн}} = 21\%$ в красной области спектра и 38% в ИК-диапазоне.

Для снижения потерь света на полное внутреннее отражение на границе полупроводника с окружающей средой применяют следующие меры. 1) Выполняют кристалл в виде полусферы или усеченной сферы (сферы Вейерштрасса); 2) помещают кристалл в среду с показателем преломления $n_{\text{возд}} < n < n_{\text{п}}$ для увеличения критич. угла (напр., использование прозрачного эпоксидного компаунда с $n = 1,5-1,6$ увеличивает выход излучения из кристалла в 2,5—3 раза); 3) применяют

Характеристики светодиодов

Излучающая структура и подложка	Цвет свечения	$\lambda_{\text{макс}}$, нм	Квантовый выход, $\eta_{\text{кв}}$, %, макс. значение	Сила света $I_{\text{с}}$, 10^{-3} кд при токе 20 мА, макс. значение
ГС $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}/\text{GaAs}$	красный	660	6	500
ДГ $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}/\text{GaAs}$	—	—	—	1000
МДГ $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}/\text{GaAlAs}$	—	—	21	5000
$\text{GaAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}/\text{N}/\text{GaP}$	оранжевый	630 ± 5	0,6	300
$\text{GaAs}_{0,15}\text{P}_{0,85}/\text{N}/\text{GaP}$	желтый	585 ± 5	0,25	200
$\text{GaP:N}/\text{GaP}$	желто-зеленый	565 ± 2	0,5	400
GaP/GaP	зеленый	555 ± 1	0,2	200
$\text{SiC}/\text{SiC}-6\text{H}$	синий	480	0,04	12
$\text{SiC}/\text{SiC}-4\text{H}$	фиолетовый	423	0,001	1
$\text{GaAs:Si}/\text{GaAs}$	ИК-излучение	930 ± 10	28	—
ДГ $\text{Ga}_{0,9}\text{Al}_{0,1}\text{As}/\text{GaAs}$	—	850 ± 30	7	—
МДГ $\text{Ga}_{0,9}\text{Al}_{0,1}\text{As}/\text{GaAlAs}$	—	—	38	—

Рис. 3. Схематическое изображение изменения ширины запрещенной зоны МДГ в системе $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$.



плоские кристаллы с мезаструктурой, позволяющие за счёт «внутр. фокусировки» излучения повысить вывод излучения в 2—3 раза; 4) создают диффузно-рассеивающую излучающую поверхность, улучшающую условия вывода излучения для лучей, падающих на границу раздела под углом, большим критического; это позволяет повысить вывод света в 1,5—2 раза.

Быстродействие излучающих диодов или предельная частота модуляции излучения ограничивается временем жизни неосновных носителей:

$$P_{\omega}/P_0 = [1 + (\omega\tau)^2]^{-1/2}$$

где P_{ω} — мощность излучения на частоте ω , P_0 — мощность немодулиров. излучения, τ — время жизни неосновных носителей. Время нарастания и спада излучения по уровням 0,1—0,9 для С. из высокоэффективных МДГ в системе $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ с красным и ИК-излучением составляет 15—25 нс.

Технология светодиода основана на использовании эпитаксиальных методов: жидкостной эпитаксии, газотранспортной эпитаксии, МОС-гидридной эпитаксии.

Обобщенные данные по характеристикам светодиодов приведены в табл., а типичные спектры излучения — на рис. 4.

Области применения: сигнальная индикация, подсветка постоянных надписей, отображение мнемонич. информации, блоки матриц бесшовной сты-

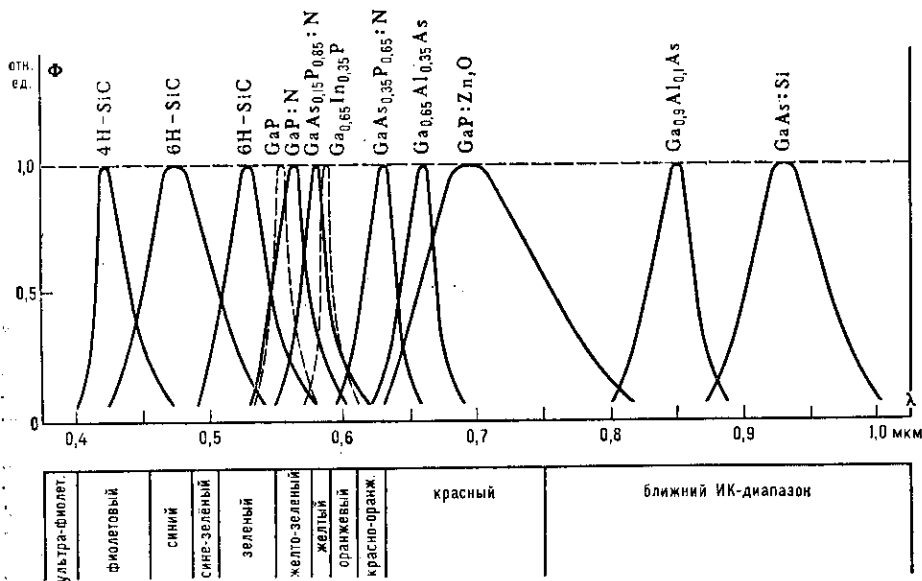


Рис. 4. Типичные спектры излучения светодиодов.