

Рис. 3. Полосковый инжекционный лазер: а — общий вид в сборке; б — схема; в — сечение вблизи активной области (АО).

импульсов на внутрizonных переходах в скрещённых электрич. и магн. полях.

Состояние инверсии достигается благодаря действию интенсивной накачки и в случае межzонных переходов выполняется прежде всего для рабочих уровней, находящихся на самых краях обеих zон (в сильнoleгиров. полупроводниках — для уровней в «хвостах» zон, протягивающихся в номинально запрещённую zону). Это объясняет справедливость соотношения (1) для большинства лазеров, т. е. объясняет связь энергии фотона лазерного излучения с шириной запрещённой zоны излучающего полупроводника ($h\nu \approx \epsilon_g$). Все факторы, оказывающие действие на ширину запрещённой zоны полупроводника (температура, давление, магн. поле), влияют на длину волны лазерного излучения П. л. и одновременно на показатель преломления среды. Это позволяет осуществлять перестройку длины волны лазерного излучения, напр. для спектроскопич. целей. С др. стороны, для получения лазерного излучения на фиксиров. длине волны необходимо предпринимать меры для её стабилизации, поддерживая на пост. уровне температуру, ток накачки и т. п.

Условие инверсии может быть выполнено для фотонов в нек-рой спектральной полосе (рис. 4). Для получения эффекта лазерной генерации оптич. усиление должно компенсировать все потери потока фотонов в пределах лазерного резонатора, образуемого обычно собственно активной средой и зеркальными плоскостями.

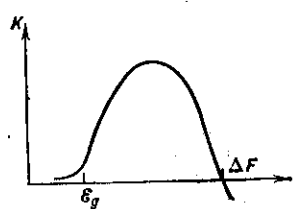


Рис. 4. Спектральный контур полосы оптического усиления в полупроводниковом лазере.

Такая компенсация достигается прежде всего вблизи максимума усиления, если не применена дополнит. спектральная селекция, смещающая рабочую частоту лазера. На пороге генерации должны быть выполнены два условия — компенсация энергетич. потерь за счёт оптич. усиления и наличие положит. обратной связи за счёт частичного (или полного) отражения оптич. по-

тока от зеркал обратно в активную среду. Если R — коэф. отражения и K — коэф. усиления на длине активной среды между зеркалами, то условие генерации имеет вид

$$KR \geq 1 \quad (6)$$

(при включении накачки для накопления фотонов в резонаторе необходимо выполнить условие $KR > 1$ в стационарном режиме, если пренебречь вкладом спонтанного излучения $KR \rightarrow 1$). Для естеств. плоской поверхности полупроводникового кристалла, напр. GaAs, $R \approx 0,32$ (если внеш. среда — воздух или вакуум). Следовательно, для возникновения генерации оказывается достаточным $K \approx 3$, что легко можно получить на сравнительно малой длине активной среды (100 — 300 мкм), если учесть, что показатель усиления в полупроводниковой среде легко достигает значений $10^2 - 10^3 \text{ см}^{-1}$.

Материалы и структуры. В П. л. применяются т. н. прямозонные полупроводники (рис. 5, а), в к-рых термализирующиеся носители обоих знаков приобретают примерно одинаковый квазимпульс, собираясь в соответствующих экстремумах своих zон и затем излучательно

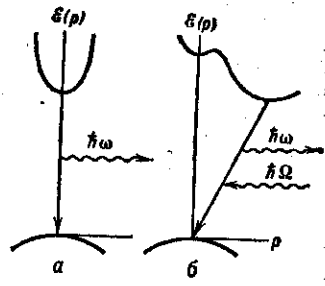


Рис. 5. Энергетические диаграммы прямозонного (а) и непрямоzонного (б) полупроводников.

рекомбинируя с выполнением закона сохранения квазимпульса (импульс фотона составляет относительно малую величину). В непрямоzонных полупроводниках (рис. 5, б) для рекомбинации носителей требуется участие др. частиц или квазичастиц (напр., фононов, обладающих соответствующим квазимпульсом), что существенно снижает вероятность излуччат. перехода. В результате излучат. переходы не могут конкурировать с безызлучательными. Для непрямоzонных полупроводников (к ним относятся, в частности, Si, Ge, SiC, GaP и др.) характерна слабая межzонная люминесценция, в них не развивается усиление, достаточное для возникновения генерации на этих переходах. Попытки создания эфф. лазеров на непрямоzонных полупроводниках остались безуспешными. Прямозонные полупроводники, используемые в П. л. (рис. 1), относятся в осн. к трём группам соединений: $A^{III}B^{IV}$, $A^{IV}B^{IV}$, $A^{II}B^{IV}$ (первые две используются в инжекц. П. л.). Кроме бинарных соединений, имеются многочисл. ряды изоморфных твёрдых растворов (на рис. 2 даны их сокращённые ф-лы: напр. $Ga_xIn_{1-x}P_{1-y}As_y$, где x и y — мольные доли соединений Ga и As, соответственно, составляющих многокомпонентную, в данном случае четырёхкомпонентную, смесь).

Среди лазерных материалов выделяются соединения и составы, входящие в т. н. изопериодич. пары, т. е. пары кристаллов, различающиеся по хим. составу, ширине запрещённой zоны и др. физ. свойствам, но имеющие одинаковый период кристаллич. решётки. Такие материалы пригодны для образования бездефектных гетеропереходов путём наращивания одного материала на другом эпитаксиальными методами (см. Эпитаксия). Совершенные гетеропереходы необходимы для формирования лазерных гетероструктур, широко используемых в совр. П. л. (наз. также гетеролазерами).

В изопериодич. паре более узкозональный компонент служит в качестве активного вещества и, следовательно