

Лит.: Происхождение и эволюция звезд, пер. с англ., М., 1962; Мартынов Д. И., Курс общей астрофизики, 3 изд., М., 1979.

ГЕТЕРОГЕННАЯ СИСТЕМА (от греч. heterogenēs — разнородный) — термодинамич. система, состоящая из разл. по физ. и хим. свойствам частей (*фаз*), к-рые отделены друг от друга резкими поверхностными раздела. Каждая из фаз, составляющих Г. с., гомогенна и достаточно велика, чтобы к ней были применимы термодинамич. понятия. Г. с. всегда многофазна и может быть многокомпонентной, если это согласуется с *Гиббса правилом фаз*. Термодинамика многофазных многокомпонентных Г. с. разработана Дж. Гиббсом (J. Gibbs) в 1875—78. Примеры Г. с.: насыщенный пар в равновесии с жидкостью, равновесные бинарные системы, растворы при неполной растворимости, мн. сплавы и т. д.

Понятие Г. с. применимо также к коллоидным растворам с достаточно большими коллоидными частицами, доменам в ферромагнетиках, смешанному состоянию в сверхпроводниках, но при этом необходимо учитывать поверхностную энергию переходного слоя, к-рой соответствует поверхностное натяжение.

ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЕ СВЕТА — см. *Детектирование света*.

ГЕТЕРОЛАЗЕР — полупроводниковый лазер на основе гетероструктур. Наиб. распространены инжекционные Г., в к-рых активной средой является узкозонный слой *гетероструктуры*. Это полупроводник (гл. обр. АШВ) с высоким квантовым выходом излучат. рекомбинации. Спектральный диапазон излучения Г. определяется ϵ_g узкозонного полупроводника.

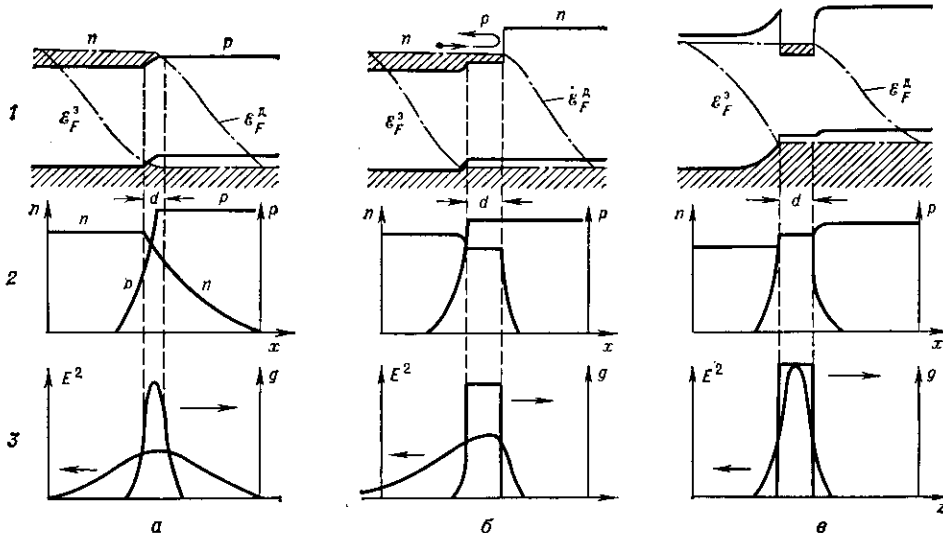
В инжекционных лазерах с *p-n*-переходом в прозрачном полупроводнике световое поле генерации проникает далеко за пределы активного слоя в области с вы-

соким для него коэф. поглощения. Толщина активного слоя меньше области рекомбинации неравновесных инжектир. носителей заряда (рис. 1, а). Это определяет большие потери энергии, высокую пороговую плотность тока и низкий кпд при темп-рах $T \geq 300\text{K}$. В Г. вследствие оптического и электронного ограничений можно управлять областью локализации светового поля и неравновесной электронно-дырочной плазмы. В Г. с односторонней гетероструктурой (ОГС-лазер, рис. 1, б) на расстоянии d от инжектирующего *p-n*-перехода создается потенц. барьер за счёт *гетероперехода* с более широкозонным полупроводником. Если скорость рекомбинации на гетерогранице мала (что обычно имеет место при совпадении параметров кристаллич. решётки полупроводников), то носители отражаются от барьера и увеличивают при том же токе ср. концентрацию носителей в области усиления. Тем самым инверсная населённость в активном слое, возникающая при определ. концентрации инжектир. носителей, достигается при меньшем значении плотности тока. Скачок показателя преломления на границе одновременно приводит к уменьшению проникновения светового поля в поглощающую *p*-область. Уменьшение рекомбинац. и оптич.

потерь снижает ток, необходимый для возбуждения генерации.

Наилучшими параметрами обладает Г. на основе трёхслойной (двойной) гетероструктуры (ДГС) с активным слоем из узкозонного полупроводника, заключённым между 2 широкозонными (ДГС-лазеры, рис. 1, в). Двустороннее оптическое и электронное ограничение приводит к совпадению области инверсной населённости и светового поля, что позволяет получить генерацию при малом токе накачки. Использование для инжекции носителей гетероперехода позволяет осуществить с верхи инжекцию для достижения достаточно большой инверсии населённости в активном слое.

Неравновесные носители можно локализовать в значительно меньшей области, чем световое поле. Так, в ДГС-лазерах толщину d узкозонного активного слоя удаётся довести до размеров длины волны *де Бройля* электрона с кинетич. энергией, близкой к высоте потенц. барьера на границах ($d \sim 6-8 \text{ нм}$). Ширина активного слоя такого Г. порядка длины волны генерируемого излучения и контролируется независимо изменением показателя преломления n среды. Т. о., Г. можно рассматривать как планарный оптич. волновод со встроенным в него активным усиливающим слоем. Волновод образован за счёт изменения n в плоскости, перпендикулярной гетеропереходу, а локализация электронно-дырочной плазмы в слое заданной толщины обес-



соким для него коэф. поглощения. Толщина активного слоя меньше области рекомбинации неравновесных инжектир. носителей заряда (рис. 1, а). Это определяет большие потери энергии, высокую пороговую плотность тока и низкий кпд при темп-рах $T \geq 300\text{K}$. В Г. вследствие оптического и электронного ограничений можно управлять областью локализации светового поля и неравновесной электронно-дырочной плазмы. В Г. с односторонней гетероструктурой (ОГС-лазер, рис. 1, б) на расстоянии d от инжектирующего *p-n*-перехода создается потенц. барьер за счёт *гетероперехода* с более широкозонным полупроводником. Если скорость рекомбинации на гетерогранице мала (что обычно имеет место при совпадении параметров кристаллич. решётки полупроводников), то носители отражаются от барьера и увеличивают при том же токе ср. концентрацию носителей в области усиления. Тем самым инверсная населённость в активном слое, возникающая при определ. концентрации инжектир. носителей, достигается при меньшем значении плотности тока. Скачок показателя преломления на границе одновременно приводит к уменьшению проникновения светового поля в поглощающую *p*-область. Уменьшение рекомбинац. и оптич.

печена потенц. барьерами на границе этого слоя с более широкозонным полупроводником.

Зеркалами Г. обычно служат грани кристалла (рис. 2). Однако в Г. используются также внеш. *оптические резонаторы* или положит. обратная связь, основанная на распределённом отражении света на периодич. оптич.

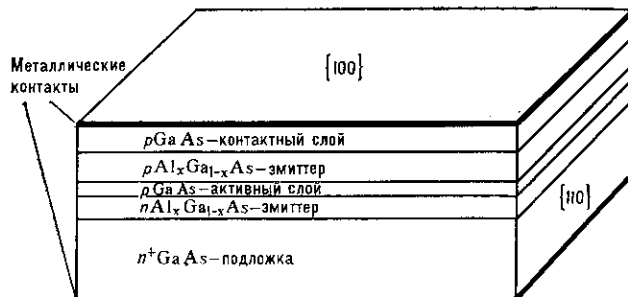


Рис. 2. Гетеролазер с резонатором Фабри-Перо, образованный склотовыми гранями полупроводникового кристалла: $\{110\}$ — плоскости естественного склоа, перпендикулярные активному слою, ориентированному в плоскости $\{100\}$.