

СВЕТ НАСТОЯЩЕГО И БУДУЩЕГО

Доктор физико-математических наук Александр ЮНОВИЧ,
физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова.

ЧТО ПРОИСХОДИТ В СВЕТОДИОДЕ

Классические полупроводники — это элементы IV группы: кремний и германий (Si, Ge). Но для светодиодов применимы другие полупроводники, ставшие теперь тоже классическими, — соединения типа $A^{III}B^V$ — арсениды, фосфиды и нитриды галлия, индия и алюминия (GaAs, GaP, AlAs, InP, InAs, GaN, InN, AlN и пр.).

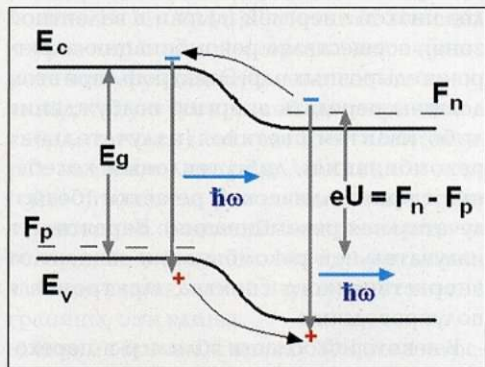
В этих веществах на пару атомов в решётке кристалла приходится 8 электронов ($4 + 4$ для Si, Ge; $3 + 5$ для GaAs, GaN и других $A^{III}B^V$). Эти электроны образуют прочные валентные связи, они не могут свободно двигаться в электрических полях, и при низких температурах в идеальных полупроводниках нет свободных носителей тока. Но при повышении температуры часть валентных связей разрывается, образуются пары: электрон плюс положительно заряженное свободное место в валентных связях (дырка). Эти электроны и дырки под действием электрического поля в кристалле свободно передвигаются — становятся носителями тока. Энергия, необходимая для образования электронно-дырочной пары в полупроводнике, называется шириной запрещённой зоны E_g .

Носители тока в полупроводнике могут создаваться и примесями. Если вместо атома пятой группы (например, азота N в GaN) в решётке кристалла стоит атом примеси шестой группы (скажем, кислорода), то лишний электрон легко отрывается от положительно заряженного иона. Примесь в таком случае называется донором. Аналогично атом примеси четвёртой группы (например, кремний) может заместить атом третьей группы (допустим, галлий) и тоже стать донором. Электронов в таком полупроводнике с донорными примесями становится на несколько порядков больше, чем дырок; этот полупроводник имеет проводимость n-типа.

Если вместо атома третьей группы (например, галлия из GaN) в решётке кри-

сталла стоит атом примеси второй группы (например, магния), то для добавления нужной валентной связи атом Mg легко принимает на себя электрон от соседних атомов и создаёт дырку, которая отрывается от отрицательного иона примеси. Она в таком случае называется акцептором. Дырок в таком полупроводнике с акцепторными примесями становится на несколько порядков больше, чем электронов; этот полупроводник имеет проводимость p-типа. В полупроводниковых структурах можно создать границу между областью n-типа, легированной донорами, и областью p-типа, легированной акцепторами, — p-n-переход.

Если в полупроводнике возбуждены неравновесные носители тока (электроны и дырки), то для восстановления равно-



Энергетическая диаграмма p-n-перехода при прямом токе, когда положительное напряжение приложено к контакту диода со стороны p-области. При такой полярности потенциальный барьер между p- и n-областями уменьшается, дырки перетекают (инжектируются) и диффундируют в n-область, а электроны — в p-область. Стрелками показана инжекция электронов и дырок при прямом токе через переход и их последующая рекомбинация с излучением квантов света $\hbar\omega$. Величина E_g на графике — ширина запрещённой зоны, то есть энергия, необходимая для создания электронно-дырочной (p-n) пары.