

## ПЕРЕСТРОЙКА СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДА МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Викулин И. М., Ирха В. И., Коробицын Б. В.

Обнаружен эффект перестройки частоты полупроводникового светодиода с варизонной базой в поперечном магнитном поле. Сдвиг спектра излучения в область меньших энергий соответствует смещению области излучательной рекомбинации в часть базы с меньшей шириной запрещенной зоны. Одновременное уменьшение интенсивности излучения объясняется отклонением инжектированных носителей к поверхности базы и увеличением доли безызлучательной рекомбинации.

В работе [1] описан эффект увеличения интенсивности излучения полупроводникового светодиода в поперечном магнитном поле при неизменном спектре излучения. Этот эффект типичен для светодиода из полупроводникового материала с постоянной шириной запрещенной зоны  $E_g$ . В настоящей работе обнаружен новый эффект — перестройка частоты излучения светодиода с варизонной базой в поперечном магнитном поле и уменьшение интенсивности излучения с ростом магнитной индукции  $B$ .

В исследованиях использованы светодиоды с варизонной базой на основе  $Ga_{1-x}Al_xAs : Si$  ( $x < 0.37$ ) с концентрацией  $Si$  порядка  $(3 \div 5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , изготовленные методом жидкостной эпитаксии при охлаждении [2]. В процессе выращивания слоев с уменьшением доли алюминия уменьшается доля донорного  $Si$  и повышается доля акцепторного  $Si$ . Поэтому в выращенных слоях (толщиной  $50 \div 70 \text{ мкм}$ ) имеется  $p-n$ -переход,  $n$ -область которого широкозонная, а  $p$ -область узкозонная, с плавным переходом между ними. На вставке к рис. 1 схематично показана структура светодиода (темные полосы — омические контакты). Как и в других гетеропереходах, излучательная рекомбинация происходит в основном в более узкозонной части структуры, т. е. в  $p$ -области [3]. Излучение  $\Phi$  выводится через  $n$ -область перпендикулярно плоскости  $p-n$ -перехода. Вольфарадные характеристики  $p-n$ -переходов соответствовали линейному распределению нескомпенсированных примесей вблизи  $p-n$ -перехода с градиентом концентрации порядка  $10^{20} \div 10^{21} \text{ см}^{-4}$ . Магнитное поле направлено перпендикулярно движению инжектированных носителей заряда (на рис. 1 обозначено  $B$ ). Типичный спектр электролюминесценции одного из исследованных светодиодов без магнитного поля приведен на рис. 1 (кривая 1). Он содержит одну полосу с полушириной, меняющейся от 0.12 эВ для одних образцов до 0.4 эВ для других. Энергия максимума излучения (в зависимости от  $E_g$  в плоскости  $p-n$ -перехода) у различных светодиодов находилась в пределах 1.3–1.9 эВ. Полуширина полосы спектра электролюминесценции больше, чем в гомогенных  $p-n$ -структурах из того же материала. Причиной уширения спектра электролюминесценции является варизонность структуры. Полоса излучения оказывается суммой полос с различными энергиями максимума и соответствует значениям  $E_g$  на краях области рекомбинации, показанной на вставке к рис. 1 сплошными вертикальными линиями при  $B=0$ .

При воздействии на исследованные гетероструктуры магнитного поля остаются неизменными прямые и обратные вольтамперные характеристики, наклоны ваттамперных и ваттвольтовых характеристик электролюминесцен-

ции. Остается практически неизменной и полуширина полосы люминесценции в магнитном поле. Изменение знака магнитного поля не влияет на изменение характеристик. Однако с ростом величины магнитного поля (при постоянной

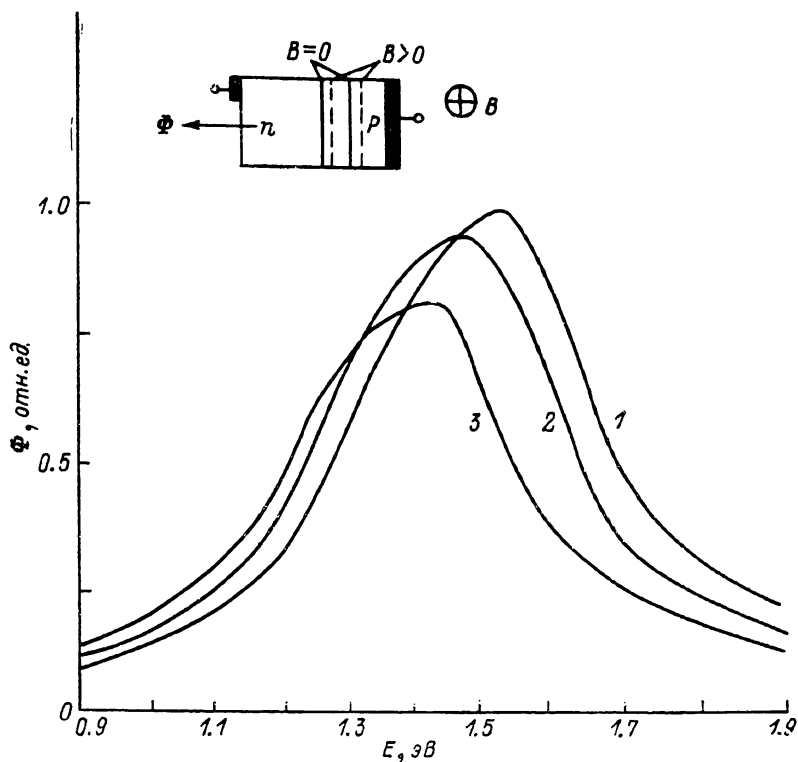


Рис. 1. Спектры электролюминесценции светодиода с варизонной базой без магнитного поля (1) и при воздействии поперечного магнитного поля (2, 3).

$B, T: 2 - 0.37, 3 - 0.4$ . На вставке — структура светодиода. Режим:  $J=10$  мА,  $T=20$  °С.

величине тока через образец) происходит перестройка частоты излучения исследованных структур, наблюдается сдвиг спектра электролюминесценции в сторону меньших энергий (рис. 1, кривые 2, 3), что соответствует смещению рекомбинационной области в узкозонную часть базы (штриховые линии при  $B > 0$  на вставке к рис. 1).

При изменении величины магнитного поля от 0 до 0.4 Т сдвиг спектра излучения для рассматриваемого светодиода с полушириной спектра 0.4 эВ составляет 0.12 эВ, относительное изменение амплитуды излучения 35 %, что показано на рис. 2 (кривые 1, 2 соответственно). Для структур с более узким

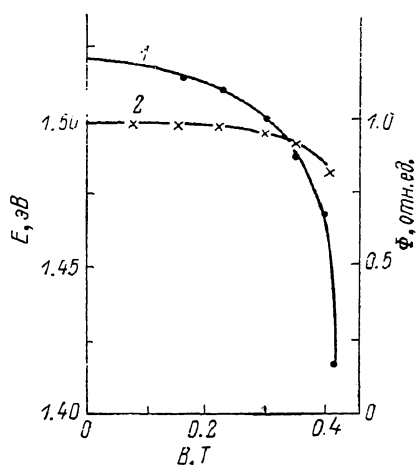


Рис. 2. Зависимости энергии в максимуме излучения (1) и интенсивности (2) от величины магнитной индукции.

спектром излучения (полуширина полосы 0.12–0.16 эВ) относительное изменение интенсивности излучения в таких же магнитных полях достигает более 50 %, а сдвиг спектра излучения 0.06 эВ. Таким образом, в светодиодах из варизонного материала с меньшим изменением ширины запрещенной зоны

спектр излучения уже и его сдвиг в магнитном поле меньше, но изменение интенсивности излучения больше. Уменьшение интенсивности излучения с ростом величины магнитной индукции может быть связано с двумя эффектами. Во-первых, магнитное поле отклоняет инжектированные неосновные носители заряда к одной из боковых граней кристалла [3], что усиливает вероятность рекомбинации на поверхности (являющейся безызлучательной) и уменьшает вероятность излучательной рекомбинации. Во-вторых, увеличивается путь излучения до выхода из кристалла, что приводит к росту поглощения.

Если известен градиент  $E_g$ , то, зная разность  $\Delta E$  полуширин спектров излучения светодиодов из одного и того же материала с варизонной базой и обычной базой, можно оценить ширину рекомбинационной области, которая соответствует длине диффузионно-дрейфового смещения электронов  $L_n$ . Для исследуемых образцов  $\Delta E_g \approx 50$  эВ/см [2] и  $\Delta E = 0.35$  эВ, следовательно,  $L_n \approx \approx 70$  мкм. Сдвиг спектра излучения в сторону меньших энергий в магнитном поле 0.4 Т на 0.15 эВ соответствует сдвигу области рекомбинации на 30 мкм (без изменения ее ширины). Известно, что в  $p-n$ -переходах в магнитном поле величина  $L_n$  уменьшается [3]. Это может происходить как за счет уменьшения подвижности и времени жизни, так и за счет изменения фотонного дрейфа [4]. Однако при уменьшении  $L_n$  в магнитном поле одна граница спектра излучения (большие энергии) должна быть неподвижной, а вторая (низкие энергии) должна смещаться в высокоэнергетическую сторону, что не соответствует рис. 1. Если же излучательная рекомбинация проходит с обеих сторон  $p-n$ -перехода, то в магнитном поле должны уменьшаться и  $L_p$ , и  $L_n$ , что проявлялось бы в сужении спектра излучения, чего также не наблюдается. Поэтому необходимы дополнительные, более детальные исследования влияния магнитного поля на распределение инжектированных носителей в базе.

Авторы выражают искреннюю благодарность А. Н. Именкову за предоставление образцов для исследования и информации об их структуре и технологии изготовления.

#### Список литературы

- [1] Викулин И. М., Ирха В. И. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 8. С. 1503—1504.
- [2] Царанков Б. В., Именков А. Н., Попов И. В., Яковлев Ю. П. // ФТП. 1974. Т. 8. В. 4. С. 652—661.
- [3] Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. М., 1980. 296 с.
- [4] Волков А. С., Липко А. Л. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 3. С. 412—418.

Одесский  
электротехнический институт связи  
им. А. С. Попова

Получена 4.05.1988  
Принята к печати 2.02.1989