

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ

Ю.П.Демидов, М.Н.Заргарьянц, А.А.Киселев,
С.И.Колоненкова

В силу малой толщины и оптической неоднородности активного слоя полупроводниковые ОКГ с одним $p-n$ -переходом имеют в типичном случае диаграмму направленности излучения с углом раствора на половине интенсивности около 15° в плоскости, перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода и несколько градусов в плоскости перехода. В работе [1] описаны некоторые характеристики инжекционного ОКГ из GaAs с многослойной структурой типа $p-p-p-p-p$, полученной эпитаксиальным путем из газовой фазы с использованием гидрида мышьяка.

В настоящем сообщении показана возможность сужения диаграммы направленности излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода за счет значительного расширения активной области при использовании многослойной структуры. В нашем случае применена хлоридная эпитаксиальная методика в открытой трубе [2], модифицированная таким образом, что обеспечена возможность получения слоев GaAs с управляемой степенью компенсации акцепторной примесью. Многослойные структуры получены в течение одного процесса на подложках из n -GaAs, ориентированных с точностью $1-3^\circ$ в плоскости $\{100\}$.

Пример такой структуры приведен на рис. 1. Между толстыми слоями n - и p -типа соответственно в нижней и верхней частях пластины заключено 4 тонких ($\sim 0,7$ мкм) слоя: $p-p-p-p$. Вся область многослойной структуры одинаково легирована амфотерной примесью (Sn). При этом концентрация электронов в слоях n -типа составляет около $2 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$. Слои p -типа (темные на рис. 1) получены перекомпенсацией акцепторной примесью (Zn) и имеют концентрацию дырок около $7 \cdot 10^{19}$ см $^{-3}$.

Резонатор Фабри – Перо с $L = 0,35$ мм получен раскалыванием пластины с омическими контактами по плоскостям спайности. Для исследования кристаллы размером $0,35 \times 0,25 \times 0,12$ мм 3 помещались в прижимной держатель.

При возбуждении ОКГ с многослойной структурой, погруженного в жидкий азот, прямоугольными импульсами тока с $\tau_u = 2$ мксек и $f = 200$ тг плотность порогового тока генерации $i_{\text{пор}} = 10 - 20$ ка \cdot см $^{-2}$.

Диаграмма направленности излучения ОКГ исследовалась с помощью ФЭУ, перед фотокатодом которого установлена диафрагма. Линейность сигнала с ФЭУ обеспечивалась применением калиброванных нейтральных фильтров. Угловое разрешение при измерении диаграммы направленности составляет $20'$.

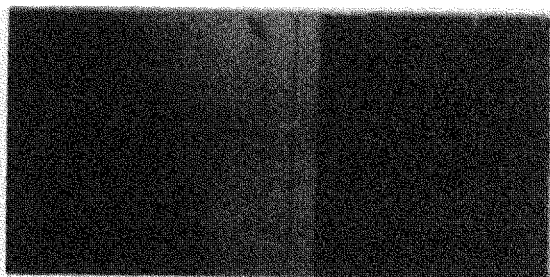


Рис. 1. Многослойная структура $p-n-p-n-p-n$

При небольшом превышении порогового тока на фоне пространственного распределения излучения, типичного для ОКГ с одним $p-n$ -переходом, имеется острый максимум в плоскости, перпендикулярной плоскости переходов. Причем направление на максимум отклонено от нормали к излучающей поверхности в сторону отрицательного электрода на угол примерно 15° (рис. 2, *a, б*). При

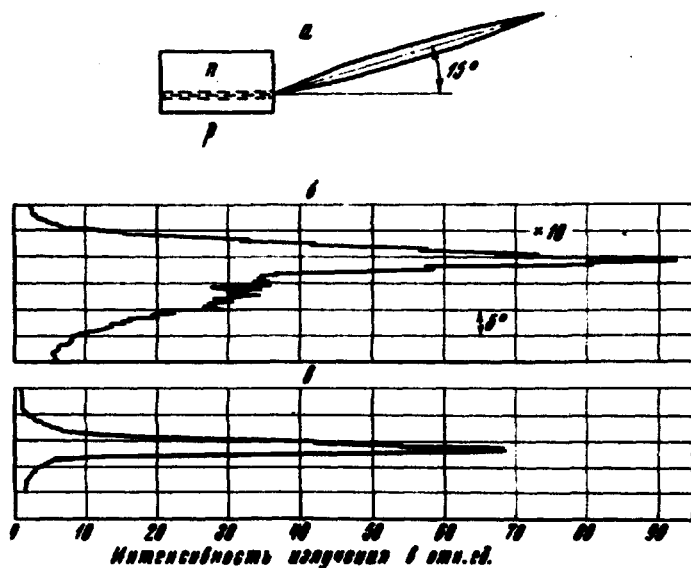


Рис. 2. Диаграмма направленности излучения многослойного ОКГ в плоскости, перпендикулярной плоскостям $p-n$ -переходов: *a* — схематическое изображение; *б* — при малом превышении $j_{пор}$; *в* — при $j = 2j_{пор}$

дальнейшем увеличении тока расходимость излучения в направлении этого максимума уменьшается и при $j = 2j_{пор}$ на половине интенсивности составляет $2,5^\circ$ (рис. 2, *в*). Как видно из рис. 2, *б* все излучение ОКГ в плоскости, перпендикулярной переходам, сосредоточено в небольшом угле. Спектр направленного пучка излучения при длительности импульсов тока накачки 100 нсек имеет по-

лосу в диапазоне $\lambda \approx 8430 \text{ \AA}$, аналогичную полосу излучения ОКГ с одним $p-n$ -переходом, а также дополнительную полосу с $\lambda \approx 8360 \text{ \AA}$ (рис. 3), что свидетельствует о наличии генерации в n -областях многослойной структуры. Порог возникновения длинноволновой полосы излучения несколько ниже коротковолновой.

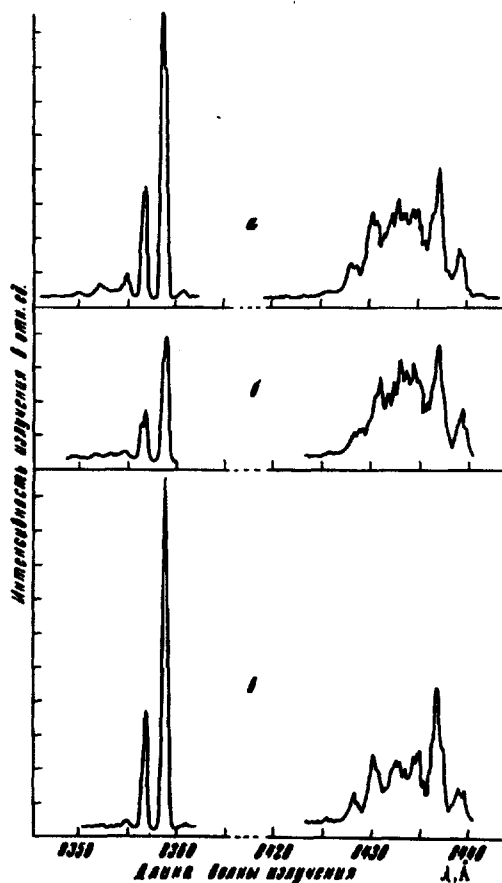


Рис. 3. Спектры излучения ОКГ с многослойной структурой: *a* — без поляроида; *b* — плоскость поляризации поляроида перпендикулярна плоскостям $p-n$ -переходов; *c* — плоскость поляризации поляроида параллельна плоскостям $p-n$ -переходов

При увеличении длительности или частоты следования импульсов тока коротковолновая полоса исчезает, что связано, очевидно, с нагревом активной области. Излучение длинноволновой полосы практически не поляризовано, в то время как коротковолновое излучение частично поляризовано.

Отклонение пучка излучения от нормали к зеркальной грани резонатора Фабри — Перо обусловлено оптической асимметрией активной области. Наличие большого градиента показателя преломления в направлении, перпендикулярном плоскости $p-n$ -переходов, вызвано градиентом распределения акцепторной примеси и связанным с ним градиентом распределения инжектированных носителей [3, 4]. В результате этого фронт волны, соответствующий постоянной разности фаз, не параллелен излучающей поверхности ОКГ.

Поступила в редакцию
2 июля 1970 г.

Литература

- [1] W.F.Kosonocky, R.H.Comely, I.J.Hegyí. IEEE Quantum Electron, QE-4, 176, 1968.
 - [2] J.R.Knight, D.Effer, P.R.Evans. Solid State Electronics, 8, 176, 1965.
 - [3] М.Н.Заргарьянц, Л.Н.Курбатов. Доклад на IV Всесоюзном совещании по физическим явлениям в *p-n*-переходах в полупроводниках. г. Одесса, июнь, 1970 г.
 - [4] О.В.Богданкевич, В.А.Гончаров, Б.М.Лаврушин, В.С.Летохов, А.Ф.Сучков. ФТП, 1, 7, 1967.
-