

ГЕНЕРАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ GaInPAs/InP  
С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ

Д. М. Подгивов, П. Г. Елисеев, В. Н. Лукьянов,

М. Г. Мильштейнский, Б. Н. Свердлов, Е. Г. Шевченко, С. Д. Якубович

УДК 621.378

Созданы гетероструктуры GaInPAs/InP с дифракционной решеткой на поверхности, излучающие при импульсной оптической накачке когерентное излучение в области 1,0 - 1,1 мкм (при T = 80-150 K). Решетка обеспечивала распределенную обратную связь в четвертом порядке дифракции. Исследовано спектральное и пространственное распределение излучения при температурной перестройке генерации. Ширина спектральной линии составила 0,1 нм, температурный сдвиг линии составляет около 0,04 нм/К.

Лазерные структуры с распределенной обратной связью (РОС) в форме активного волновода с периодическим изменением толщины позволяют контролировать спектральный состав и направленность излучения /1-3/. В настоящей работе впервые сообщается о создании РОС-структур на основе GaInPAs/InP и наблюдении генерации когерентного излучения в них в области ближнего ИК излучения (1,0 - 1,1 мкм). Изготовление структур включало: (1) выращивание тонких слоев  $Ga_xIn_{1-x}P_{1-y}As_y$  ( $x \approx 0,1$ ;  $y \approx 0,22$ ) методом жидкофазной эпитаксии на подложках InP (100), (2) нанесение и интерференционную засветку фоторезиста на поверхности гетероэпитаксиального слоя (периодичность засветки  $\sim 0,6$  мкм, излучение He-Cd лазера), (3) химическое травление в 1,5%-растворе  $Br_2 + CH_3OH$  и удаление фоторезиста. В итоге на поверхности гетероэпитаксиального слоя GaInPAs образовывалась РОС-структура с периодом канавок около 0,6 мкм при глубине около 0,12 мкм. Период структуры примерно соответствовал  $a = 2\lambda/n^*$  (где  $n^*$  - эффективный показатель преломления волноводной моды), т.е. четвертому порядку

дифракции. Величина  $n^*$  была определена ориентировочно по спектральным и пространственным измерениям когерентного излучения в лазере из того же материала с резонатором Фабри-Перо и дифракционной решеткой  $/I/$ . Исследование проводилось при оптической накачке импульсным  $N_2$ -лазером (ЛЛН-21) на длине волны 0,37 мкм в интервале температур 80–150 К. Освещенная полоска имела размеры 0,2 x 2 мм, типичное значение порога генерации  $(I-2) \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Генерация получена на различных длинах волн от 1,036 до 1,09 мкм. Рассмотрим модовый состав излучения. На рис. 1 показаны дисперсионные кривые, рассчитанные для планарного волновода:

$$\frac{2W n_p \cos \theta_m}{\lambda} W - \Phi_{am}^{TE, TM} - \Phi_{sm}^{TE, TM} = m\pi, \quad (1)$$

где  $W$  – толщина активного слоя,  $n_p$ ,  $n_s$  – показатели преломления соответственно слоя и подложки,  $\theta_m$  – парциальный угол моды  $m$ -го порядка ( $n_m^* = n_p \cos \theta_m$ ) для длины волны 1,06 мкм; величины  $\Phi$  определяются соотношениями

$$\begin{aligned} \Phi_{am}^{TE} &= \arctg \left[ \sqrt{(n_p \sin \theta_m)^2 - 1/n_p \cos \theta_m} \right] \\ \Phi_{am}^{TM} &= \arctg \left[ \sqrt{(n_p \sin \theta_m)^2 - 1/n_p \cos \theta_m} (n_p)^2 \right] \\ \Phi_{sm}^{TE} &= \arctg \left[ \sqrt{(n_p \sin \theta_m)^2 - n_s/n_p \cos \theta_m} \right] \\ \Phi_{sm}^{TM} &= \arctg \left[ \sqrt{(n_p \sin \theta_m)^2 - n_s^2/n_p \cos \theta_m} \left( \frac{n_p}{n_s} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

В образцах с  $W = 1$  мкм могут распространяться моды с поперечными индексами  $m = 0, 1$ . Опыт показал, что возбуждаются преимущественно TE-моды, а именно,  $TE_0$ ,  $TE_1$  и гибридная мода  $TE_{(01)}$ , связанная с обменом энергией при рассеянии на решетке встречных волн мод  $TE_0$  и  $TE_1$ . Спектральное положение и диаграммы направленности мод показаны на рис. 2. Спектральная ширина линий генерации составляла 0,1 нм. В плоскости, перпендикулярной волноводу и штрихам решетки, направление излучения определяется соотношением

$$\alpha_m = \arcsin \left[ M\lambda/2a - n_m^*(\lambda) \right], \quad (3)$$

где  $\alpha_m$  – угол относительно нормали к волноводу,  $M$  – порядок

5. Э. Гайжаускас, И. А. Полуэктов, Ю. М. Попов, Квантовая электроника 4, 1578 (1977).
  6. С. А. Москаленко, В. А. Свияк, П. И. Хаджи, Квантовая электроника 3, 852 (1976).
  7. С. А. Москаленко, А. К. Ротару, В. А. Свияк, П. И. Хаджи, ФТТ, 19, 2172 (1977).
  8. S. Takeo, M. Mabuchi, Progress of Theoretical Physics, 50, 1848 (1973).
  9. И. А. Полуэктов, Ю. М. Попов, В. С. Ройтберг, Квантовая электроника 2, 2621 (1975).
- Ю. Б. С. Томищ, Препринт ОИНИ, Дубна, 1971 г.

дифракции. Моды  $TE_0$  и  $TE_1$  дают лепесток непосредственно по нормали к волноводу ( $\alpha = 0$ ), а гибридная мода содержит два симметричных лепестка под небольшим углом к нормали. Ширина лепестка около  $0,5^\circ$ , что заметно больше, чем дифракционный предел вследствие влияния неоднородностей. На рис. 2а видна температурная перестройка генерации ( $d\lambda/dT \approx 0,04 \text{ нм/К}$ ), сопровождающаяся переключением пространственного типа волны. С увеличением толщины волновода возрастает число разрешенных мод волновода, вследствие чего спектр и диаграмма направленности усложняются. Для получения одночастотной генерации целесообразно использование одномодового волновода ( $w \leq 0,7 \text{ мкм}$ ).

Авторы выражают благодарность за помощь в изготовлении образцов Л. И. Барановой.

Поступила в редакцию  
12 августа 1978 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ж. И. Алферов, С. А. Гуревич, Р. Ф. Казаринов, М. Н. Мизеров, Е. И. Портной, Р. П. Сейсян, Р. А. Сурис, ФТП, **8**, 832 (1974).
2. В. Н. Лукьянов, А. Т. Семенов, Н. В. Шелков, С. Д. Якубович, Квантовая электроника, 1975, **2**, № II, 2373 (1975).