

## Модовый состав излучения полупроводникового лазера, содержащего в активной области два типа квантовых ям

В.Я.Алёшкин

*Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, 603600, Россия*

**Б.Н.Звонков, Н.В.Байдусь\*, С.М.Некоркин**

*Научно-исследовательский физико-технический институт при ННГУ, Нижний Новгород, 603950, Россия*

Представлены результаты исследования лазера с квантовыми ямами, основанного на гетероструктуре InGaP/GaAs/InGaAs, который одновременно генерирует излучение в двух частотных полосах. Моды соответствующие одной полосе являются основными, а моды соответствующие другой полосе – модами первого порядка. Энергия квантов в разных полосах могут отличаться от 6 до 50 мэВ.

Лазеры с квантовыми ямами обладают возможностью генерировать излучение одновременно в нескольких частотных полосах. Энергии фотонов в разных полосах могут отличаться на тысячные, сотые и десятые доли электрон-вольта. Кроме того, возможна генерация как основной, так и возбужденных ТЕ мод диэлектрического волновода. Чем интересны лазеры, которые генерируют одновременно несколько частот? Во-первых, в них возможна генерация разности частот благодаря нелинейным эффектам [1]. Длины волн, соответствующие разностным частотам, лежат в среднем и дальнем ИК диапазонах. Поэтому такие лазеры могут быть источниками дальнего и среднего ИК диапазонов [1,2]. Во-вторых, лазер, генерирующий излучение в разных частотных полосах, обладает большей эффективностью для практических применений в области передачи информации по сравнению с обычным лазером. Действительно, каждая из таких полос может быть использована в качестве независимого канала передачи информации. Одновременная генерация двух полос излучения наблюдалась при исследовании лазера с переизлучаемой длиной волны генерируемого излучения [3]. Лазер, исследованный в [3], содержал две близкорасполо-

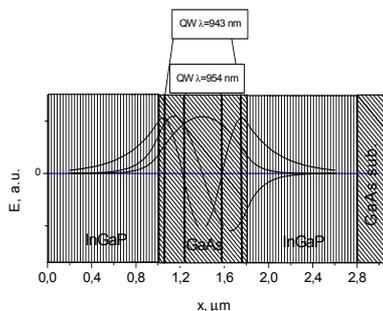


Рис. 1. Лазерная структура для генерации двух полос излучения. На рисунке также показана структура электрического поля основной ТЕ моды и мод первого и второго порядка.

\* Тел.: +7-8312-656365; Fax: +7-8312-658709; E-mail: Baidus@phys.unn.ru

женных квантовых ямы в центре волновода, и поэтому обе частотные полосы соответствовали основной волноводной моде. Как показано в работе [2], при генерации разностной частоты условие фазового синхронизма невозможно выполнить, если обе моды стимулированного излучения являются основными модами волновода.

В настоящей работе представлены результаты исследования лазера с квантовыми ямами, основанного на гетероструктуре nGaP/GaAs/InGaAs, который одновременно генерирует излучение в двух частотных полосах. Моды соответствующие одной полосе являются основными, а моды соответствующие другой полосе – модами первого порядка.

Лазерная структура была выращена методом МОС-гидридной эпитаксии. Особенностью структуры являлось то, что волновод содержал четыре квантовые ямы (см. рис. 1). Энергии дипольных переходов, определенные с помощью наблюдения электролюминесценции при температуре 300К составили 1,301эВ ( $\lambda=954$ нм) для внутренних ям, и 1,317эВ для внешних ям. Электрические поля для основной моды, мод первого и второго порядков показаны на рис. 1. Лазеры изготавливались по методике, описанной ранее [3]. Ширина активной области и длина резонатора были равны 100мкм и 1мм соответственно. Зеркалами служили сколы граней (110).

Измерения проводились при накачке лазера импульсами тока длительностью 300нс с частотой повторения 100кГц. Спектральная характеристика измерялась с помощью решеточного монохроматора МДР-23. Кроме спектральных характеристик были исследованы зависимости интенсивности излучения от угла в плоскости, перпендикулярной р-п переходу, на фиксированных длинах волн. Все измерения проводились при комнатной температуре.

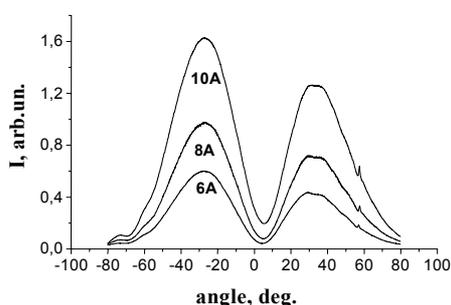


Рис. 2. Зависимость интенсивности лазерного излучения от угла в плоскости, перпендикулярной р-п переходу

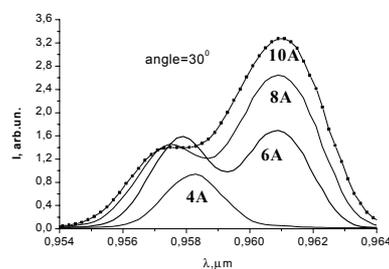


Рис. 3. Спектральные зависимости стимулированного излучения. Положение линий указывает на участие в генерации только внутренних квантовых ям.

На рис. 2 изображены типичные угловые зависимости интенсивности излучения после начала стимулированной генерации. Пороговый ток составлял около 2 А. На рис. 2 хорошо видно, что интенсивность стимулированного излучения имеет два максимума при углах около  $\pm 30^\circ$ . Такого типа зависимость указывает на возбуждение в волноводе ТЕ моды первого порядка.

Спектральные характеристики стимулированного излучения, измеренные для угла  $30^\circ$ , приведены на рис. 3. В спектре присутствуют две полосы генерации. Центру одной из них соответствует длина волны  $\lambda=0,961$  мкм ( $h\nu=1,292$  эВ), а центру другой  $\lambda=0,958$  мкм ( $h\nu=1,296$  эВ). Вероятно, присутствие этих полос в спектре генерации обусловлено случайным отличием параметров двух внутренних квантовых ям.

Разность длин волн центров этих полос изменялась от 0 до 6 нм и зависела от места на пластине, из которого был изготовлен лазерный диод.

На некоторых диодах наблюдалась одновременная генерация от внешних и внутренних ям. Спектр генерации такого диода приведен на рис. 4.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность одновременной генерации двух полос излучения в полупроводниковом лазере с квантовыми ямами. Энергии квантов в разных полосах могут отличаться от 6 до 50 мэВ. Показано, что положением квантовой ямы в волноводе можно определять, какая мода волновода будет возбуждаться при генерации.

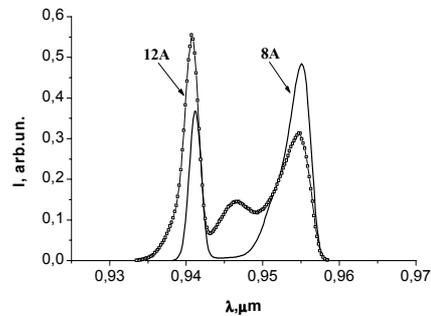


Рис. 4. Спектральные зависимости стимулированного излучения, которые наблюдались на некоторых чипах при больших токах. Положение пиков указывает на участие в генерации как внутренних, так и внешних квантовых ям.

Работа частично финансировалась грантами: РФФИ-БРФФИ №00-02-81022, МНТП ФТНС №99-1128, ГНТП “Фундаментальная спектроскопия” №8/02.08, программы поддержки ведущих школ РФ №00-15-96618, Российско-Украинской программы “Нанопизика и наноэлектроника” №2000-3Ф, NWO 047.006.014, NATO SFP-973799 Semiconductors.

*Литература*

- [1] A.Belyanin, F.Capasso, V.Kocharovskiy, V.I.Kocharovskiy //Phys. Rev. A **63**, No.053803 (2001).
- [2] Алешкин В.Я., Афоненко А.А., Звонков Н.Б. //ФТП в печати (2001).
- [3] B.N.Zvonkov, N.B.Zvonkov, I.G.Malkina, G.A.Maximov, I.A.Avriutsky, A.V.Vasil'ev, E.M.Dianov, A.M.Prokhorov //Soviet Lightwave Commun **3**, 73 (1993).

**Modal composition of the radiation of semiconductor laser containing two types of the quantum well in an active region <sup>\*)</sup>**

**V.Ya.Aleshkin**

*Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhni Novgorod, 603600, Russia*

**B.N.Zvonkov, N.V.Baidus\*, S.M.Nekorkin**

*Physical-Technological Research Institute of Nizhni Novgorod State University, Nizhni Novgorod, 603950, Russia*

The quantum well (QW) lasers have a possibility to generate radiation simultaneously in several frequency bands. It is expected, that in such lasers due to nonlinear properties of a semiconductor material, the difference frequency can be generated. However, the conditions of a phase synchronism necessary for generation of a difference frequency cannot be fulfilled, if the frequencies of the both bands match to a dominant wave-guide mode.

In the present work the results of a research of the InGaP/GaAs/InGaAs quantum well laser are represented. This lasers are able simultaneously generates radiation in two frequency bands. The modes correspond to the first band are main, and mode correspond to the second band are the first order modes. The laser heterostructure contains two types of the InGaAs/GaAs QW, which was located near maximum of a corresponding mode.

The spectral and angular dependencies of the laser were investigated. The possibility of simultaneous generation of two emission bands in the QW semiconductor laser is shown. The energies of quantum in the different bend can differ from 6 up to 50 meV. It was shown that position of a QW in the waveguide determinate what waveguide mode will be excited.

This work was supported by NATO (Project SfP-973799 Semiconductors) and NWO 047.006.

---

<sup>\*)</sup> Proc. NATO Project SfP-973799 Semiconductors 1st Workshop. Nizhni Novgorod, 2001

\* Tel.: +7-8312-656365; Fax: +7-8312-658709; E-mail: Baidus@phys.unn.ru