

## Волноводный эффект квантовых ям GaAsSb в лазерной структуре на основе GaAs

© В.Я. Алешкин, А.А. Афоненко\*, Н.В. Дикарёва<sup>†</sup>, А.А. Дубинов<sup>¶</sup>, К.Е. Кудрявцев, С.В. Морозов, С.М. Некоркин<sup>†</sup>

Институт физики микроструктур Российской академии наук,  
603950 Нижний Новгород, Россия

\* Белорусский государственный университет,  
220050 Минск, Белоруссия

<sup>†</sup> Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
603950 Нижний Новгород, Россия

(Получена 22 апреля 2013 г. Принята к печати 30 апреля 2013 г.)

Теоретически и экспериментально исследован волноводный эффект квантовых ям GaAsSb в полупроводниковой лазерной структуре на основе GaAs. Показана возможность использования квантовых ям только в качестве волноводных слоев в лазерной структуре. При достижении величины плотности мощности возбуждения  $2 \text{ кВт/см}^2$  при температуре жидкого азота наблюдалась суперлюминесценция на длине волны, соответствующей оптическому переходу в объемном GaAs (длина волны 835 нм).

В настоящее время ведется большое количество исследований, направленных на улучшение характеристик полупроводниковых лазеров: увеличение мощности, квантовой эффективности, качества выходящего излучения [1]. Одним из важных составляющих полупроводникового лазера, которое ответственно за многие его характеристики, является волновод. Обычно для создания волновода используются либо ограничительные слои с показателем преломления, меньшим показателя преломления сердцевины волновода (например, ограничительные слои InGaP или AlGaAs для лазеров на основе GaAs), либо используется волноводный слой с большим показателем преломления (InAlGaAsP), чем в подложке (InP). В этом случае сама подложка играет роль ограничительного слоя.

Общеизвестно, что в случае симметричного волновода (когда слой с большим показателем преломления заключен между неограниченными слоями с меньшим показателем преломления) возможно существование  $TE_0$  и  $TM_0$  мод при любой сколь угодно малой толщине волновода [2]. Следовательно, электромагнитная мода может быть локализована в окрестности волноводного слоя, толщина которого на порядок меньше длины волны этой моды. В случае полупроводниковых лазеров, генерирующих в области длин волн порядка 1 мкм, таким волноводным слоем может выступать слой даже толщиной порядка 10 нм. Отметим, что такая толщина характерна для квантовых ям, играющих роль активной среды в лазерах. Следовательно, принципиально возможно построение лазеров, в которых квантовые ямы будут играть двойную роль — служить активной и волноводной средой. В таких лазерах отсутствует необходимость в обычном волноводе, а следовательно, они обладают более простой конструкцией, что очень важно для технологии. В работах [3,4] была продемонстрирована возможность одновременного использования

квантовых ям в качестве волноводных и активных слоев в полупроводниковых лазерах.

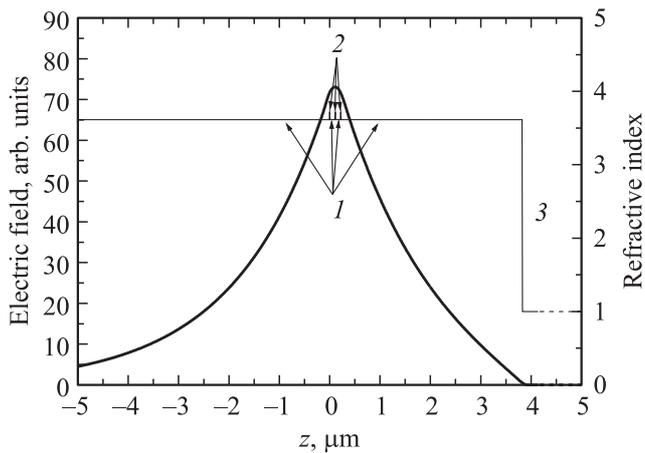
В данной работе показана возможность использования квантовых ям только в качестве волноводных слоев. Для этого была выращена структура методом МОС-гидридной эпитаксии при атмосферном давлении в горизонтальном реакторе на подложке GaAs в направлении [001] (ось  $z$  на рис. 1), содержащая 3 квантовые ямы GaAsSb толщиной 10 нм каждая, разделенные барьерами GaAs толщиной 100 нм (см. таблицу).

Расчет распределения электрического поля в  $TE$  моде методом матрицы распространения для выращенной структуры приведен на рис. 1. Из рисунка видно, что существует единственная  $TE$  мода, локализованная по поперечному сечению на масштабе 3 мкм около квантовых ям. Для исследования оптических свойств был сделан скол (110) грани структуры. Оптическое возбуждение осуществлялось пятном диаметром  $\sim 5$  мм вблизи скола при температуре жидкого азота. Для оптического возбуждения использовалось излучение непрерывного Nd:YAG-лазера с длиной волны 532 нм и параметрического генератора света МОРО-SL („Spectra-Physics“) с длительностью импульса 10 нс и длиной волны 730 нм. В качестве приемника излучения из структуры использовалась диодная линейка (диапазон работы 0.62–2.2 мкм). При

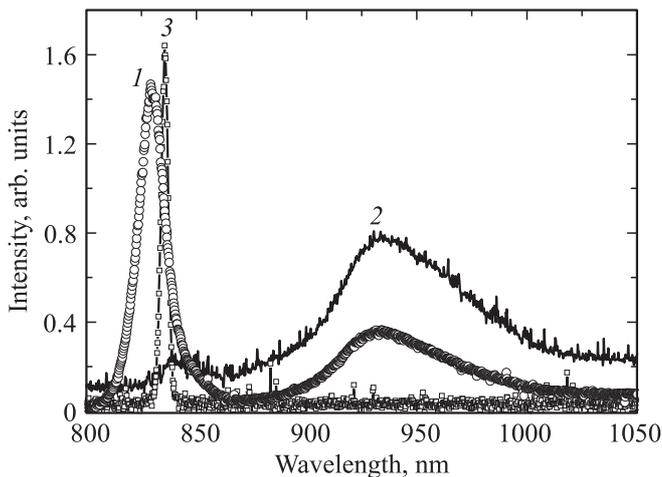
Параметры структуры GaAs/GaAsSb

Номер	Состав	Толщина, нм
1	GaAs (подложка и буфер)	—
2	GaAsSb	10
3	GaAs	100
4	GaAsSb	10
5	GaAs	100
6	GaAsSb	10
7	GaAs	3600

<sup>¶</sup> E-mail: sanya@ipm.sci-nnov.ru



**Рис. 1.** Зависимость электрического поля  $TE$  моды (жирная кривая) и показателя преломления структуры (тонкая кривая) на длине волны 835 нм от координаты роста структуры. Слои: 1 — GaAs, 2 — GaAsSb, 3 — воздух.



**Рис. 2.** Спектры излучения структуры на основе GaAs с 3 квантовыми ямами GaAsSb при  $T = 77$  К и при накачке излучением непрерывного Nd:YAG-лазера с длиной волны 532 нм (1) и параметрического генератора света с длиной волны 730 нм при мощности, меньшей пороговой (2) и большей пороговой (3).

превышении мощности возбуждения порогового значения наблюдалась суперлюминесценция (сужение ширины спектра излучения с 15 до 3 нм и резкое увеличение интенсивности излучения) на длине волны, соответствующей оптическому переходу в объемном GaAs (длина волны 835 нм). Спектр излучения из образца показан на рис. 2. Порог плотности мощности накачки при переходе в суперлюминесцентный режим составил  $2 \text{ кВт/см}^2$ . При значительно меньших плотностях мощности накачки в спектре превалирует люминесценция из квантовых ям GaAsSb в виде широкой линии около длины волны 935 нм. Однако при увеличении плотности мощности

накачки люминесценция на этой длине волны незаметна на фоне люминесценции из GaAs.

Объяснить наблюдаемое можно следующим образом. Выращенные квантовые ямы GaAsSb оказались низкого качества (на что указывает широкий спектр люминесценции из них) и, кроме того, неглубокими для электронов. Поэтому коэффициент усиления в этих квантовых ямах оказался значительно ниже, чем коэффициент усиления в объемном GaAs при интенсивном оптическом возбуждении. Однако, несмотря на низкое качество квантовых ям GaAsSb, показатель преломления в них значительно превосходит показатель преломления GaAs, и эти квантовые ямы играли роль волноводящих слоев для излучения с длиной волны 835 нм. Отметим, что в структуре без квантовых ям суперлюминесценция не наблюдалась, что подтверждает волноводный эффект квантовых ям GaAsSb в лазерной структуре на основе GaAs.

В заключение обсудим преимущества и недостатки лазеров с волноводом на квантовых ямах. Очевидно, что такие лазеры обладают преимуществами лазеров с широким волноводом: более узкой диаграммой направленности и пониженной нагрузкой на зеркала из-за широкой области локализации моды. Однако в отличие от лазеров с широкими волноводами они обладают отличной селективностью мод. В частности, в обсуждаемых конструкциях лазерного волновода [3,4] и в рассматриваемой структуре имеется всего одна мода, и поэтому нет проблемы возбуждения мод высокого порядка. Следует также отметить практическое отсутствие в таких волноводах рассеянного лазерного излучения (суперлюминесценция наблюдается только со скола). Очевидно также упрощение конструкции лазера. К недостаткам следует отнести увеличение поглощения света на свободных носителях — это плата за широкую область локализации моды. Кроме того, отсутствует ограничение носителей широкозонными слоями в волноводной области, поэтому не захваченные квантовыми ямами носители могут диффундировать в глубь полупроводника. К недостаткам также можно отнести возможность использования таких волноводов только в системах с достаточно большой разностью показателей преломления квантовых ям и окружающих их областей.

Следует отметить, что в этой работе продемонстрирована только принципиальная возможность создания лазеров с таким волноводом и необходимы дальнейшие экспериментальные исследования достоинств и недостатков таких лазеров.

Работа была выполнена при поддержке фонда „Династия“, грантов президента РФ по поддержке молодых российских ученых (МК-678.2012.2) и ведущих научных школ (НШ-4756.2012.2), программы „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009–2013 годы (госконтракт № 8578), программы фундаментальных исследований ОФН РАН № 7, РФФИ (13-02-97058–р\_поволжье, 13-02-97062–р\_поволжье), РФФИ-БРФИ (12-02-90024-Вел).

## Список литературы

- [1] F. Bachmann, P. Loosen, R. Poprawe. *High power diode laser. Technology and applications* (Berlin, Springer, 2007).
- [2] A. Yariv, P. Yeh. *Optical waves in crystals* (N.Y., John Wiley & Sons, Inc., 1984).
- [3] В.Я. Алёшкин, А.А. Дубинов, Б.Н. Звонков, К.Е. Кудрявцев, А.Н. Яблонский. *Труды XVI междунар. симп. Нанопластика и нанoeлектроника*. (Н. Новгород, Россия, 2012) т. 1, с. 241.
- [4] V.Ya. Aleshkin, A.A. Dubinov, K.E. Kudryavtsev, A.N. Yablonskiy, B.N. Zvonkov. arXiv:1211.4312

Редактор Т.А. Полянская

## Waveguide effect of GaAsSb quantum wells in GaAs-based laser structure

V.Ya. Aleshkin, A.A. Afonenko\*, N.V. Dikareva<sup>+</sup>,  
A.A. Dubinov, K.E. Kudryavtsev, S.V. Morozov,  
S.M. Nekorkin<sup>+</sup>

Institute for Physics of Microstructures  
of the Russian Academy of Science,  
603950 Nizhny Novgorod, Russia

\*Belarusian State University,  
220050 Minsk, Belarus

<sup>+</sup>Research Physical-Technical Institute  
of the Nizhny Novgorod State University,  
603950 Nizhny Novgorod Russia

**Abstract** The waveguide effect of GaAsSb quantum wells in a semiconductor GaAs-based laser structure was investigated theoretically and experimentally. The possibility of using quantum wells only as a waveguide layer in the laser structure is shown. Upon reaching the magnitude of excitation power density  $2 \text{ kW/cm}^2$  at liquid nitrogen temperature the superluminescence was observed at a wavelength corresponding to the optical transition in bulk GaAs (wavelength 835 nm).