

06;07

Исследование характеристик полупроводниковых лазеров на основе асимметричных гетероструктур со сверхтолстым волноводом ($\lambda = 1060 \text{ nm}$) при импульсном режиме накачки

© Д.А. Винокуров, В.А. Капитонов, А.В. Лютецкий, Д.Н. Николаев,
Н.А. Пихтин, А.В. Рожков, Н.А. Рудова, С.О. Слипченко,
А.Л. Станкевич, Н.В. Фетисова, М.А. Хомылев, В.В. Шамахов,
К.С. Борщев, И.С. Тарасов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Воронежский государственный университет
E-mail: tarasov@hpld.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 19 марта 2006 г.

В импульсном режиме накачки исследованы мощные полупроводниковые лазеры, полученные методом МОС-гидридной эпитаксии на основе асимметричных квантово-размерных лазерных гетероструктур раздельного ограничения с толстым волноводом. Для возбуждения лазерного излучения применялся генератор токовых импульсов с длительностью 100 ns, частотой повторения 10 kHz и силой тока до 200 А. Переход к импульсному режиму генерации позволил снизить перегрев активной области и увеличить излучаемую мощность до 145 W из лазерного диода с 100- μm апертурой. Исследование в импульсном режиме показало, что насыщение ватт-амперной характеристики в непрерывном режиме генерации полностью определяется перегревом активной области полупроводникового лазера.

PACS: 42.55.Px

Оптическая мощность излучения является одной из важнейших характеристик лазерного диода. В результате применения концепции мощных полупроводниковых лазеров были получены значения непрерывной мощности излучения 16 W и КПД 74% [1,2]. В основе данной концепции лежит достижение минимальных внутренних оптических по-

ть в лазерной гетероструктуре. Использование асимметричных гетероструктур со сверхтолстым волноводом позволило снизить внутренние оптические потери до 0.34 cm^{-1} [3,4]. Однако увеличение оптической мощности ограничивалось эффектом насыщения ватт-амперной характеристики (ВтАХ). Существует ряд процессов, обуславливающих такое поведение ВтАХ. К ним относятся процессы, вызванные разогревом активной области: утечка инжектированных носителей, рост пороговой концентрации и рост концентрации свободных носителей заряда в волноводных слоях за порогом генерации [5]. Все эти процессы ведут к падению внутреннего квантового выхода стимулированного излучения (η_i) и к росту внутренних оптических потерь (α_i). Как следствие, с ростом температуры снижается значение внешней дифференциальной эффективности, и величина выходной оптической мощности падает. Известно, что переход к импульсному режиму накачки позволяет снизить разогрев активной области и значительно увеличить выходную оптическую мощность.

Целью настоящей работы является исследование свойств лазерных диодов на основе асимметричных гетероструктур InGaAs/GaAs при накачке их импульсами с длительностью 100 ns, частотой следования 10 kHz и силой тока до 200 А.

Для исследования лазерных диодов в импульсном режиме были использованы структуры на подложках GaAs, выращенные методом МОС-гидридной эпитаксии, активная область которых образована InGaAs квантовой ямой толщиной $\sim 9 \text{ nm}$ [2]. Толщина волноводного слоя составляет $1.7 \mu\text{m}$, что позволяет обеспечить эффективную селекцию мод высшего порядка в нашей структуре [4]. Волноводными являются слои GaAs, которые заключены между более широкозонными слоями AlGaAs, выполняющими функцию эмиттеров. На верхний эмиттер *p*-типа электропроводности для лучшего контакта с металлизацией нанесен слой GaAs толщиной $0.2 \mu\text{m}$. Активная область смещена относительно центра волновода на $0.2 \mu\text{m}$ в сторону эмиттера *p*-типа, так как длина диффузии и подвижность дырок меньше, чем электронов. Используя постростовые операции, были изготовлены гетеролазеры мезаполосковой конструкции с шириной полоска $100 \mu\text{m}$ и длиной резонатора 2.5–3 mm. Полученные диоды монтировались полосковым контактом вниз на медные теплоотводы, покрытые индием. При непрерывном режиме накачки свойства и характеристики исследуемых лазерных диодов были хорошо изучены [1–4].

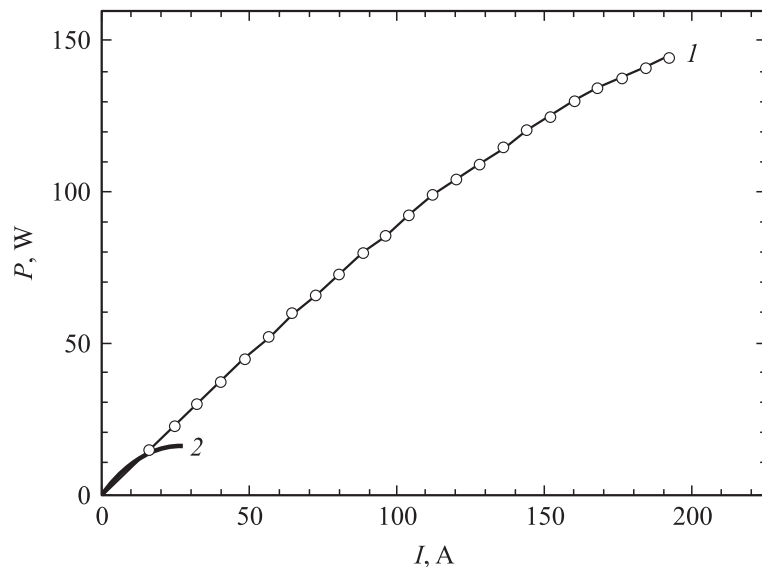


Рис. 1. Ватт-амперная характеристика лазерного диода при импульсном (1) и непрерывном (2) режимах накачки.

Исследование характеристик образцов проводилось с использованием генератора для накачки лазера импульсами длительностью 100 ns с частотой следования 10 kHz и током до 200 А. Все измерения проводились при комнатной температуре. Стабилизация температуры теплоотвода лазерного диода производилась при помощи термоэлектрического холодильника. Оптическая мощность измерялась болометром фирмы Ophir. В результате использования импульсного режима накачки была достигнута максимальная пиковая оптическая выходная мощность полупроводникового лазера, равная 145 W (рис. 1).

Зависимости спектров излучения лазерных диодов от уровня возбуждения в импульсном режиме были получены на спектроанализаторе AQ-6315E фирмы ANDO. Анализ спектров показал рост интенсивности на длине волны генерации при увеличении тока накачки. Ширина спектра при высоких уровнях накачки достигает 20 nm, причем с увеличением тока расширение происходит не только в длинноволновую, но и в коротковолновую область спектра (рис. 2, 3).

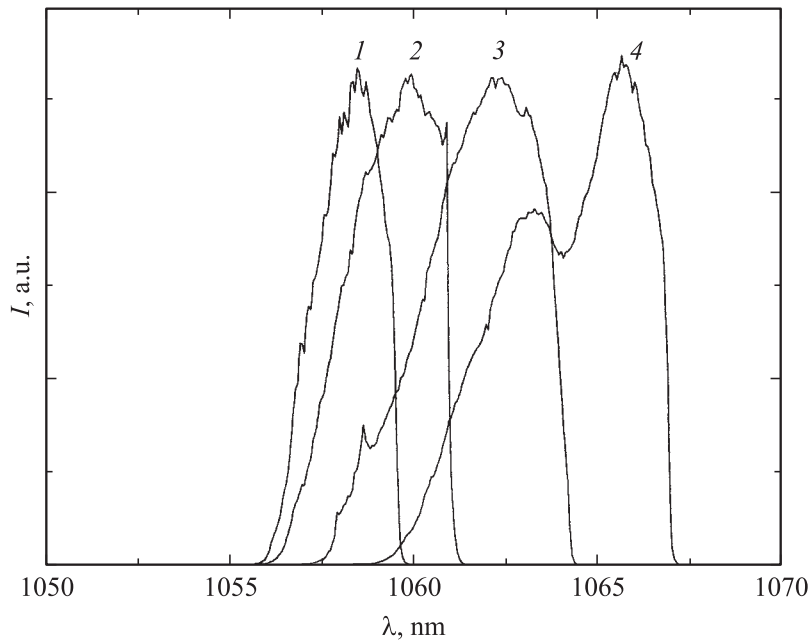


Рис. 2. Спектр лазерного диода при непрерывном режиме накачки: 1 — 2 А, 2 — 4 А, 3 — 6 А, 4 — 8 А, 5 — 10 А.

Проводилась оценка температуры перегрева активной области. Методика такой оценки хорошо известна. Во всех лазерах с увеличением тока накачки наблюдается смещение длинноволнового края спектра. С использованием значения коэффициента температурной зависимости ширины запрещенной зоны $\sim 0.4 \text{ nm}/^\circ$ были определены значения температуры разогрева активной области. В непрерывном режиме при токе накачки от 2 до 10 А смещение длинноволновой границы спектра составляло $\sim 8 \text{ nm}$ (рис. 2), что соответствует перегреву активной области на $\sim 20^\circ\text{C}$. Следует заметить, что насыщение ВТАХ при непрерывном режиме накачки происходит при 8–10 А. В импульсном режиме ВТАХ отклоняется от линейной зависимости при токе накачки около 100 А, когда смещение длинноволнового края спектра порядка $\sim 4\text{--}5 \text{ nm}$ (рис. 3), т.е. перегрев активной области около $10\text{--}12^\circ\text{C}$.

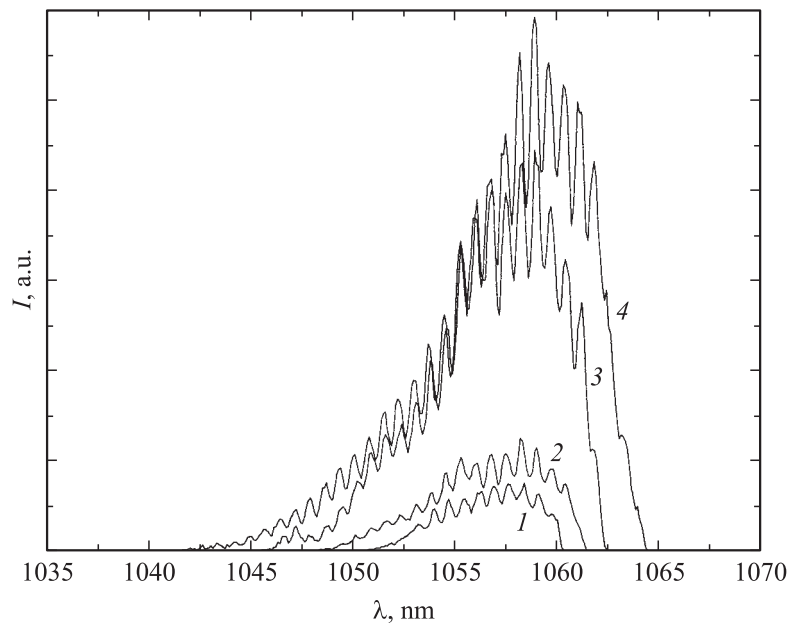


Рис. 3. Спектр лазерного диода при импульсном режиме накачки: 1 — 20 А, 2 — 40 А, 3 — 60 А, 4 — 100 А.

Таким образом, в непрерывном режиме накачки температурный разогрев активной области является главной причиной насыщения ВтАХ.

При использовании импульсного режима возбуждения были проведены исследования зависимости распределения интенсивности излучения от тока накачки в ближней и дальней зоне лазерного диода.

Проведенные измерения картины ближнего поля (рис. 4) показывают, что генерация происходит почти равномерно по всей области излучения во всем диапазоне токов накачки. Отсутствие каналов генерации (так называемых „шпот“) позволяет говорить о высоком качестве исследуемых гетероструктур. С увеличением тока накачки в импульсном режиме распределение излучения в ближнем поле становится более равномерным. Если при относительно малых токах накачки различие в распределении интенсивности по ширине полоска

4* Письма в ЖТФ, 2006, том 32, вып. 16

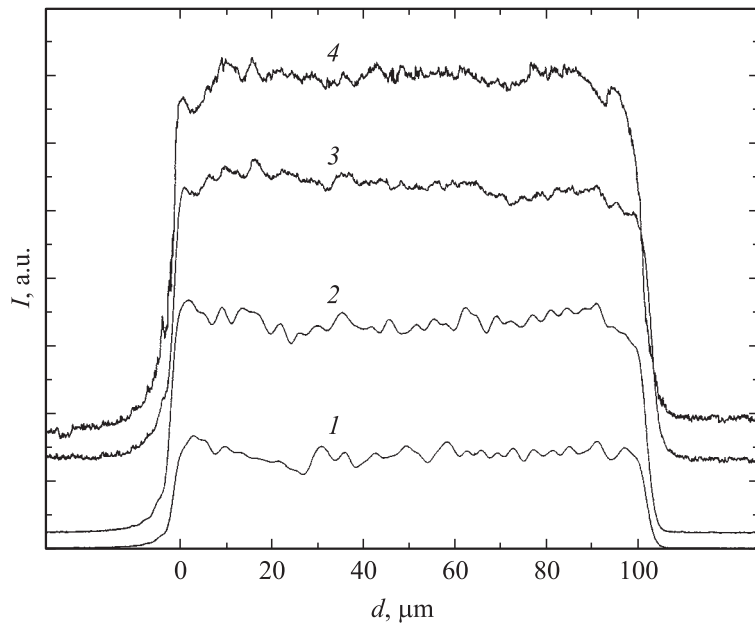


Рис. 4. Распределение излучения в ближнем поле лазерного диода в импульсном режиме при различных токах накачки. Токи накачки: 1 — 4 А, 2 — 40 А, 3 — 100 А, 4 — 160 А.

составляет около 20%, то при высоких токах (160 А) это различие менее 10%.

Распределение интенсивности излучения в дальней зоне в плоскости, параллельной p – n -переходу, при импульсном режиме возбуждения показано на рис. 5. Видно, что ширина поля на уровне половины интенсивности растет с увеличением тока накачки. Это свидетельствует о возникновении мод генерации высшего порядка с увеличением тока накачки.

Картина излучения в дальней зоне в плоскости, перпендикулярной p – n -переходу, при различных токах накачки лазерного диода представлена на рис. 6. Значения ширины поля на половине интенсивности (Θ_{\perp}) составили около 32° во всем диапазоне токов накачки. С ростом тока накачки величина Θ_{\perp} и форма зависимости распределения интенсивности

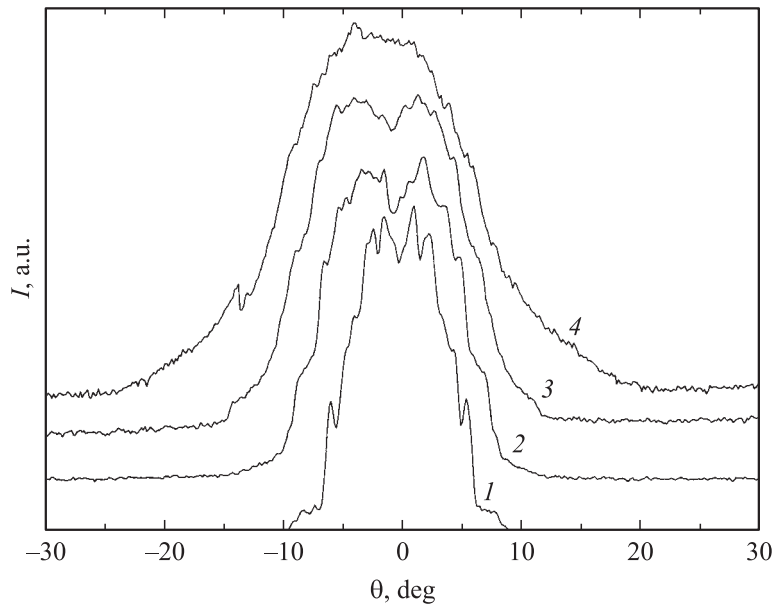


Рис. 5. Распределение интенсивности излучения в дальней зоне в плоскости, параллельной p - n -переходу, при различных токах накачки лазерного диода с длиной резонатора $L = 3000 \mu\text{m}$. Значение ширины поля на половине интенсивности (Θ_{\parallel}), град: 1 — 9.6, 2 — 12.6, 3 — 16.1, 4 — 17.7. Токи накачки: 1 — 4 А, 2 — 40 А, 3 — 100 А, 4 — 160 А.

излучения от угла, описываемая с высокой точностью функцией Гаусса, практически не меняются. Такое стабильное поведение диаграммы направленности говорит о сохранении одномодового характера излучения в плоскости, перпендикулярной p - n -переходу. Это дает возможность введения лазерного излучения в оптическое волокно с минимальными потерями.

В результате накачки импульсами длительностью 100 ns с частотой следования 10 kHz и силой тока до 200 А лазерных диодов на основе асимметричных гетероструктур InGaAs/GaAs была получена пиковая мощность излучения 145 W. Сделан вывод о том, что насыщение ватт-амперной характеристики в непрерывном режиме зависит от темпе-

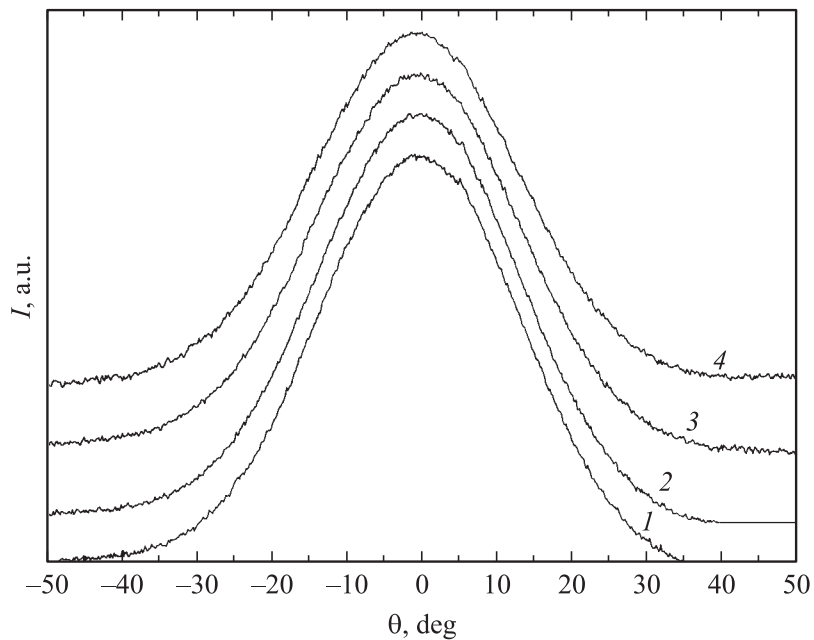


Рис. 6. Распределение интенсивности излучения в дальней зоне в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу, при различных токах накачки лазерного диода с длиной резонатора $L = 3000 \mu\text{m}$. Токи накачки: 1 — 4 А, 2 — 40 А, 3 — 100 А, 4 — 160 А.

ратурного разогрева активной области. Излучение в ближней зоне лазерного диода с ростом тока накачки становится более равномерным. Интенсивность распределения по всей ширине полоска не превышает 10% при плотности тока 50 kA/cm^2 . В дальней зоне в плоскости, параллельной $p-n$ -переходу, с увеличением тока накачки наблюдается появление мод высшего порядка. При больших плотностях тока возбуждения (50 kA/cm^2) сохраняется одномодовый характер генерации в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН „Когерентное оптическое излучение полупроводниковых соединений и структур“.

В заключение авторы выражают благодарность за подготовку образцов к исследованиям Л.С. Вавилову, Т.А. Дрокину, А.Ю. Лешко и В.В. Васильеву.

Список литературы

- [1] *Pikhtin N.A., S.O. Slipchenko S.O., Sokolova Z.N.* et al. // *Electron. Lett.* 2004. V. 40. P. 1413.
- [2] *Винокуров Д.А., Зорина С.А., Капитонов В.А.* и др. // *ФТП.* 2005. Т. 39. С. 388.
- [3] *Пихтин Н.А., Слипченко С.О., Соколова З.Н., Тарасов И.С.* // *ФТП.* 2004. Т. 38. С. 374.
- [4] *Слипченко С.О., Винокуров Д.А., Пихтин Н.А.* и др. // *ФТП.* 2004. Т. 38. С. 1477.
- [5] *Asryan L.V., Gun'ko N.A., Polkovnikov A.S.* et al. // *Semicond. Sci. Technol.* 2000. V. 15. P. 1131.