

Лазерный GaAs-диод с волноводными квантовыми ямами InGaAs

© Н.В. Дикарева¹, Б.Н. Звонков¹, И.В. Самарцев¹, С.М. Некоркин¹, Н.В. Байдусь¹, А.А. Дубинов^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603950 Нижний Новгород, Россия

² Институт физики микроструктур Российской академии наук, 603950 Нижний Новгород, Россия

E-mail: dnat@ro.ru

Поступила в Редакцию 8 августа 2019 г.

В окончательной редакции 12 августа 2019 г.

Принята к публикации 12 августа 2019 г.

Представлены результаты исследования GaAs-лазера с волноводными квантовыми ямами InGaAs, работающего при комнатной температуре в режиме электрической накачки. Минимальный порог генерации составил 15 А. Получена устойчивая лазерная генерация на длине волны 1010 нм, при этом ширина диаграммы направленности излучения в плоскости, перпендикулярной слоям структуры, составила $(10 \pm 2)^\circ$.

Ключевые слова: GaAs, лазерный диод, волновод, квантовая яма, диаграмма направленности.

DOI: 10.21883/FTP.2019.12.48633.9238

1. Введение

Улучшение характеристик полупроводниковых лазеров является актуальной задачей, решение которой позволит существенно расширить спектр их возможных применений. Одним из ключевых элементов гетеролазеров, ответственным за большинство выходных характеристик (например, расходимость лазерного излучения, мощность, и т. д.), является волновод. Обычно в наиболее распространенных торцевых полупроводниковых лазерах волновод формируется за счет изменения величины показателя преломления на границе широкозонных слоев (например, InGaP, AlGaAs), обладающих меньшим показателем преломления по сравнению с узкозонными полупроводниками (GaAs, InGaAs), выполняющими функцию центрального слоя гетеролазера. В таких конструкциях расходимость излучения в плоскости гетероструктуры определяется локализацией генерируемого светового потока в оптических каналах, возникающих в процессе накачки и, как правило, не превышает 10° . В плоскости, перпендикулярной слоям гетероструктуры, расходимость вызвана дифракцией излучения на открытом конце диэлектрического волновода и в подавляющем большинстве случаев составляет $20\text{--}40^\circ$.

Одним из возможных способов решения проблемы расходимости излучения полупроводниковых лазеров является применение конструкций GaAs-лазеров без ограничивающих широкозонных слоев (InGaP, AlGaAs). Благодаря наличию широкой апертуры расходимость излучения таких лазеров в плоскости, перпендикулярной слоям структуры, может быть существенно уменьшена ввиду отсутствия эффекта дифракции. Кроме того, упрощенная конструкция таких излучателей позволяет реализовать их на подложках Ge/Si [1]. Однако, несмотря на открывающиеся перспективы, создание таких лазеров сопровождается некоторыми сложностями, основной из которых является высокий пороговый ток [2,3] из-за малого фактора оптического ограничения и достаточно

больших потерь в волноводе. В связи с этим серьезные требования накладываются на условия роста и ростовые параметры таких гетероструктур.

В настоящей работе приводятся экспериментальные исследования лазеров на структурах GaAs/InGaAs с волноводными квантовыми ямами, генерирующих в режиме электрической накачки при комнатной температуре.

2. Методика эксперимента

Исследуемая лазерная структура была выращена на подложке n-GaAs методом МОС-гидридной эпитаксии (газофазной эпитаксии металлоорганических соединений) в горизонтальном кварцевом реакторе при атмосферном давлении и содержала следующие эпитаксиальные слои: буферный n-GaAs (400 нм) с уровнем легирования 10^{18} см^{-3} , n-GaAs (3100 нм) с уровнем легирования 10^{17} см^{-3} , i-GaAs (90 нм), 6 квантовых ям InGaAs (11 нм), разделенных слоями i-GaAs (90 нм), i-GaAs (50 нм), p-GaAs (3150 нм) с уровнем легирования 10^{17} см^{-3} , p-GaAs (400 нм) с уровнем легирования 10^{18} см^{-3} и контактный слой p⁺-GaAs (100 нм) с уровнем легирования 10^{19} см^{-3} . Перед началом роста лазерной структуры проводился 15 минутный отжиг GaAs подложки в потоке водорода при 700°C , буферный слой GaAs выращивался при температуре 750°C .

На основе выращенной гетероструктуры были изготовлены лазерные диоды с шириной активной области 100 мкм, сформированной путем химического травления контактного слоя вне активной полоски с последующей протонной имплантацией вскрытой поверхности GaAs. Металлические омические контакты наносились на подложку GaAs и на контактный слой p⁺-GaAs методом термического испарения в вакууме. Зеркалами служили сколотые грани структуры. Были изготовлены три типа лазеров с длиной резонатора 1, 2, 3 мм. Зеркалами служили сколотые грани структур. Спектральные и пространственные зависимости излучения лазерных диодов

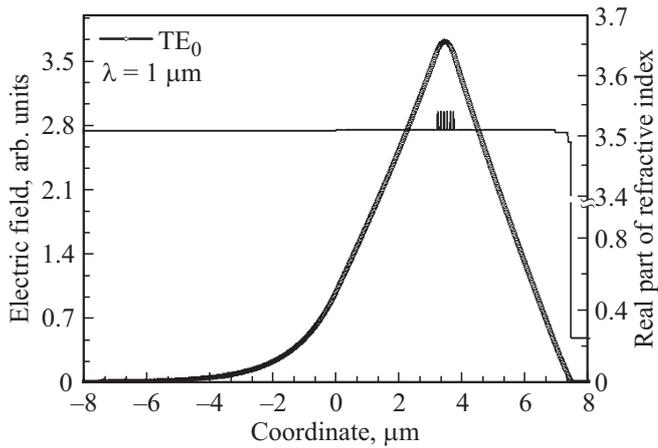


Рис. 1. Распределение электрического поля в основной моде (расчет).

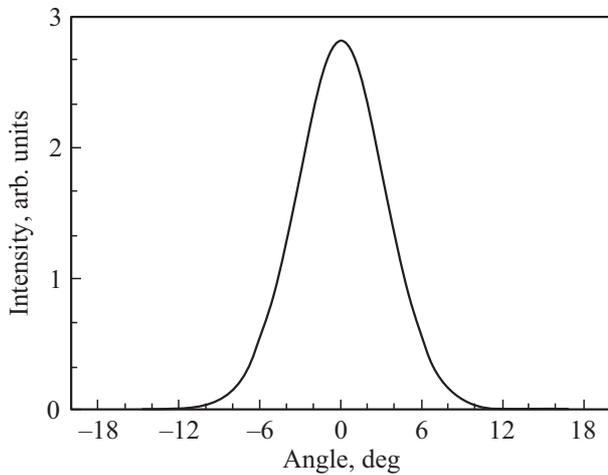


Рис. 2. Диаграмма направленности излучения структуры в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу (расчет).

измерялись с помощью решеточного монохроматора МДР-23 при комнатной температуре в импульсном режиме накачки (360 нс, 1.3 кГц).

Расчет распределения электрического поля в ТЕ-моду, проведенный методом матриц распространения для исследуемой структуры, показал, что существует единственная ТЕ-мода (TE_0), локализованная вблизи квантовых ям (рис. 1). Кроме того, расчет показал, что ширина диаграммы направленности в плоскости, перпендикулярной слоям структуры (рис. 2), может быть уменьшена до $8-10^\circ$.

3. Экспериментальные результаты

Результаты исследований спектральных характеристик излучения приведены на рис. 3. Пороговый ток лазерных диодов составил 15 А для образцов с длиной резонатора 2 мм, 24 и 30 А для образцов с длиной резонатора 1 и 3 мм, при этом длина волны лазерной

генерации образцов составляла $\lambda = (1017 \pm 2)$ нм, а ширина линии излучения на полувысоте максимума составила (2 ± 0.1) нм. Максимальная мощность излучения составила (17 ± 2) Вт.

В режиме генерации диаграммы направленности образцов в плоскости, перпендикулярной слоям струк-

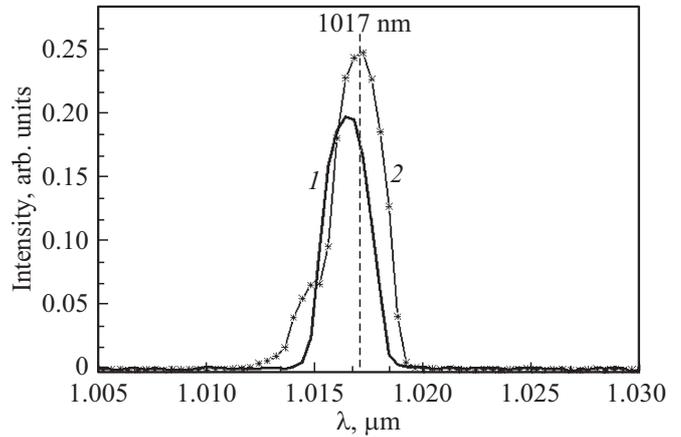


Рис. 3. Спектры излучения образцов с длиной резонатора 2 мм при токах накачки 12 (1), 15 А (2).

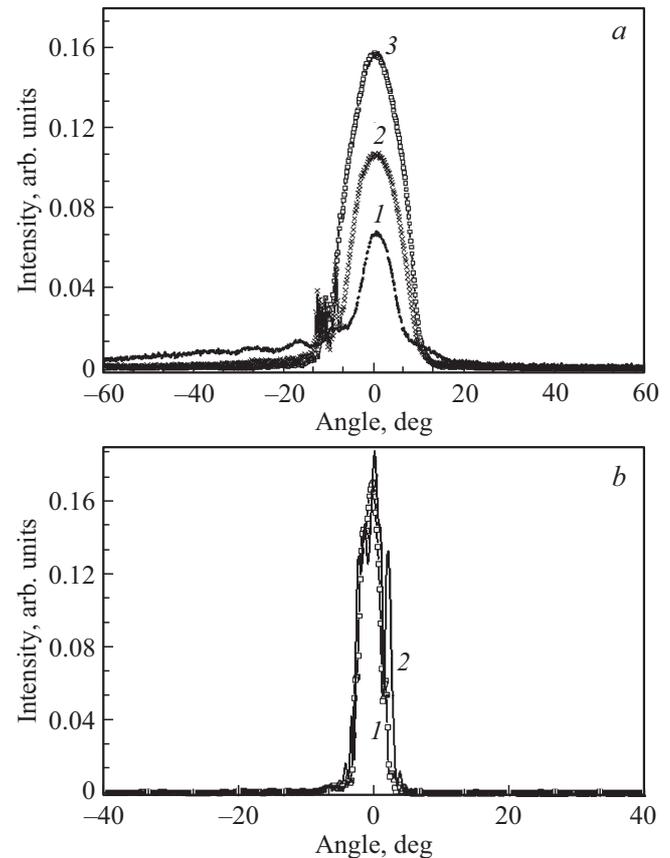


Рис. 4. Диаграммы направленности излучения образцов с длиной резонатора 2 мм: *a* — в плоскости, перпендикулярной $p-n$ -переходу, при токах накачки 10 (1), 12 (2), 20 А (3); *b* — в плоскости, параллельной $p-n$ -переходу, при токах накачки 15 (1), 20 А (2).

туры, имели однолепестковый вид (рис. 4, а), однако в допороговом режиме на образцах с резонатором 1 и 3 мм наблюдался выход излучения через подложку с угловыми положениями пиков 0, 8, 20, 30 и 40°, соответствующих основной и возбужденным модам. В то же время для образцов с длиной резонатора 2 мм характерно наличие одиночного пика в картине дальнего поля излучения во всем диапазоне токовой накачки (рис. 4, а). Ширина диаграмм направленности излучения в плоскости, перпендикулярной слоям структуры, на полувысоте максимума составляла $(10 \pm 2)^\circ$ в режиме лазерной генерации; для сравнения: ранее для гетероструктуры подобной конструкции [4] ширина диаграммы направленности составляла 15° .

Картина дальнего поля излучения исследуемых лазерных диодов с разной длиной резонатора в плоскости, параллельной $p-n$ -переходу, также имела однолепестковый вид (рис. 4, б). В режиме генерации ширина на полувысоте максимума составляла $(4 \pm 1)^\circ$ как для лазеров с длиной резонатора 1 мм, так и для лазеров с резонатором 2, 3 мм, однако сужение диаграмм направленности наблюдалось уже при токе 15 А для образцов с длиной резонатора 2 мм, а для образцов с длиной резонатора 1 и 3 мм при токах 24 и 30 А соответственно. Таким образом, в лазерах длиной 2 мм наблюдается наименьшая пороговая плотность тока накачки.

В допороговом режиме наблюдается спонтанное излучение во всех модах, а при переходе к генерации стимулированного излучения лазер излучает только на наиболее добротной основной моде, что положительно сказывается на диаграмме направленности излучения [5].

4. Заключение

Проведены экспериментальные исследования GaAs-гетеролазеров с волноводными квантовыми ямами InGaAs, генерирующих при комнатной температуре в режиме электрической накачки. По сравнению с ранее представленными гетеролазерами такого типа [2,3,5] отличительной особенностью данных лазерных диодов являются существенно сниженный пороговый ток, а также уменьшенная расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной слоям структуры, (ширина на полувысоте максимума составила $(10 \pm 2)^\circ$) даже в отсутствие специальных отражающих и просветляющих диэлектрических покрытий лазерных зеркал.

Финансирование работы

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики СП-1302.2019.3, Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части госзадания, а также гранта Фонда развития теоретической физики и математики „БАЗИС“.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] В.Я. Алешкин, Н.В. Дикарева, А.А. Дубинов, Б.Н. Звонков, К.Е. Кудрявцев, С.М. Некоркин, А.В. Новиков, П.А. Юнин, Д.В. Юрасов. Письма ЖТФ, **41** (13), 72 (2015).
- [2] В.Я. Алешкин, Н.В. Дикарева, А.А. Дубинов, Б.Н. Звонков, М.В. Карзанова, К.Е. Кудрявцев, С.М. Некоркин, А.Н. Яблонский. Квант. электрон., **43** (5), 401 (2013).
- [3] Н.В. Дикарева, В.Я. Алешкин, А.А. Дубинов, Б.Н. Звонков, М.В. Карзанова, К.Е. Кудрявцев, С.М. Некоркин, А.Н. Яблонский. Полупроводниковые лазеры и системы на их основе. Сб. ст. 9-го Белорусско-Российского семинара (2013) с. 33.
- [4] С.О. Слипченко, А.А. Подоскин, Н.А. Пихтин, А.Ю. Лешко, А.В. Рожков, И.С. Тарасов. Письма ЖТФ, **39** (8), 9 (2013).
- [5] С.М. Некоркин, Б.Н. Звонков, М.В. Карзанова, Н.В. Дикарева, В.Я. Алешкин, А.А. Дубинов. Квант. электрон., **42** (10), 931 (2012).

Редактор Л.В. Шаронова

GaAs-based laser diode with InGaAs waveguide quantum wells

N.V. Dikareva¹, B.N. Zvonkov¹, I.V. Samartsev¹, S.M. Nekorkin¹, N.V. Baidus¹, A.A. Dubinov^{1,2}.

¹ National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

² Institute for Physics of Microstructures, Russian Academy of Sciences, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

Abstract The paper presents the results of research of an electrically pumped InGaAs/GaAs laser with waveguide quantum wells, operating at room temperature. The minimum threshold current was 15 A. The stable lasing at the wavelength of 1010 nm was obtained, and the width of the radiation pattern in a plane perpendicular to the layers of the structure was $(10 \pm 2)^\circ$.