

Деградикация мощных инжекционных лазеров на основе квантоворазмерной структуры AlGaAs/InGaAsP/InGaAs с асимметричным волноводом

О. И. Коваль¹, Е. Д. Кудрявцева¹, А. Г. Ржанов^{2,*}, Г. А. Соловьёв^{1†}

¹Национальный исследовательский университет МЭИ, кафедра физики имени В. А. Фабриканта
Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра физики колебаний
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Экспериментально изучены мощные полупроводниковые лазеры на основе гетероструктуры AlGaAs/InGaAsP/InGaAs с квантовой ямой и асимметричным расширенным волноводом. Предложена физическая модель, объясняющая изменение их излучательных характеристик с течением времени наработки.

PACS: 42.55.Px; 42.65.Jx; 42.65.Wi. УДК:535.8/681.7, 621.373.

Ключевые слова: инжекционный лазер, деградикация, квантовая яма, численное моделирование.

Полупроводниковые твёрдые растворы InGaAs в качестве активной среды широко используются в инжекционных лазерах на основе квантово-размерных структур с напряжённым активным слоем.

В мощных лазерах используются гетероструктуры раздельного ограничения с малыми внутренними потерями. Малое затухание обусловлено, прежде всего, тем, что распространение волн в пассивных областях не сопровождается потерями на поглощение и рассеяние на свободных носителях, как в активной области. Снижение модового усиления компенсируется увеличением длины резонатора Фабри-Перо.

Естественным ограничением увеличения толщины волновода в симметричной лазерной гетероструктуре раздельного ограничения является условие возникновения мод высших порядков [1]. Есть несколько подходов подавления мод высших порядков в широком волноводе. Однако все они, хотя и позволяют провести селекцию мод высшего порядка и сузить диаграмму направленности, приводят к увеличению оптических потерь, что снижает оптическую мощность излучения.

Для подавления лазерных мод высших порядков в [2] была предложена асимметричная гетероструктура, в которой активная область смещена из центра волновода. В асимметричной гетероструктуре с широким волноводом (2 мкм и более) удается подавлять генерацию мод высших порядков за счет снижения их факторов оптического ограничения. Одновременно с этим можно снизить внутренние оптические потери и расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной эпитаксиальным слоям [3]. Структура таких лазеров, исследованных в данной работе, приведена на рис. 1.

Недостатком мощных лазерных диодов является малый срок службы и нестабильность их характеристик, причём прогнозировать и выявлять лазеры с малым сроком по их мощности затруднительно.

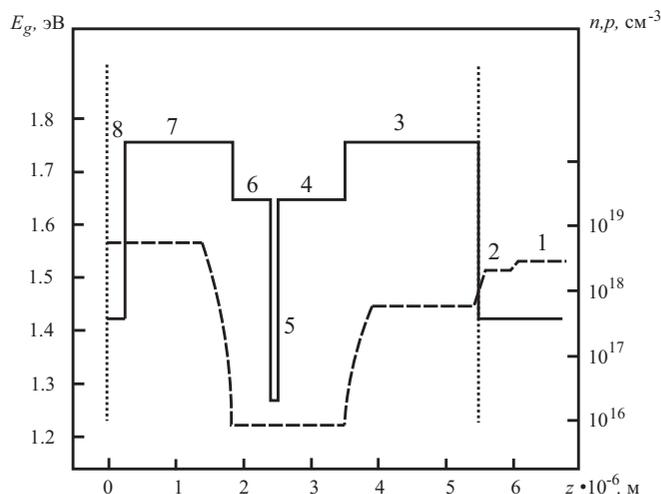


Рис. 1: Энергетическая структура (сплошная линия) и профиль легирования (пунктир) слоёв инжекционного лазера с квантовой ямой (слой 5: InGaAs) и асимметричным волноводом (слои 4,6: InGaAsP). Слои 3,7 — эмиттеры (AlGaAs), остальные буферные слои

Целью данной работы было выяснение основного механизма деградации лазерных диодов на основе гетероструктуры AlGaAs/InGaAsP/InGaAs с расширенным асимметричным волноводом и определение возможности прогнозировать срок эксплуатации по начальным характеристикам. На основе проведённых измерений спектральных, поляризационных характеристик, вольт-амперных, ватт-амперных, а также диаграммы направленности было предложено объяснение воздействия постепенной деградации слоёв на характеристики излучения лазеров данного типа.

Были проведены измерения спектров, степени поляризации и ширины диаграммы направленности излучения для лазеров до и после наработки 30 часов рабочего времени. На рис. 2 показаны спектры излучения, измеренные в различных лепестках диаграммы направленности лазера после наработки. Результатом дегра-

*E-mail: rjanov@mail.ru

†E-mail: solovyevgra@mpei.ru

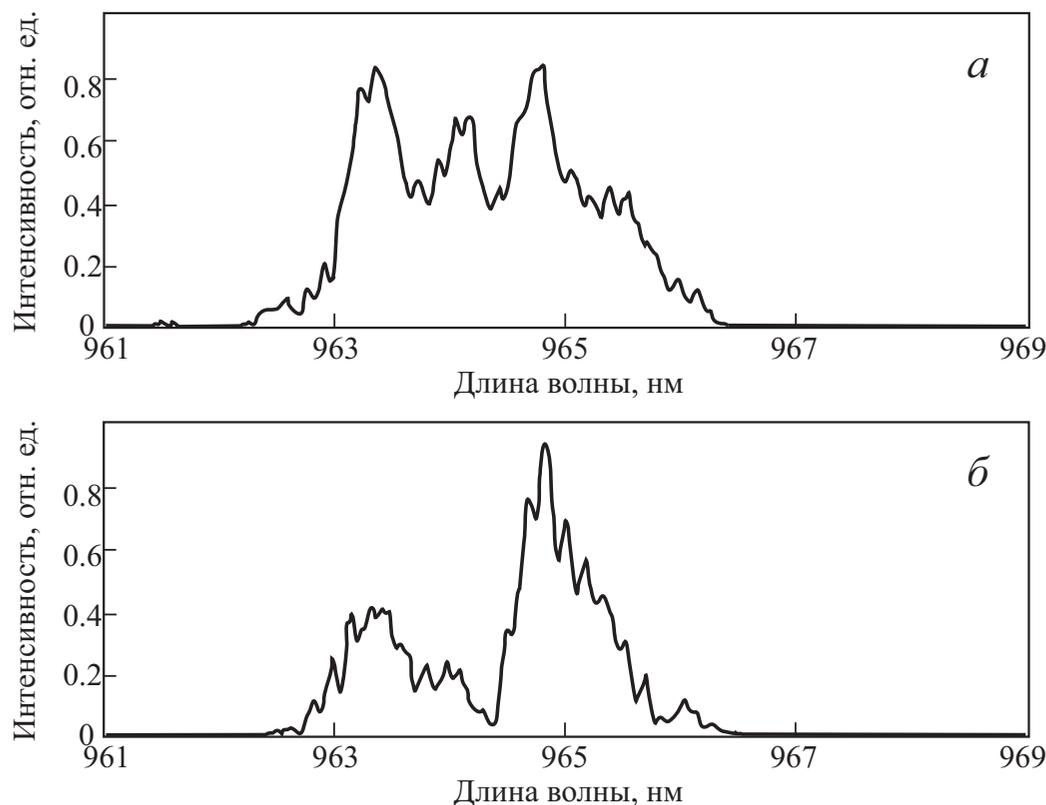


Рис. 2: Спектры излучения, измеренные в двух соседних лепестках диаграммы направленности лазера

дационных процессов в исследуемых лазерах является изменение структуры оптического поля в волноводной области этих устройств, проявляющееся в увеличении числа каналов генерации. Каналы имеют разные спектры, наложение которых в различных пропорциях мы наблюдаем на рис. 2.

Появление нескольких пиков излучения и увеличение их числа со временем работы лазеров мы объясняем эффектами, связанными с формированием латеральных мод. В полосковых лазерах с широким контактом (в данных лазерах около 100 мкм) и большой длиной резонатора (1–2 мм) нарушается когерентность между излучением в пределах ширины активной области, в частности, на её противоположных краях. Это вызвано тем, что длина когерентности в полупроводниковых лазерах составляет около 5 см, что всего в 10–20 раз больше оптической длины резонатора. После нескольких «пробегов» волны по длине резонатора, происходит потеря фазировки излучения. На ширине 100 мкм образуется несколько не связанных по фазе каналов генерации, которые поддерживаются либо наведённой «тепловой линзой», либо за счёт эффекта нелинейной рефракции при пространственном «выжигании» носителей (spatial hole burning). Эксперименты показывают, что при ширине активной области 100 мкм возникает 3 канала генерации, что согласуется с величиной длины амбиполярной диффузии неравновесных носителей в активном слое — около 10–15 мкм [4].

Диффузионная длина неравновесных носителей заряда определяет поперечный размер канала генерации. Эффект расщепления излучения на каналы носит фундаментальный характер, так как порождён конечным временем и длиной когерентности излучения. В процессе наработки лазера, с ростом числа дефектов, диффузионная длина носителей заряда уменьшается, а число каналов генерации увеличивается.

В ходе эксплуатации таких лазерных диодов наблюдается визуально появление нескольких каналов генерации в латеральном направлении, что хорошо видно на визуализаторе (антистоксовом люминофоре). В начале эксплуатации лазерное пятно однородно. Измерения диаграммы направленности также подтверждают образование нескольких каналов генерации в латеральном направлении. Такие изменения сопровождаются ухудшением спектральных характеристик (увеличением числа пиков в спектре излучения) и заметным снижением степени поляризации — от 0,95 до 0,6.

Для количественных оценок ширины каналов генерации и профилей ближнего и дальнего поля излучения исследуемых лазеров предложена самосогласованная распределённая модель, описывающая процессы выжигания, самофокусировки излучения и диффузии носителей на фоне медленного изменения со временем параметров лазерной структуры. Модель состоит из волнового уравнения и двух кинетических уравнений, связанных между собой диэлектрической прони-

цаемостью, имеющей сильную зависимость от величины инверсии в лазере.

В заключение можно утверждать, что более однородной и менее дефектной структуре мощного лазера с квантовыми ямами соответствует частотный спектр с минимальным количеством пиков, отвечающих за

различные пространственные каналы генерации. И чем больше изначальная неоднородность и дефектность структуры, тем быстрее наступает деградация. Первоначальный спектр излучения лазера несёт информацию о сроке службы прибора.

[1] *Mroziowicz B., Bugajski M., Nakwaski W.* Physics of Semiconductor Lasers. (North-Holland Science Publishers B.V. & Polish Scientific Publishers, PWN, Amsterdam/Warsaw, 1991).

[2] *Жуков Л.В. и др.* ФТП. **46**, Вып. 8. С. 1049 (2012).

[3] *Кабанов В.В. и др.* ФТП. **46**, Вып. 10. С. 1339. (2012).

[4] *Коваль О.И. и др.* Материалы международного научно-методического семинара «Флуктуационные и дградационные процессы в полупроводниковых приборах». (М.: МН-ТОРЭС им. А. С. Попова. МЭИ. 2013). С. 61.

Degradation of powerful injection lasers based AlGaAs/InGaAsP/InGaAs quantum well heterostructure asymmetric waveguide

O. I. Koval¹, E. D. Kudrjatzeva¹, A. G. Rzhanov^{2,a}, G. A. Solovyev^{1,b}

¹*Department of Physics, National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
Moscow 112250, GSP-1, Russia*

²*Department of Physics of oscillations, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
Moscow 119991, Russia*

E-mail: ^arjanov@mail.ru, ^bsolovyevgra@mpei.ru

Experimentally studied powerful semiconductor lasers based on AlGaAs/InGaAsP/InGaAs quantum well heterostructure and asymmetric extended waveguide. The proposed physical model explaining the change of lasers radiative characteristics over time.

PACS:42.55.Px; 42.65.Jx; 42.65.Wi.

Keywords: injection laser, degradation, quantum well, numerical modeling.

Сведения об авторах

1. Коваль Ольга Ивановна — .канд. физ.-мат. наук, доцент; тел. 8(495) 362-77-55, e-mail: olgaivanovna_koval@yandex.ru.
2. Кудрявцева Екатерина Дмитриевна — студент; тел. 8(495) 362-77-55.
3. Ржанов Алексей Георгиевич — .канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель; тел. 8(495) 939-46-97, e-mail: rjanov@mail.ru.
4. Соловьёв Григорий Алексеевич — аспирант, тел. 8(495) 362-77-55, e-mail: solovyevgra@mpei.ru.