

Деградация и спектрально–пространственные характеристики излучения мощных инжекционных лазеров

В. В. Близнюк¹, М. А. Брит¹, И. С. Гадаев¹, О. И. Коваль^{1,*}, А. Г. Ржанов^{2,†}, Г. А. Соловьёв^{1,‡}, А. А. Стародумов²

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ». Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова, кафедра физики имени В. А. Фабриканта
Россия, 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 17

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет
Россия, 199911, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

В работе экспериментально и теоретически исследуется связь между медленной деградацией мощных полупроводниковых инжекционных лазеров с квантовой ямой (InGaAs/InGaAsP) и их спектрами, диаграммой направленности и поляризацией излучения. Для теоретического описания явлений в работе используется модель независимых каналов генерации излучения.

PACS: PACS: 42.55.Px

УДК: 621.373

Ключевые слова: мощный инжекционный лазер, деградация, спектры излучения, поляризация излучения, моделирование.

В настоящее время интенсивно идут исследования в области создания мощных инжекционных лазерных диодов (ЛД) [1–3]. Мощными считаются ЛД в диапазоне 0.5 Вт и выше. Рекордные значения мощности излучения ЛД лежат в пределах 20–23 Вт с одного кристалла. Однако, рекордные мощности были получены в течение кратковременных измерений. Использование полоскового контакта шириной порядка 100–200 мкм, необходимое для получения большой мощности излучения ЛД, приводит к появлению независимых каналов генерации и зачастую нескольких латеральных мод в каждом канале [4]. Это обусловлено, прежде всего, эффектами пространственного выжигания носителей и нелинейной рефракцией в активном слое ЛД. Неоднородности оптической плотности и усиления активной среды лазера, вызванные пространственным «выжиганием» неравновесных носителей, приводят к появлению самофокусирующихся нитей излучения. Появление нефазированных каналов излучения в ЛД с широким контактом является следствием двух факторов: латеральной неоднородности структуры и малой длины когерентности вынужденного излучения в полупроводниковых лазерах (1–5 см). Количество каналов генерации напрямую зависит от длины диффузии неравновесных носителей в активном слое ЛД. Деградация ЛД, вызванная увеличением в напряжённой полупроводниковой структуре числа дефектов вдоль дислокаций, приводит к изменению длины диффузии, а с ней профиля и числа каналов генерации [4]. Частотный спектр излучения ЛД наполняется большим числом линий, накладываемых друг на друга. Если ЛД в начале эксплуатации имеет «сложный», широкий частотный спектр, то можно наверняка сказать, что срок службы его не будет большим, по сравнению с таким

же ЛД, имеющим отчётливо выделяющиеся спектральные линии.

Мы приводим в своей работе экспериментальные данные, методику расчёта ближнего поля и обсуждения, касающиеся влияния деградации на спектры и распределение ближнего поля мощных ЛД.

Схематическое изображение мощного ЛД с квантовой ямой показано на рис. 1.

Деградация лазера приводит к увеличению числа каналов генерации и неоднородности излучения вдоль латеральной плоскости YZ (плоскости перехода). Это хорошо видно на рис. 2, на котором изображена диаграмма направленности (ДН) ЛД, зарегистрированная на плоском экране с люминофором. Время наработки ЛД: верхняя полоса — 30 часов, нижняя — 100 часов.

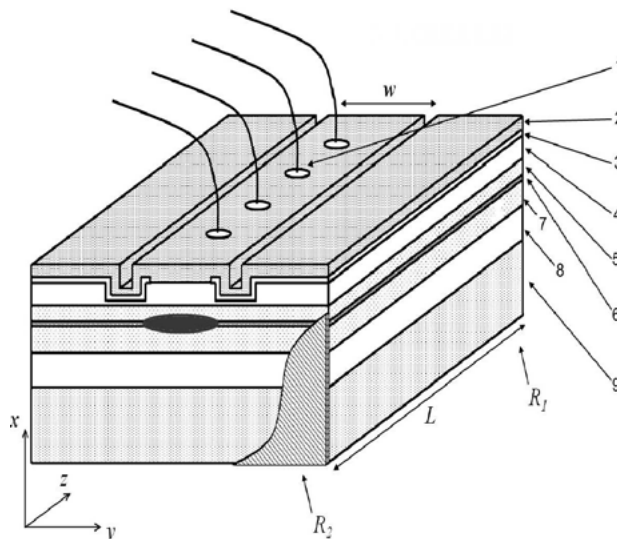


Рис. 1: Мощный инжекционный лазер: 1 — контакты, 2 — контактный слой, 3 — изолирующий слой, 4 — P-эмиттер, 5, 7 — волновод, 6 — квантовая яма, 8 — N-эмиттер, 9 — подложка, R1, R2 — зеркала.

*E-mail: olgaivanovnakoval@yandex.ru

†E-mail: rjanov@mail.ru

‡E-mail: solovyevgra@pei.ru

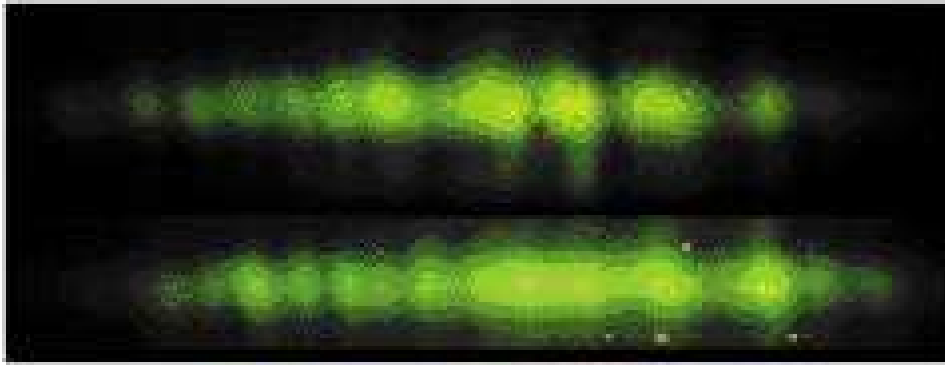


Рис. 2: Дальнее поле ЛД. Вверху — 30 ч. наработки, внизу — 100 ч. наработки.

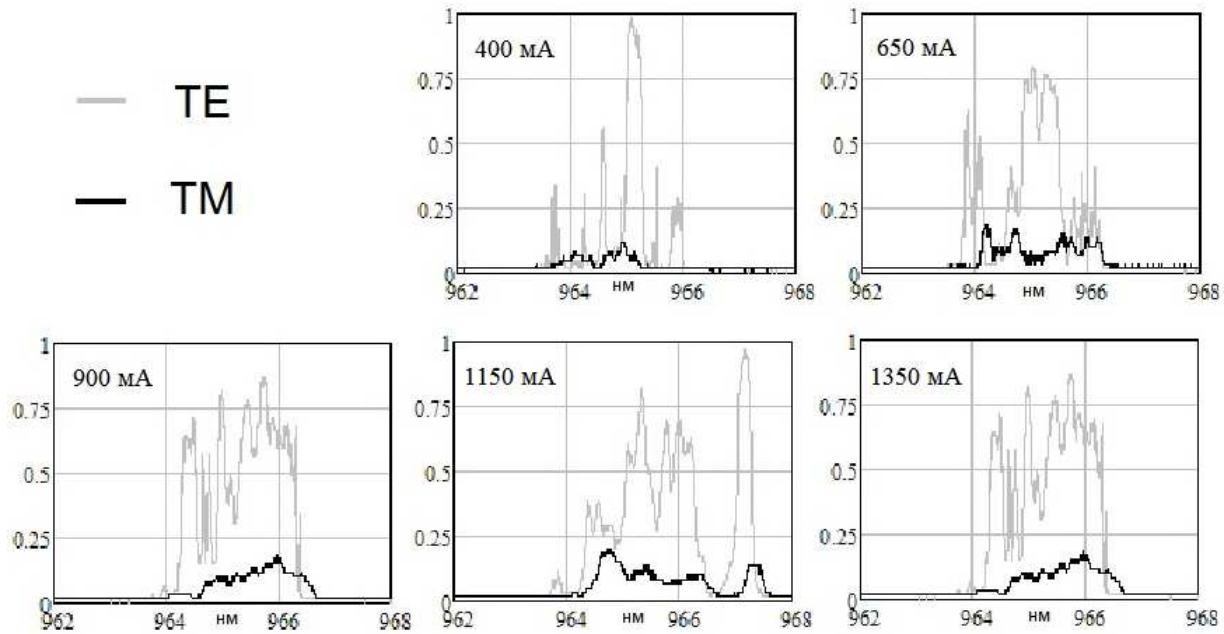


Рис. 3: Нормированные спектры излучения в центральном пятне при разных токах накачки.

Были проведены измерения спектров излучения в отдельных пятнах ДН ЛД при разных токах накачки для двух поляризаций излучения: в центральном и боковых пятнах. Анализ спектров (рис. 3) показал, что в излучении ЛД присутствуют: 1) доминирующий по яркости канал генерации на нулевой поперечной моде (965.1 нм) с автомодуляцией на частоте около 110 ГГц (центральная группа эквидистантных линий), 2) менее яркий канал (963.8 нм) с автомодуляцией 10 ГГц (левая группа линий) и 3) неяркий канал, близкий к порогу генерации (965.9 нм). Далее в спектрах (650 мА и 900 мА) наблюдается сначала режим биений, а затем хаос. На последних двух графиках рис. 3 (токи 1150 мА и 1350 мА) мы видим возвращение генерации к режиму биений и появление четвертого и пятого каналов непрерывной генерации на нулевой моде 967.1 нм и 963.8 нм.

Спектральные зависимости излучения с ортогональ-

ной поляризацией представлены на рис. 3 в виде жирных линий. Они примерно повторяют трансформацию спектров ТЕ мод, но являются менее яркими.

Явление автомодуляции в большинстве случаев связывают с тем, что дефекты в волноводном слое и квантовой яме ЛД ведут себя как насыщающиеся поглотители, содействующие периодическому (или нерегулярному при хаотическом режиме) изменению добротности лазерного резонатора под воздействием излучения. Разность частот автомодуляционных пиков определяется временем релаксации поглотителей, имеющих величину порядка 10^{-11} – 10^{-10} с [5].

Анализ первой латеральной моды, дающей вклад в первый боковой лепесток ДН, показывает, что эта мода также появляется в каналах генерации и участвует в динамике излучения ИЛ. Для этой моды характерны те же закономерности, что и для нулевой моды, но со смещением спектра в длинноволновую область.

Экспериментально были получены интегральные зависимости степени поляризации излучения в пятнах ДН (рис. 4). Наблюдался спад степени поляризации с ростом тока накачки. Тот же эффект был зафиксирован в процессе длительной наработки лазера. Можно утверждать, что ухудшение степени поляризации излучения есть явление, сопровождающее процесс деградации ЛД. Длительные изменения в ЛД, находящие своё отражение в спектрах и степени поляризации излучения при одном токе накачки, оказываются аналогичны тем, что были зафиксированы в течение короткого времени, но при разных токах.

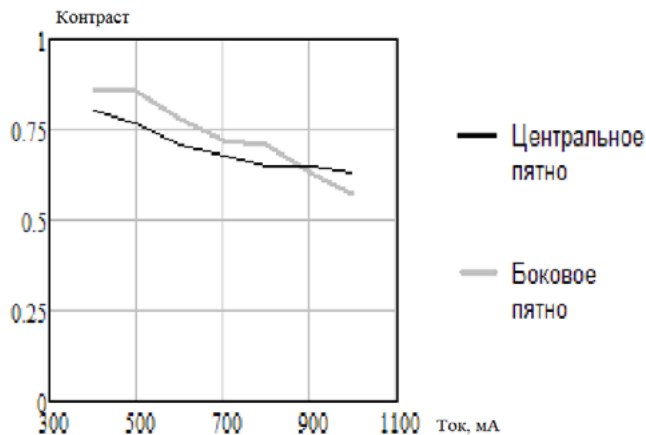


Рис. 4: Степень поляризации излучения в пятнах диаграммы направленности.

Ухудшение поляризации может быть связано с увеличением вклада лёгких дырок в разрешённый лазерный переход. В квантоворазмерном активном слое лёг-

кие дырки на краю подзоны дают вклад в ТМ моду, сравнимый с ТЕ модой, в отличие от тяжёлых дырок, дающих основной вклад только в ТЕ моду. В напряжённой структуре подзона лёгких дырок отщеплена от подзоны тяжёлых дырок, и не принимает участия в формировании вынужденного излучения. При этом снимается вырождение по дыркам в центре зоны Бриллюэна. Зона лёгких дырок опускается, а ширина запрещённой зоны увеличивается. В квантовой яме $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}$ параметр решётки при эпитаксиальном росте на арсениде галлия уменьшается, что делает невозможным участие лёгких дырок в излучательных переходах (переходы $1e-1lh$ маловероятны). Но при увеличении тока накачки вклад лёгких дырок становится более существенным, и степень поляризации падает.

В работе представлена математическая модель, описывающая формирование каналов генерации в мощных ЛД. Моделирование таких лазеров сводится к решению самосогласованной задачи, включающей в себя одновременное решение двух кинетических уравнений для концентрации неравновесных носителей и фотонов в активной области лазера вместе с волновым уравнением для нескольких поперечных мод и каналов в лазерном резонаторе. Отличительной чертой данной модели является то, что в ней априорно учитывается наличие нескольких некогерентных каналов генерации, излучающих на различных и не связанных между собой по фазе частотах.

Таким образом, в данной работе мы продемонстрировали связь между медленной деградацией мощных полупроводниковых инжекционных лазеров (ИЛ) с квантовой ямой и их спектрами, ДН и поляризацией излучения.

- [1] Тарасов И. С. Квантовая электроника. **40**, № 8. С. 661. (2010).
 [2] Безотосный В. В. и др. ФТП. **42**, № 3. С. 357. (2008).
 [3] Лютецкий А. В. и др. ФТП. **43**, № 12. С. 1646. (2009).
 [4] Koval O.I., Rzhanov A.G., Solovyev G.A. Physics of

Wave Phenomena. **21**. N. 4. P. 287. (2013).

- [5] Ларькин А. С., Белокопытов Г. В. Письма в ЖТФ. **31**. № 22. С. 62. (2005).

Degradation and spectral-spatial characteristics of the radiation of high-power injection lasers

V. V. Bliznyuk¹, M. A. Britt¹, I. S. Gadaev¹, O. I. Koval^{1,a}, A. G. Rzhanov^{2,b}, G. A. Solovyev¹,
 A. A. Starodumov²

¹Department of Physics, Institute of Radio Engineering and Electronics, National Research University «MPEI» Moscow 111250, Russia. Krasnokazarmennaya st., 17

²Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Leninskie Gory, 1, b. 2, Moscow 119991, Russia
 E-mail: ^aolgaivanovnaKoval@yandex.ru, ^brjanov@mail.ru, ^csolovyevgra@mpei.ru

In this work it has been experimentally and theoretically investigated the relationship between the slow degradation of high-power semiconductor injection lasers with quantum well (InGaAs/InGaAsP) and their spectra, radiation pattern and polarization of the radiation. For the theoretical description of the phenomena we use an independent channels model for generating radiation.

PACS: 42.55.Px

Keywords: powerful injection laser, degradation, emission spectra, polarization of radiation, modeling.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Близнюк Владимир Васильевич — канд. техн. наук, доцент; тел. (495) 362-77-55, e-mail: 4059541@mail.ru.
2. Брит Мария Анатольевна — студентка 2 курса магистратуры; тел. (495) 362-77-55, e-mail: lanabrit@rambler.ru.
3. Гадаев Илья Сергеевич — студент 4 курса; тел. (495) 362-77-55, e-mail: ilya.gadaev@yandex.ru
4. Коваль Ольга Ивановна — канд. физ.-мат. наук, доцент, тел. (495) 362-77-55, e-mail: olgaivanovna_koval@yandex.ru.
5. Ржанов Алексей Георгиевич — канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель; тел. (495) 939-46-97, e-mail: rjanov@mail.ru.
6. Соловьёв Григорий Алексеевич — аспирант; тел. (495) 362-77-55, e-mail: asolovyevgra@mpei.ru.
7. Стародумов Андрей Александрович — студент 5 курса, тел. (495) 362-77-55, e-mail: starodumov.andrey@physics.msu.ru.