

ДЕГРАДАЦИЯ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ
С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИО.И. Коваль¹, А.Г. Ржанов², Г.А. Соловьёв¹
¹НИУ МЭИ²Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова,
Физический факультет
solovyevgra@gmail.com, rjanov@mail.ru

Основной задачей при создании мощных инжекционных полупроводниковых лазеров является увеличение выходной мощности излучения без существенного ухудшения остальных параметров. Лазеры на основе асимметричной гетероструктуры InGaAs/GaAs/AlGaAs с расширенным волноводом достигают мощности 16 Вт [1, 2] в непрерывном режиме генерации.

В лазерах указанного типа носители заряда поставляются в активную область путём инжекции из эмиттеров в волноводную область и далее в квантовую яму (КЯ). Вследствие конечности скорости захвата происходит накопление инжектированных носителей в волноводной области и их перераспределение между подзонами КЯ. При этом имеет место спонтанная рекомбинация. Поскольку зависимость скорости такой рекомбинации от концентрации носителей суперлинейная, то с ростом тока уменьшается внутренняя квантовая эффективность вынужденного излучения в КЯ и ватт-амперная характеристика (ВтАХ) становится сублинейной [2, 3].

Мы предполагаем, что деградация лазера и наличие сублинейности на ВтАХ устройства опосредованно связаны между собой. Причины медленной деградации лежат в процессах движения дефектов, дислокаций и взаимной диффузии атомов в пределах волноводного слоя и активных квантово-размерных слоёв. Представляет интерес сглаживание границ слоёв, которое происходит при регулярном или длительном разогреве волноводной области за счёт джоулевой энергии. В мощных инжекционных лазерах положение спектра излучения определяется расположением и шириной подзон в КЯ, которые могут трансформироваться под влиянием длительного разогрева.

Параметры материалов активной и волноводных областей исследуемых лазеров сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Параметры слоев

№	Слой	Состав	E_g , эВ	Толщина
1	Волновод	$\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}_{0.47}\text{P}_{0.53}$	1.65	1.05 μm
2	Квантовая яма	$\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}$	1.268	120 Å
3	Волновод	$\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}_{0.47}\text{P}_{0.53}$	1.65	0.65 μm

В экспериментах проводились измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) и ВтАХ, а также спектров излучения лазеров при различных

токах накачки. Были обнаружены существенные изменения указанных характеристик после 30-часовой работы лазеров в течение недели. При этом наблюдалось наполнение спектра излучения новыми составляющими (см. рис. 1) – он становился менее изрезанным, происходило увеличение последовательного сопротивления диода и его дифференциального сопротивления. Наблюдалось уменьшение наклона ВтАХ, т.е. дифференциальной эффективности лазера.

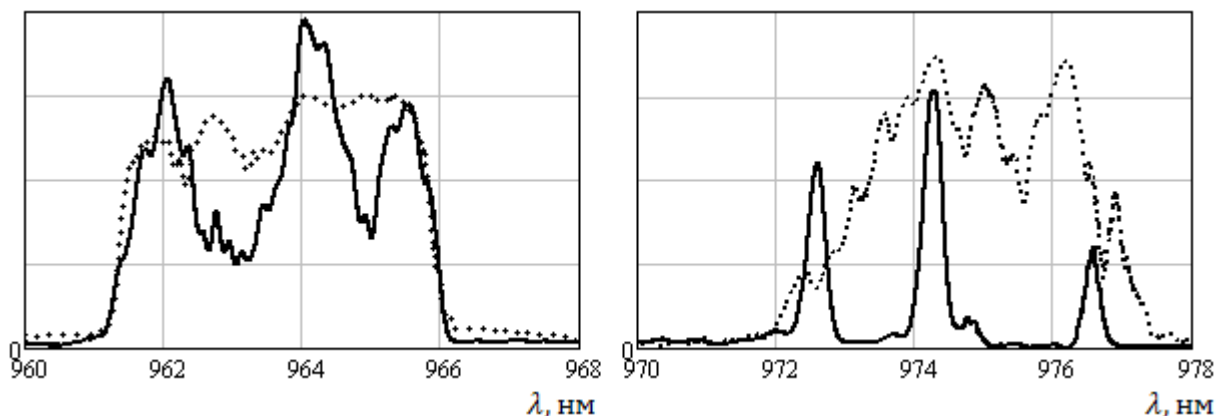


Рис. 1. Спектры лазеров до (сплошная линия) и после (пунктир) наработки.

При этом было обнаружено, что от числа пиков и наполненности спектра излучения в начале работы лазера зависит его срок службы: чем больше пиков, тем более быстрыми темпами идет деградация. Так, в левой части рис. 1 изображены спектры лазера, прослужившего до полной деградации меньшее время, чем на правом.

Для исследуемых лазеров был проведен расчет уровней энергии в КЯ. Расчет проводился с учетом напряжений, возникающих в квантоворазмерном активном слое [4].

Наблюдаемые в спектрах линии излучения соответствуют переходам между подзонами $1ee-1hh$ в КЯ. Этот вывод подтверждается тем, что различие в энергии ближайших переходов $1ee-1hh$ и $1ee-1lh$ по расчёту оказывается значительно больше, чем ширина наблюдаемого спектра. Лазеры имеют одну поперечную (трансверсальную) моду. Для указанной длины резонатора расстояние между продольными модами составляет менее 0.1 нм, что гораздо меньше расстояния между пиками в спектре излучения. Это свидетельствует о том, что мы наблюдаем спектры латеральных мод. Поэтому 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 1-4 см, что всего в 10-20 раз больше длины резонатора. В результате после 5-10 «пробегов» волны по

длине резонатора происходит потеря фазировки излучения. За это время канал генерации успевает сместиться (расшириться) на несколько микрон, после чего фазовые условия генерации срываются. На ширине 100 мкм образуется несколько не связанных по фазе каналов генерации, которые могут поддерживаться эффектом самофокусировки за счёт наведённой «тепловой линзы», либо за счёт эффекта нелинейной рефракции при пространственном «выжигании» носителей. Эксперименты показывают, что при ширине активной области 100 мкм возникает 3 канала, что согласуется с величиной длины амбиполярной диффузии носителей в активном слое – 5-10 мкм [5]. Длина диффузии неравновесных носителей 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, длина диффузии носителей уменьшается. Это приводит к увеличению числа каналов генерации и наполнению спектра излучения лазера, что и наблюдалось в экспериментах.

Таким образом, можно заключить, что более однородной и менее дефектной структуре мощного лазера с КЯ соответствует частотный спектр с минимальным количеством узких пиков, отвечающих за различные пространственные каналы генерации. И чем больше изначальная неоднородность и дефектность структуры, тем быстрее наступает деградация. Поэтому по первоначальному спектру излучения лазера можно судить о сроке его службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанов В.В., Лебедок Е.В., Рябцев Г.И., Смаль А.С., Щемелев М.А., Винокуров Д.А., Слипченко С.О., Соколова З.Н., Тарасов И.С. // ФТП. 2012. Т. 46. С. 1339.
2. Слипченко С.О., Соколова З.Н., Пихтин Н.А., Борщев К.С., Винокуров Д.А., Тарасов И.С. // ФТП. 2006. Т. 40. С. 1017.
3. Соколова З.Н., Тарасов И.С., Асрян Л.В. // ФТП. 2011. Т. 45. С. 1533.
4. Krijn M.P.C.M. // *Semicond. Sci. Technol.* 1991. V. 6. P. 27.
5. Tashima M.M., Cook L.W., Stillman G.E. // *Journal of Electronic Materials.* 1982. V. 11. No. 4. P. 831.