

ИНЖЕКЦИОННЫЙ ФАБРИ-ПЕРО ЛАЗЕР С ВНУТРЕННИМИ СИЛЬНОСВЯЗАННЫМИ НИЗКОДОБОТНЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ

Н. П. Бежан, В. И. Брынзарь, Д. В. Гицу, В. И. Иванов, М. Б. Иванов, В. В. Попшой

Одной из наиболее интересных разновидностей полупроводниковых лазеров является лазер типа C^3 (со склото-связанными резонаторами) [1, 2], что обусловлено прежде всего возможностью достижения сильной спектральной селективности и управления длиной волны излучения. Улучшенные спектральные характеристики таких лазеров обусловлены так называемым «нониусным эффектом», заключающимся в наложении двух почти периодических функций спектральной зависимости добротности продольных мод обоих резонаторов. Связь между секциями C^3 -лазера определяется величиной зазора и может быть варьирована от умеренно слабой до умеренно сильной.

Нами была поставлена задача исследования лазера с конфигурацией, подобной C^3 -системе, имеющей следующие особенности: 1) одинаковую плотность тока в секциях; 2) сильную связь между секциями; 3) низкодобротные резонаторы секций при высокодобротном резонаторе лазера как целого. Такая конфигурация может реализоваться непреднамеренно в лазерных диодах (ЛД) при наличии технологической неоднородности, возмущающей

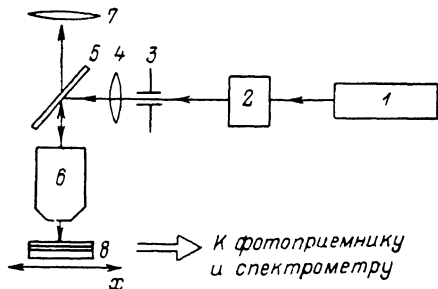


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — аргоновый лазер ($\lambda=0.488$ мкм, мощность 1 Вт), 2 — модулятор, 3 — щель, 4 — согласующая линза, 5 — полупрозрачное зеркало, 6 — микробъектив, 7 — окуляр (окуляр 7 и микробъектив 6 образуют микроскоп для визуального наблюдения лазерного пятна на поверхности ЛД), 8 — AlGaAs лазерный диод.

локально показатель преломления активной области, или преднамеренно — путем искусственного создания такой неоднородности, например вытравливанием канавки до активной области поперечно оси лазера. В пользу существенной роли, которую играют технологические неоднородности, говорят экспериментальные исследования, показавшие, что мощности и спектры излучения с противоположных торцов ЛД обычно отличны друг от друга [3]. В нашем эксперименте неоднородность (зазор) формировалась путем локального нагрева активной области излучением аргонового лазера, что позволило управлять параметрами такой неоднородности и прежде всего ее местоположением (рис. 1).

Излучение аргонового лазера проецировалось в виде полоски размером $\sim 4 \times 10$ мкм на поверхность полоскового AlGaAs лазера с шириной активной области 6 мкм. Модулятором формировались импульсы воздействующего излучения длительностью 3 мкс и с паузой между ними 500 мкс. Такое кратковременное воздействие приводит практически к локальному разогреву поверхности и поверхностных слоев ЛД, а за время между импульсами света диод полностью восстанавливает свое состояние. Импульсы накачки ЛД подавались синхронно с тепловыми импульсами с задержкой относительно переднего фронта последних на 1—3 мкс. Таким образом, характеристики системы изучались при квазистационарном распределении температурного поля. С помощью уравнения распространения тепла в одномерном приближении и граничного условия для такого рода задач [4] оценивался разогрев ΔT активной области, который составляет ~ 50 °С. К такому же результату приводит оценка величины ΔT , определенная экспериментально по длинноволновому сдвигу максимума спонтанного излучения ЛД, работающего при токах значительно ниже порогового (при этом разогревалась область, непосредственно примыкающая к торцу, обращенному к монохроматору).

Локальный разогрев разделяет лазер на две части «перегородкой» с более высоким показателем преломления ($\partial n/\partial T \sim 5 \cdot 10^{-4}$ К $^{-1}$ [5]) с разницей Δn между нагретой и ненагретой областями $\sim 2.5 \cdot 10^{-2}$. Таким образом, такой диод по существу представляет собой четырехзеркальную систему, образованную из двух низкодобротных резонаторов с сильноотражающими внешними (коэффициент отражения $R \sim 0.32$) и слабоотражающими внутренними зеркалами ($r \sim 10^{-5}$). При этом тепловой зазор не разрывает волновод системы, что обе-

спечивает сильную связь (≈ 1) между парциальными резонаторами. В дальнейшем будем называть такой диод лазером с внутренними сильносвязанными низкодобротными резонаторами (ЛВСНР).

При сканировании теплового зазора вдоль длины ЛВСНР существенно изменялись его мощностные и спектральные характеристики (рис. 2). Как видно, при перемещении теплового зазора имеет место перестройка длины волны излучения λ_r , что связано с взаимодействием мод

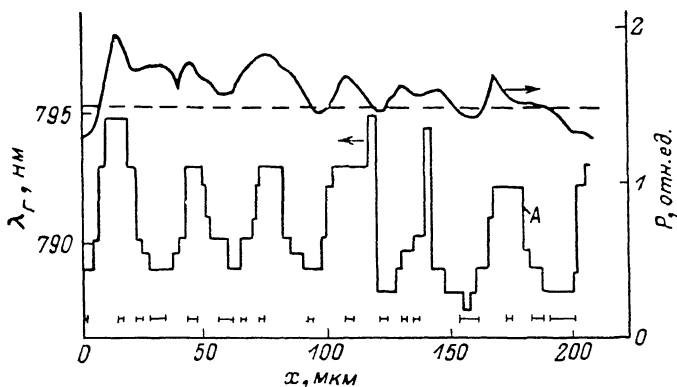


Рис. 2. Зависимости длины волны генерации в доминирующей моде и мощности излучения ЛВСНР от координаты теплового зазора.

Сегментами указаны области одномодовой генерации, штриховой линией — уровень мощности в отсутствие теплового зазора. Ток накачки лазера 132 мА, пороговый ток 90 мА, длина 207 мкм.

парциальных резонаторов и лазерного диода как целого. Характерным является квазипериодическое изменение λ_r с периодом ~ 32 мкм. Близкие к этому периоды вариации λ_r также наблюдались и на других образцах. Суммарный диапазон изменения длины волны излучения составляет порядка 7.5 нм и уменьшается с падением ΔT . При этом существует ряд положений теплового зазора, при которых ЛВСНР переходит в одномодовый режим генерации (рис. 3, б). Максимально достигнутое отношение интенсивностей центральной и боковых мод составило ~ 10 . Отметим, что исходный образец в отсутствие теплового воздействия имел многомодовый спектр излучения (рис. 3, а).

Размах изменения мощности при перемещении теплового зазора достигает величины $\sim 45\%$ (при этом на некоторых образцах наблюдается двухкратное отличие уровней мощности с переднего и заднего зеркал). Кроме того, можно отметить две особенности: 1) существует

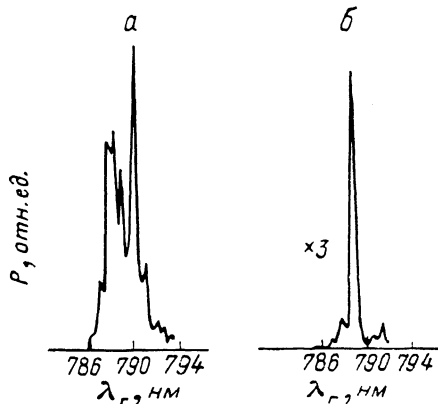


Рис. 3. Спектры излучения лазера.

а — в отсутствие теплового зазора, б — при наличии его с координатой $X=185$ мкм (точка А на рис. 2).

некоторая корреляция между координатными зависимостями мощности и λ_r ; 2) несмотря на то что в целом осуществляется подогрев образца, мощность излучения ЛВСНР может быть выше (на 20—30 %) уровня излучения в отсутствие теплового зазора. Последнее не может быть связано с эффектами оптической подкачки активной области воздействующим излучением, прошедшим через контактную золотую пленку и верхние слои лазера, поскольку, по оценкам, связанным с измерением фототока диода, работающего при обратном смещении (как фотоприемник), уровень прошедшей мощности не превышает 10^{-5} от падающей.

Наличие теплового зазора приводит к обмену энергией между движущимися в противоположных направлениях волнами. При этом имеет место как синфазное, так и противофазное сложение полей мод с парциальными волнами, отраженными от теплового зазора. Вследствие различных частот продольных мод такое сложение будет по-разному происходить для разных мод. Поэтому тепловой зазор изменяет пороги возбуждения различных мод, в результате чего изменяются мощность и спектр излучения лазера. Различные добавки к порогам различных

мод $\Delta g_{\text{пор}}$ повышают спектральную селективность ЛВСНР по сравнению с ЛД без теплового зазора, что увеличивает возможность достижения одномодового режима генерации. При сканировании теплового зазора изменяются условия складывания оптических полей ЛВСНР, что приводит к перестройке рабочей длины волны лазера. Здесь следует ожидать сильное изменение $\lambda_r(x)$ с периодом $\sim \lambda/2$. Однако такая быстроосциллирующая зависимость в эксперименте не наблюдалась, что, по-видимому, связано с некоторым «размытием» теплового зазора за время импульса подкачки.

На основе модели плоских волн в приближении отсутствия рассеяния излучения на тепловом зазоре и с учетом порогового условия генерации найдено простое уравнение, позволяющее оценить величины изменений $\Delta g_{\text{пор}}$ лазерных мод,

$$\sqrt{r}R \exp(i\theta) [\exp(-2\Gamma l_1) + \exp(-2\Gamma l_2)] + R(1 - \sqrt{r})^2 \exp(-2\Gamma L + i2\varphi) = 1, \quad (1)$$

где Γ — комплексная постоянная распространения; l_1, l_2 — длины парциальных резонаторов; θ, φ — соответственно фазовые сдвиги отраженной и прошедшей через тепловой зазор волн.

Несмотря на то что $r \ll R$, $\Delta g_{\text{пор}}$ может достигать значений 0.1—1.0 см⁻¹. Такие значения $\Delta g_{\text{пор}}$ вполне могут привести к наблюдаемым диапазонам перестройки λ_r и изменений мощности генерации.

Таким образом, ЛВСНР с тепловым зазором позволяет: 1) получать одномодовый режим генерации; 2) управлять λ_r ; 3) понизить порог генерации; 4) перераспределять мощности, излучаемые с переднего и заднего зеркал. Сильная зависимость параметров ЛВСНР от геометрических характеристик зазора объясняет разброс параметров ЛД, изготовленных в одном технологическом цикле, где в результате присутствия неконтролируемых неоднородностей показателя преломления [3] неизбежно образуются внутренние сильносвязанные низкодобротные резонаторы. В заключение отметим, что приведенные результаты не противоречат качественным выводам работы [3], авторы которой сделали попытку описать неоднородный по длине гетеролазер, формально перенося известные в квантовой механике принцип Франка—Кордона и эффект Рамзауэра на исследуемую систему.

Список литературы

- [1] Tsang W. T., Olsson N. A., Logan R. A. // Appl. Phys. Lett. 1983. Vol. 42, N 8. P. 650—652.
- [2] Tsang W. T., Olsson N. A., Logan R. A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1983. Vol. 43. N 11. P. 1003—1005.
- [3] Манько М. А., Микезьян Г. Т. // Тр. ФИАН. 1986. Т. 166. С. 126—154.
- [4] Анисимов С. И., Имас Я. А., Романов Г. С., Ходыко Ю. В. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука, 1970. 272 с.
- [5] Marple D. T. F. // J. Appl. Phys. 1964. Vol. 35. P. 1244—1242.

Институт прикладной физики
АН МССР

Поступило в Редакцию
9 ноября 1987 г.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА ПАРАМЕТРЫ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

А. В. Хомченко, В. П. Редько

Известно, что свойства тонких пленок, полученных напылением в вакууме, практически всегда в большей или меньшей степени не соответствуют свойствам распыляемого материала [1]. Это относится и к стеклянным пленкам, получаемым высокочастотным (ВЧ) распылением и используемым в качестве оптических волноводов. Для таких пленок характерно, что их показатель преломления (ПП) практически всегда больше, чем ПП распыляемых материалов. Это обстоятельство позволило в свое время получить новый класс тонкопленочных оптических волноводов из стекол, названных гомогенными [2]. Очевидными причинами изменения ПП материала пленок являются отклонение состава материала пленки от состава рас-