

06.2; 06.3; 07

©1994

РАЗВАЛ СПЕКТРА ПРОДОЛЬНЫХ МОД И НЕЛИНЕЙНЫЕ МЕЖМОДОВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОЩНЫХ ОДНОМОДОВЫХ InGaAs/GaAs ЛАЗЕРАХ

*Д.А.Лившиц, В.М.Марьинский, Э.У.Рафаилов,
П.В.Студенков, В.Б.Халфин, А.С.Трифонов, К.И.Урих*

Ряд практических приложений, связанных с использованием полупроводниковых лазеров, требуют высокой когерентности выходного излучения лазера. Высокая степень когерентности может быть достигнута лишь при реализации одночастотного режима генерации лазера, т. е. при генерации одной продольной моды. Особое значение одночастотного режима связано также с проблемой генерации сжатых состояний света [1]. В последнем случае необходимо сохранение одночастотного режима до токов накачки, в десятки раз превышающих пороговое значение.

Настоящая работа посвящена исследованию спектральных характеристик мощных одномодовых лазеров мезаполосковой структуры RIDGE, изготовленных на основе гетероструктур, выращенных MOCVD методом, с использованием метода реактивного ионного травления. Лазеры имели длину волны $\lambda = 0.98$ мкм, которая оптимальна для накачки оптических усилителей, использующих в качестве активной матрицы ионы Er [2]. Структура InGaAs/GaAs/AlGaAs имеет тонкий активный квантоворазмерный напряженный слой InGaAs, прилегающие слои реализуют раздельное ограничение электронной и фотонной систем (более подробно см [3]).

Основным результатом работы является обнаружение универсального характера разрушения малочастотного (или, как частный случай, одночастотного) режима генерации лазера в квазисплошной широкий спектр, который наблюдался у большинства лазеров исследованного типа.

Зависимость спектра излучения лазера от тока накачки для одного из исследованных лазеров показана на рис. 1. Как видно из рисунка, при токе накачки, не превышающем 5 пороговых значений (I_{th}), спектр состоит из нескольких четко выраженных продольных мод. При дальнейшем увеличении тока происходит резкое уширение спектра до 10–15 нм, сопровождающееся резким уменьшением амплитуды пиков.

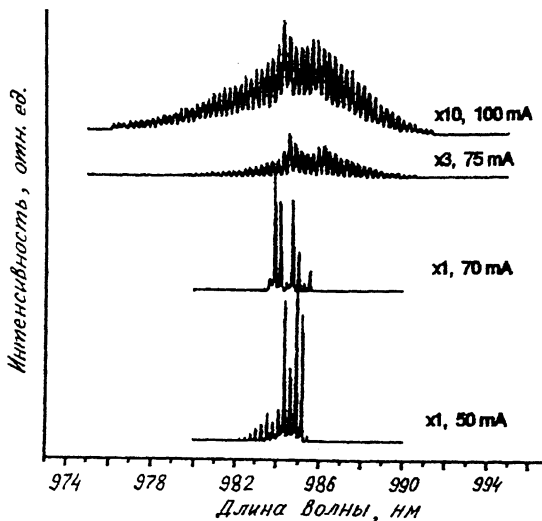


Рис. 1. Типичная зависимость спектра излучения лазера при разных токах накачки $I_{th} = 15$ мА, $T = 20^\circ\text{C}$.

При этом хорошо видна периодическая картина с интервалом, равным межмодовому расстоянию, характерному для данной длины резонатора Фабри-Перро. Мы называли это явление “развалом спектра”.

В некоторых лазерах при импульсной накачке ($t = 0.3\text{--}3$ мс) развал спектра не был обнаружен во всем диапазоне токов. Однако этот эффект наблюдался в непрерывном режиме. Это дало нам повод предположить, что данное явление связано с разогревом активной области. Путем увеличения температуры теплоотвода до $30\text{--}60^\circ\text{C}$ удавалось добиться развала спектра таких лазеров и в импульсном режиме (рис. 2), что подтверждает наше предположение.

Явление развала спектра наблюдалось нами также на лазерах конструкции RIDGE ($\lambda = 0.98$ мкм), изготовленных MOCVD методом на фирме “Thompson” (Франция) и “Ferdinand Braun Institute” (Германия). Такой же эффект мы наблюдали на RIDGE лазерах, изготовленных на основе AlGaAs/GaAs структур на длину волны 0.8 мкм. Это говорит о том, что данный эффект не связан с механическими напряжениями в активной области и является общим для лазеров такой конструкции, изготовленных MOCVD методом.

Аналогичные исследования были проведены на InGaAsP/GaAs RIDGE лазерах ($\lambda = 0.8$ мкм), выращенных жидкофазной эпитаксией. В таких лазерах только на некоторых образцах был обнаружен развал спектра, в осталь-

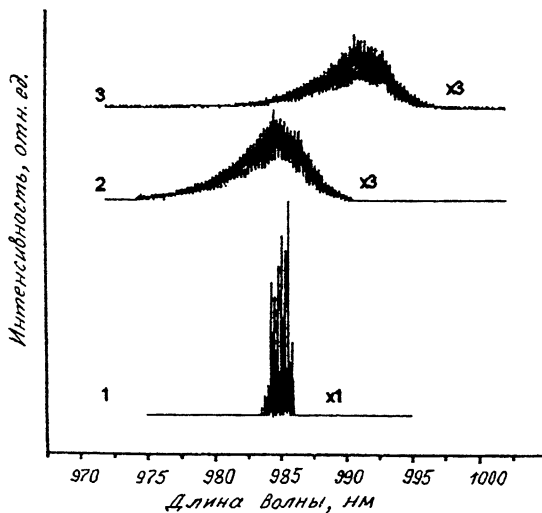


Рис. 2. Зависимость спектра излучения лазера от тока накачки в CW и импульсном режимах при разной температуре.

1. Импульсный режим, $I_{и} = 150$ мА, $T = 20^\circ\text{C}$, $\tau = 0.3\mu\text{s}$. 2. CW режим, $I_{и} = 150$ мА, $T = 20^\circ\text{C}$. 3. Импульсный режим, $I_{и} = 150^\circ$ мА, $T = 50^\circ\text{C}$, $\tau = 0.3\mu\text{s}$.

ных лазерах наблюдалось линейное уширение спектра излучения с увеличением тока накачки. Наблюдаемое уширение спектра с ростом тока в лазерах с InGaAsP активной областью хорошо объясняется спиноподальным распадом [4]. По нашему мнению, эффект спиноподального распада в лазерах с четырехкомпонентной активной областью существенно сильнее, чем в лазерах с трехкомпонентной InGaAs и AlGaAs активной областью.

С целью определения возможного механизма развала спектра были проведены исследования шумов интенсивности излучения лазера в зависимости от тока накачки. Измерения проводились в диапазоне радиочастот $10 \div 100$ МГц, схема измерений подробно описана в [5].

На рис. 3 приведен график зависимости амплитудных шумов лазера от тока накачки. Из графика видно, что процесс развала модовой структуры сопровождается резким всплеском шумов интенсивности. Следует отметить, что характер зависимости шумов от тока накачки принципиально отличается от того, который наблюдается в существенно многочастотных лазерах с волноводом, сформированным изменением коэффициента усиления (gain-guided lasers). Лазеры этого типа имеют относительно низкий уровень избыточных шумов, т. к. шумы для полного числа фотонов всех продольных мод $\sum_i I_i$ в точности совпадают с квантовыми шумами в одномодовом случае, т. е. вклада от нелинейного

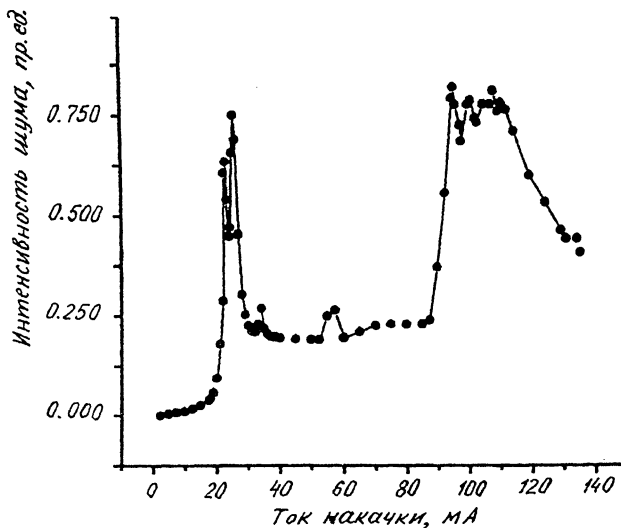


Рис. 3. Типичная зависимость уровня амплитудных шумов лазера от тока накачки. $I_{th} = 20$ мА, $T = 20^\circ\text{C}$.

межмодового взаимодействия нет. При этом уровень шумов для одной выделенной продольной моды может быть выше уровня квантового шума не несколько порядков [6].

В нашем случае в лазерах RIDGE структуры (index-guided lasers) при развале спектра на большое число продольных мод общие шумы возрастают, т. к. по сравнению с gain-guided лазерами полной компенсации избыточных шумов по ансамблю мод не происходит, что мы связываем с появлением нелинейного вклада от перекрестного взаимодействия мод.

Таким образом, мы полагаем, что наблюдаемый нами развал спектра в лазерах с конструкцией RIDGE связан с нелинейным межмодовым взаимодействием, возникающим из-за перегрева активной области.

Если предположить, что динамика каждой моды определяется интенсивностью самой моды и квадратичными комбинациями интенсивностей всех мод лазера, то в общем виде эмпирическую модель поведения лазерной моды можно записать как

$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = A_i I_i + \sum_k B_{i,k} I_i I_k, \quad (1)$$

где величина $B_{i,k}$, по нашему мнению, должна зависеть от межмодового расстояния $(i - k)$.

Если предположить, что A и B не зависят от номера моды i , то очевидно, что стационарными решениями этой си-

стемы может быть решение

$$I_k = -\frac{A_k}{B_{kk}}, (I_i = 0) \quad (2)$$

для любого ($i \neq k$ одночастотный режим генерации); или

$$I_i = -\frac{A_i}{\sum_k B_{ik}} \quad (3)$$

для любого i , что соответствует полному набору мод резонатора Фабри-Перо, т. е. развалу спектра.

В дальнейшем можно исследовать области устойчивости стационарных решений в пространстве (I_0, \dots, I_n) , а также природу параметров A и B .

Таким образом, в процессе исследования одномодовых InGaAs/GaAs RIDGE лазеров, выращенных MOCVD методом, нами обнаружено, что при токах накачки выше нескольких пороговых значений наблюдается эффект скачкообразного уширения спектра — “развал”. Мы полагаем, что наблюдаемое нами явление в лазерах с конструкцией RIDGE связано с нелинейными межмодовыми взаимодействиями, возникающими из-за перегрева активной области.

Авторы выражают благодарность Международному Научному Фонду за поддержку по грантам R1L000 и R5X000. The research in this publication was made possible in part by Grants R1L000 and R5X000 from the International Science Foundation.

Список литературы

- [1] Machida S., Yamamoto Y., Itaya Y. // Phys. Rev.Lett.1987. V. 58. N 10. P. 1000.
- [2] Yamada M., Shimmuzu M., Takeshita T., Okayashi M., Horiguchi M., Ushera S., Suigita S. // IEEE Photonics Technol. Lett. 1989. V. 1. N 12.
- [3] Бородицкий М.Л., Дулькин А.Е., Кочнев И.В., Лившиц Д.А., Соколова Н.О., Рафаилов Э.У., Тарасов И.С., Шерняков Ю.М., Явич Б.С. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. Вып. 6. С. 62.
- [4] Пихтин Н.А., Тарасов И.С., Иванов М.А. // ФТП. 1994, в печати.
- [5] Трифонов А.С., Урих К.И. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 7. С. 73.
- [6] Ito.t., Machida S., Nawata K., Ikegami T. // IEEE J. Quant. Electron. 1977. QE-13. P. 574.

Физико-технический
институт им.А.Ф. Иоффе
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
16 июня 1994 г.