

06.3; 07

## ВЛИЯНИЕ ОБЛАСТИ НАСЫЩАЮЩЕГОСЯ ПОГЛОТИТЕЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ $InGaAsP/InP$ РОС-ЛАЗЕРОВ С СИЛЬНОЙ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАССТРОЙКОЙ

В.И. Барышев, Е.Г. Голикова,  
А.Г. Дерягин, В.Г. Дураев,  
Д.В. Куксенков, В.И. Кучинский,  
В.Б. Смирницкий, Е.Л. Портной

Настоящая работа продолжает наши исследования [1-3] по изучению характеристик лазеров с распределенной обратной связью (РОС). Как показали проведенные исследования, РОС-лазеры, в которых линия брегговской генерации расположена на коротковолновом склоне полосы усиления (с коротковолновой расстройкой), обладают рядом преимуществ. Среди них - значительное уменьшение радиочастотной ширины генерируемой линии [4], устойчивость одночастотного режима генерации при динамической накачке [2], расширенный температурный интервал существования одночастотной генерации [3]. Указанные преимущества РОС-лазеров с коротковолновой расстройкой проявляются тем сильнее, чем больше величина расстройки  $\Delta\lambda = \lambda_{\text{РОС}} - \lambda_{\text{max}}$ .

В лазерных диодах (ЛД) со сколотыми торцами увеличение расстройки свыше 150-200 Å затруднительно из-за возникновения генерации мод Фабри-Перо в максимуме полосы усиления. Дальнейший рост  $\Delta\lambda$  возможен лишь с применением специальных мер, приводящих к эффективному изменению пороговых условий в пользу брегговской генерации. Одной из таких мер является введение в конструкцию лазеров поглощающей области с контролируемыми параметрами, расположенной вблизи торца резонатора.

В настоящей работе изложены результаты экспериментального исследования влияния поглощающей области, расположенной вблизи торца резонатора, на характеристики  $InGaAsP/InP$  ( $\lambda = 1.5-1.6$  мкм) РОС-лазеров с сильной коротковолновой расстройкой  $\Delta\lambda$ .

Мезополосковые гетеролазеры с РОС изготавливались на основе двух односторонних гетероструктур, изготовленных по методике [5] и отличающихся друг от друга только глубиной профиля дифракционной решетки и величиной коэффициента обратной связи  $K$ . При длине лазерных диодов  $L \sim 250$  мкм величина  $K \times L$  для лазеров, изготовленных из одной гетероструктуры, составляла  $\sim 2.5$  и  $\sim 1$  из другой. Период решетки  $\Lambda$  выбирался таким образом, чтобы обеспечить получение брегговской генерации на длине волны  $\lambda_{\text{РОС}} \approx 1.52$  мкм, что при длине волны максимума люминесценции активного слоя гетероструктур  $\lambda_{\text{макс}} = 1.57$  мкм соответствует расстройке  $\Delta\lambda = -500$  Å.

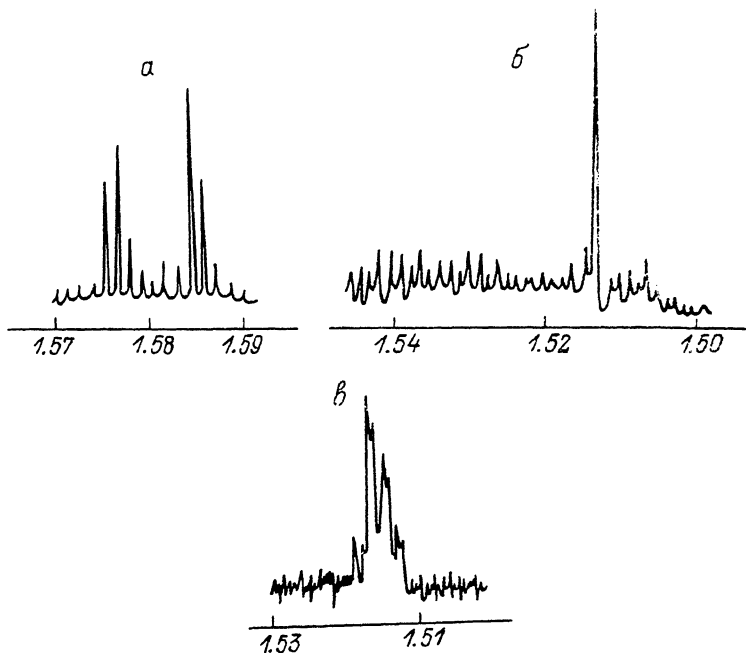


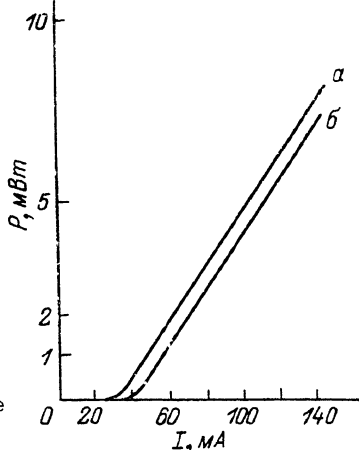
Рис. 1. Спектры излучения: а – необлученного образца в непрерывном режиме вблизи порога генерации, б – облученного дозой  $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  образца с  $KL \sim 2.5$  в непрерывном режиме вблизи порога генерации, в – облученного образца с  $KL \sim 1$  в пиковом режиме генерации.

Поглощающая область вблизи торца резонатора исследуемых лазеров создавалась с помощью глубокой имплантации тяжелых ионов. Для имплантации использовались ионы  $N^{3+}$  с энергией 10 МэВ. Доза имплантации накапливалась постепенно, и на каждом этапе контролировались пороговые, спектральные и мощностные характеристики излучения лазерных диодов со стороны необлученного торца. Проводился также контроль наличия или отсутствия пикового режима генерации.

Рассмотрим данные экспериментальных исследований для образцов ЛД с сильной связью ( $KL \sim 2.5$ ). На рис. 1, а представлен типичный спектр излучения необлученного образца в непрерывном режиме вблизи порога генерации. Как видно, в спектре наблюдается характерный для Фабри-Перо резонатора набор продольных мод с максимумом интенсивности на длине волны  $\lambda_{\text{макс}} = 1.575 \text{ мкм}$ . Ватт-амперная характеристика необлученного образца представлена на рис. 2, а.

После образования в результате имплантации поглощающей области вблизи торца резонатора в спектре излучения на коротковолновом краю появляется брегговская мода, интенсивность которой

Рис. 2. Ватт-амперные характеристики: а - необлученного образца в непрерывном режиме генерации, б - облученного дозой  $5 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup> образца с  $KL \sim 2.5$  в непрерывном режиме генерации.



по сравнению с продольными модами резонатора Фабри-Перо увеличивается с ростом дозы облучения. При дозе  $5 \cdot 10^{11}$  ион/см<sup>2</sup> порог брегговской генерации оказывается ниже порога генерации Фабри-Перо,

и спектр излучения лазера в непрерывном режиме генерации становится одночастотным. При этом пороговый ток образца возрастал в среднем на 50%, а дифференциальная квантовая эффективность оказывалась практически неизменной. При дальнейшем увеличении дозы имплантации пороговый ток и эффективность не изменялись. Относительная же доля в спектре излучения шума, обусловленного присутствием мод Фабри-Перо, продолжала уменьшаться. Спектр генерации в непрерывном режиме вблизи порога и ватт-амперная характеристика для дозы облучения  $5 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup> приведены на рис. 1, б и 2, б соответственно.

Контроль динамического режима генерации исследованных лазеров осуществлялся при накачке образцов импульсами тока с длительностью 10 нс при длительности фронта 0.5 нс. Осциллограмма импульса выходного излучения регистрировалась с помощью *InGaAsP p-i-n* фотодиода и стробоскопического осциллографа С1-91/4. Суммарная разрешающая способность установки по времени составляла 80 пс. Измерения продемонстрировали отсутствие осцилляций в выходном импульсе излучения. Пятикратное превышение тока накачки над пороговым значением не приводило к срыву одночастотного режима брегговской генерации.

Таким образом, в образцах ЛД с сильной связью поглощающая область, образованная имплантацией ионов и расположенная у торца резонатора, эффективно подавляет обратную связь для мод Фабри-Перо. В отличие от работы [6], где для подавления генерации мод Фабри-Перо использовалась пассивная область длиной в сотни мкм, в нашем случае длина поглощающей области  $l_{погл} = 10$  мкм  $\ll \frac{1}{k}$ , что не приводит к существенному снижению эффективности распределенной обратной связи. Следствием этого оказывается установление одночастотного режима брегговской генерации с сильной коротковолновой расстройкой и отсутствие осцилляций в выходном излучении лазера. Отметим также отсутствие гистерезиса в ВАХ исследованных образцов.

Перейдем теперь к анализу экспериментальных данных для ЛД со слабой обратной связью ( $KL \lesssim 1$ ). Как и в случае ЛД с силь-

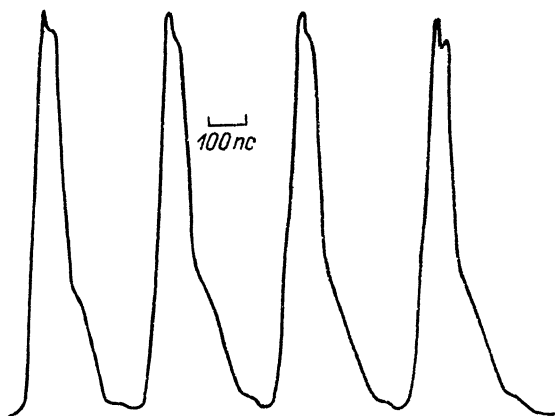


Рис. 3. Осциллограмма выходного излучения облученного образца с  $KL \sim 1$  в пиковом режиме генерации.

ной связью, введение поглощающей области вызывает эффективное изменение пороговых условий в пользу брегговской генерации. Одновременно происходит значительное повышение порогового тока и снижение д.к.э., вызываемое сокращением длины формирования обратной связи на 10%. В среднем повышение порогового тока в 2,5–3 раза происходило при достижении дозы имплантации  $2 \cdot 10^{12} \text{см}^{-2}$ . Контроль динамического режима генерации показал наличие пикового режима в определенном диапазоне амплитуд тока накачки. Типичная осциллограмма выходного излучения приведена на рис. 3. С учетом разрешения установки длительность отдельного пика в исследованных образцах может быть оценена в 60 пс. Следует отметить, что длительность пика зависела от амплитуды тока накачки и изменялась в пределах от 100 до 60 пс.

Спектр генерации при работе лазера в пиковом режиме (рис. 1, в) включает в себя помимо двух основных брегговских частот две „субмоды“. Общая полуширина огибающей спектра составляет  $\sim 25 \text{ \AA}$  и занимает, таким образом, промежуточное положение между шириной спектра для РОС и Фабри–Перо генерации в режиме модуляции добротности. Появление в спектре дополнительных субмод обусловлено недостаточной эффективностью РОС и значительным превышением накачки над пороговым значением в момент просветления области НП.

Таким образом, основные выводы настоящей работы заключаются в следующем.

1. Наличие поглощающей области, образованной имплантацией ионов, вблизи торца резонатора лазерного диода с РОС позволяет эффективно подавить генерацию мод Фабри–Перо.

2. В РОС–лазере с высоким значением  $KL$  наличие такой области позволяет получить устойчивую одночастотную генерацию с сильной коротковолновой расстройкой.

3. В РОС–лазере с  $KL \lesssim 1$  поглощающая область приводит к получению брегговской генерации в пиковом режиме с длительностью пика 60–100 пс.

Авторы благодарят Ж.И. Алфёрова за поддержку работ по РОС-лазерам и Г.М. Гусинского за проведение глубокой имплантации на циклотроне ФТИ.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алфёров Ж.И., Кижаяев К.Ю., Кучинский В.И., Куксенков Д.В., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. № 9. С. 513-517.
- [2] Кижаяев К.Ю., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Никитин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 3. С. 267-273.
- [3] Гуриев А.И., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Никитин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 12. С. 1082-1088.
- [4] Ogita S., Yano M., Ishikawa H., Iwai H. // *Electr. Lett.* 1987. V. 23. N 8. P. 393-394.
- [5] Барышев В.И., Голикова Е.Г., Дуряев В.П., Кучинский В.И., Кижаяев К.Ю., Куксенков Д.В., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // *Квантовая электроника.* 1988. Т. 15. № 11. С. 2196-2198.
- [6] Sakai K., Utaoka K., Akiba S., Matsuhashi Y. // *IEEE J. of Quant. Electr.* 1982. V. QE-18. N 8. P. 1272-1278.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
5 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 17

12 сентября 1989 г.

05.3; 10.11

### НЕТЕПЛОВЫЕ ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СПЛАВОВ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ

С.Н. Б о р о д и н, Ю.Е. К р е й н д е л ь,  
Г.А. М е с я ц, В.В. О в ч и н н и к о в,  
В.А. Ш а б а ш о в

Известно [1, 2], что ионная бомбардировка приводит к изменению физических свойств приповерхностных слоев металлических сплавов. При этом глубина модифицированной зоны во многих случаях существенно превышает пробеги бомбардирующих частиц. Передача энергии ионного воздействия в модифицируемом слое при типичных для