

Московский институт  
радиотехники, электроники  
и автоматики

Поступило в Редакцию  
7 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21

12 ноября 1990 г.

06.3

© 1990

### СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА $InGaAsP/InP$ ( $\lambda = 1.55$ мкм) РОС-ЛАЗЕРОВ С КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАССТРОЙКОЙ

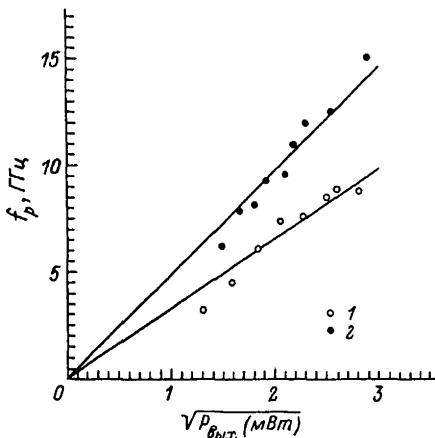
А.И. Г у р и е в, А.Г. Д е р я г и н,  
Д.В. К у к с е н к о в, В.И. К у ч и н с к и й,  
Е.Л. П о р т н о й, В.Б. С м и р н и ц к и й

$InGaAsP/InP$  РОС гетеролазеры с длиной волны генерации в диапазоне 1.5–1.6 мкм являются наиболее подходящими источниками излучения для высокоскоростных линий оптической связи большой протяженности. Скорость передачи в таких системах ограничивается шириной полосы модуляции лазерных источников. Устойчивость одночастотного режима генерации при динамической накачке дает дополнительные возможности для повышения частоты модуляции лазеров с РОС.

В настоящей работе представлены результаты исследований скоростных свойств РОС лазеров  $InGaAsP/InP$  и рассмотрены факторы, их определяющие. Критерием, характеризующим максимальное быстродействие полупроводникового лазера, является частота релаксационных колебаний (РК), которая ограничивает внутреннюю полосу модуляции лазера.

Частота релаксационных колебаний измерялась для мезаполосковых  $InGaAsP/InP$  лазеров с распределенной обратной связью во втором порядке и длиной волны генерации в спектральном диапазоне 1.5–1.6 мкм. Шаг дифракционной решетки рассчитывался таким образом, чтобы обеспечить получение коротковолновой расстройки длины волны генерации относительно длины волны максимума полосы усиления:  $\Delta\lambda = (\lambda_{РОС} - \lambda_{макс}) < 0$ . Лазерные диоды изготавливались по методике, изложенной в [1]. Частота релаксационных колебаний определялась на экспериментальной установке, состоящей из схемы высокочастотной накачки, быстродействующего  $InGaAsP$  р-и-п фотодиода с разрешением до 15 ГГц и стробоскопического осциллографа С1-91/4. На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости частоты РК от корня квадратного

Рис. 1. Экспериментальные и теоретические зависимости частоты релаксационных колебаний от корня квадратного из выходной мощности для РОС-лазеров двух типов.



стройка составляла  $\Delta\lambda = -560 \text{ \AA}$  при значении  $K=110 \text{ см}^{-1}$  и  $L = 250 \text{ мкм}$ . Столь большая расстройка во втором случае была получена при подавлении мод Фабри-Перо (Ф.-П.) путем имплантации лазерного диода со стороны заднего зеркала ионами азота [2].

Прямыми на рис. 1 представлены теоретические зависимости  $f_p(\sqrt{P})$ . При расчетах использовались следующие значения параметров:  $\Gamma=0,2$ , площадь поперечного сечения активной области  $S = 7.5 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$ , внутренняя квантовая эффективность  $\eta_i = 0,8$ , внешняя дифференциальная квантовая эффективность  $\eta_d = 4,6 \%$  для лазера 1-го типа и  $3,45 \%$  для второго, длина волны генерации  $1,5160$  и  $1,5140 \text{ мкм}$ , дифференциальное усиление  $A=3,23 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  и  $5,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  для лазеров 1-го и 2-го типов соответственно. Видно, что лазер с большей расстройкой и большим значением  $K \cdot L$  имеет лучшее быстродействие. Проанализируем причины такого поведения.

В самом общем виде, частота релаксационных колебаний  $f_p$  определяется следующим выражением [3]:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A \cdot S_0}{\tau_p}}, \quad (1)$$

где  $A$  - дифференциальное усиление,  $S_0$  - плотность фотонов в резонаторе лазера и  $\tau_p$  - время жизни фотона. Удобнее анализировать выражение для РК, в котором плотность фотонов выражена через выходную мощность и другие характеристики лазера:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Gamma \cdot A \cdot P \cdot \eta_i}{h\omega \cdot \eta_d \cdot V_a}}, \quad (2)$$

где  $\Gamma$  - фактор оптического ограничения,  $h\omega$  - энергия фотона,  $\eta_d$  - внешняя дифференциальная квантовая эффективность,  $\eta_i$  - внутренняя квантовая эффективность и  $V_a$  - объем активной области.

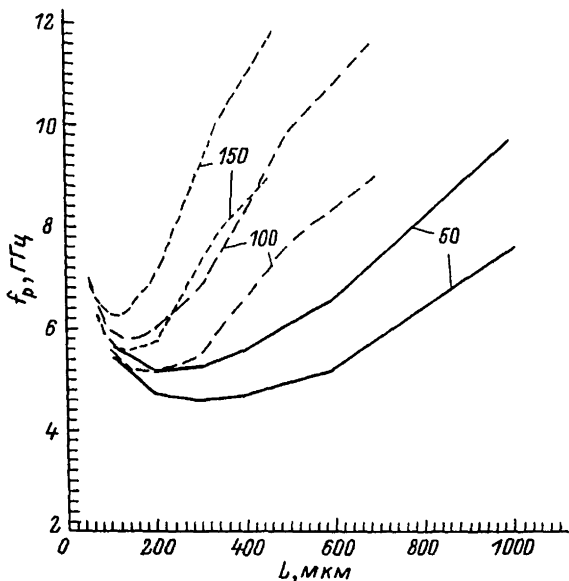


Рис. 2. Теоретические зависимости частоты релаксационных колебаний от длины резонатора для РОС-лазеров с разными значениями коэффициента связи  $K$  (цифры у кривых) и значениями фаз, соответствующих максимальному (нижние кривые) и минимальному (верхние кривые) пороговым усилениям.

Из (2) видно увеличение частоты РК  $f_p$  при фиксированной выходной мощности  $P_{\text{вых}}$  при увеличении дифференциального усиления  $A$ , уменьшении  $\gamma_d$  и  $V_\alpha$ . Лазер с РОС по сравнению с обычным лазером типа Ф.-П. предоставляет уникальную возможность управлять этими параметрами. Изменять значение  $A$  можно путем смещения длины волны брегговской генерации в сторону от длины волны, соответствующей максимуму полюсы усиления [4]. Существенное увеличение дифференциального усиления происходит при коротковолновой расстройке  $\Delta\lambda < 0$ . Этим обусловлен выбор нами для исследований лазеров с коротковолновой расстройкой.

В работе [4] показано, что коротковолновая расстройка в  $-30$  нм позволяет увеличить значение  $A$  почти в 2 раза. В [5] показано, что достижение большой расстройки без возникновения генерации мод Ф.-П. возможно в РОС-лазерах с большим значением  $K$  ( $K > 100 \text{ см}^{-1}$ ). В РОС-лазере изменение  $K \cdot L$  меняет распределение поля по длине резонатора. При значении  $K \cdot L \geq 1$  распределение поля имеет максимум в центре резонатора [6], и среднее значение поля в резонаторе может в несколько раз превышать его значение на торцах. Ясно, что такая особенность позволяет повысить быстродействие РОС-лазеров по сравнению с лазерами Ф.-П.

при той же выходной мощности. В уравнении (2) эта особенность учитывается через величину  $\gamma_d$ , которая уменьшается с ростом  $K \cdot L$  :

$$\gamma_d = \frac{\alpha_{пор}}{\alpha_{вн} + 2 \cdot \alpha_{пор}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{пор}$  - пороговое усиление брегговской моды, которое может быть определено из теории связанных волн с учетом отражения от зеркал [7].

В выражение (2) входит также объем активной области лазера, который определяется длиной резонатора  $L$  и поперечными размерами активной области. Уменьшение длины резонатора уменьшит объем, но при этом уменьшится и величина  $K \cdot L$ , которая определяет пороговые характеристики лазеров и значение  $\gamma_d$ . Для определения влияния длины резонатора на  $f_p$  нами был проведен точный анализ выражения (2). Результаты расчета приведены на рис. 2. При расчетах использовалась модель лазера [7] со следующими параметрами структуры:  $\Gamma=0.2$ ,  $P=5$  мВт, внутренние потери  $\alpha_{вн}=80$  см<sup>-1</sup>,  $\lambda=1.5140$  мкм,  $A=3.4 \cdot 10^{-12}$  м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>,  $S=7.5 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>. Из рис. 2 следует, что для повышения быстродействия РОС-лазера нужно увеличивать значение  $K \cdot L$ . Однако увеличение длины резонатора на наш взгляд является нецелесообразным из-за повышения порогового тока, а также из-за возникновения генерации мод Ф.-П. на максимуме полосы усиления в лазерах с коротковолновой расстройкой (см. работу [5]).

Предельная ширина полосы прямой модуляции, ограничиваемая постоянной затухания [8] в исследуемых лазерах была много больше частоты релаксационных колебаний. Поэтому ограничения, накладываемые ею на скоростные свойства лазеров, не рассматривались.

Таким образом, в настоящей работе показано, что в РОС-лазерах с большим значением  $K$  и коротковолновой расстройкой  $\Delta\lambda < -10$  нм удается существенно повысить их скоростные свойства. Значение частоты РК вплоть до 15 ГГц были получены при ширине мезаполоска 5 мкм и весьма умеренной выходной мощности. Отметим, что это значение частоты, ограниченное временным разрешением регистрирующей системы, является рекордным для лазеров такого типа.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Кижеев 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] Барышев В.И., Голикова Е.Г., Дерягин А.Г., Дураев В.П., Куксенков Д.В.,

- Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 17. С.47-51.
- [3] Lau K.Y., Yarov A. // IEEE J. Quantum Electron. 1985. V. QE-21. No 2. P. 121-138.
- [4] Гурьев А.И., Дерягин А.Г., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. Сб. Основные результаты научной деятельности ФТИ. 1989.
- [5] Кижаяев К.Ю., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Никишин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 9. С. 267-274.
- [6] Kogelnik H., Shank C.V. // J. of Appl. Phys. 1972. V. 43. No 5. P. 2327-2335.
- [7] Streifer W., Burnham R.D., Scifres D.R. // IEEE J. Quantum Electron. 1975. V. QE-11. No 4. P. 154-161.
- [8] Su C.B., Lanzisera V.A. // IEEE J. Quantum Electron. 1986. V. QE-22. No 9. P. 1568-1578.

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

Поступило в Редакцию  
5 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21      12 ноября 1990 г.  
10; 11; 12

© 1990

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МЕТАЛЛОКСИДОВ  
МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

А.П. Гесь, А.В. Зубец,  
А.И. Стогний, В.В. Токарев,  
В.В. Федотова

В настоящее время проводятся интенсивные исследования, целью которых является формирование тонких (толщиной 0,05-1 мкм) металлоксидных пленок (ТМОП) заданного, в том числе сложного, состава площадью более 50 см<sup>2</sup>. Это связано с перспективностью применения ТМОП в микроэлектронике в качестве диэлектрических слоев при создании СБИС-структур, а также для стабилизации под-