

06.3; 07

ГЕНЕРАЦИЯ И РЕГИСТРАЦИЯ ПИКОСЕКУНДНЫХ  
ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В  $InGaAsP/InP$  ( $\lambda=1.5-1.6$  мкм)  
ЛАЗЕРАХ С ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИЛ.А. Волков, А.И. Гурьев,  
В.Г. Данильченко, А.Г. Дерягин,  
Д.В. Куксенков, В.И. Кучинский,  
В.Б. Смирницкий, Е.Л. Портной

Полупроводниковые лазеры, генерирующие сверхкороткие световые импульсы с длиной волны 1.5–1.6 мкм, являются перспективными источниками для волоконно-оптических систем связи с высокой скоростью передачи информации. Наиболее распространенным способом получения сверхкоротких световых импульсов является прямая токовая модуляция инжекционных лазерных диодов [1]. Однако такая модуляция требует применения импульсных генераторов тока с длительностью импульса в десятки пикосекунд. Поэтому весьма привлекательным является использование в полупроводниковых лазерах режима модуляции добротности, что позволяет получать пикосекундные световые импульсы при накачке лазера импульсами тока произвольной длительности [2].

В настоящей работе сообщается о получении режима пассивной модуляции добротности в  $InGaAsP/InP$  лазерах, работающих в спектральном диапазоне 1.5–1.6 мкм. Мезаполосковые лазеры с отдельным ограничением, использованные нами, были изготовлены по методике [3] методом жидкофазной эпитаксии в два этапа. На первом этапе на подложке  $p-InP$  ( $Zn, \rho = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) (100) выращивалась гетеролазерная структура, содержащая: 1 -  $p-InP$  буферный слой ( $d = 7$  мкм); 2 -  $InGaAsP$  волноводный слой ( $E_g = 0.95$  эВ,  $d = 0.15-0.20$  мкм); 3 -  $InGaAsP$  активный слой ( $E_g = 0.8$  эВ,  $d = 0.08-0.10$  мкм); 4 -  $InGaAsP$  верхний волноводный слой ( $E_g = 0.95$  эВ,  $d = 0.15-0.20$  мкм); 5 -  $n-InP$  верхний контактный слой  $Sn, n = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ). После изготовления в направлении [110] одиночных мез с помощью фотолитографии и химического травления на втором этапе выращивались два дополнительных боковых слоя  $n-InP$  и  $p-InP$  для ограничения протекания тока в области мезы. Ширина мезы в области активного слоя составляла 5 мкм. Затем на структуру наносился слой  $SiO_2$ , в котором над мезами вскрывались окна и изготавливался  $Ti/AuSn/Au$  контакт к  $n-InP$  и  $AuZn/Au$  контакт к  $p-InP$ . Лазерные структуры раскалывались на образцы длиной 200–350 мкм, которые напайвались на никелированные медные теплоотводы с помощью припоя ПОС - 61 стороной  $p-InP$  на теплоотвод. Насыщающийся поглотитель вблизи зеркал резонатора создавался путем имплантации тяжелых ионов согласно [2].

Для регистрации импульсов светового излучения лазеров использовался быстродействующий  $p-i-n$  фотодиод на основе  $InGaAsP$ , изготовленный по стандартной технологии [4]. Быстродействие фотодиода определялось эффективной толщиной базовой области, которая составляла более 6 мкм, что соответствует временам пролета для дырок (медленные носители) свыше 60 пикосекунд. Величина емкости составляла менее 0.5 пФ при  $U_{обр} \geq 4$  В.

Фотодиод был смонтирован в разрыв пятидесятиомной микрополосковой линии, соединенной со входом стробоскопического осциллографа С1-91/4 с одной стороны и с пятидесятиомной коаксиальной зарядной линией с другой. Общее временное разрешение такой схемы (без учета фотодиода) составляет  $\Delta t \leq 40$  пс.

Измерения показали наличие пикового режима генерации при накачке лазеров импульсами тока прямоугольной формы длительностью 10 нс и  $t_{фр} \sim t_{ср} \sim 1$  нс. При этом наблюдалось увеличение частоты повторения импульсов в цуге от 1 до 10 ГГц с ростом тока накачки. Типичная временная зависимость интенсивности выходного излучения лазера, работающего в режиме пассивной модуляции добротности, приведена на рис. 1, а измеренная зависимость частоты повторения импульсов выходного излучения от амплитуды тока накачки приведена на рис. 2. Как видно из рис. 1, частота повторения  $f$  световых импульсов составляет 3 ГГц. Полуширина отдельного пика  $\leq 80$  пс, что, по-видимому определяется быстродействием фотоприемника. Следует заметить, что при уменьшении размеров активной области и площади мезы, есть возможность существенно повысить быстродействие фотодиода. Отметим также универсальность использованной нами методики, поскольку она позволяет осуществлять экспресс-контроль временных параметров как излучателей, так и приемников в диапазоне  $\lambda \approx 1.30-1.55$  мкм. Кроме того, использованные нами фотоприемник и лазер образуют оптическую пару, способную осуществлять электрооптическое и оптоэлектрическое преобразование импульсов с частотой повторения вплоть до 10 ГГц в диапазоне длин волн 1.5-1.6 мкм.

Истинная длительность одиночного импульса излучения  $\Delta \tau_{лс}$  исследованного лазера оценивалась нами по интенсивности внутренней генерации второй гармоники с использованием методики, изложенной в [5]. Применимость данной методики к  $InGaAsP/InP$  лазерам с раздельным ограничением изучалась предварительно в работе [6]. Для оценки использовалась формула:

$$\Delta \tau_{лс} = A \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{\bar{P}_{2\omega \text{ гарн}} / \bar{P}_{\omega \text{ гарн}}^2}{\bar{P}_{2\omega \text{ лс}} / \bar{P}_{\omega \text{ лс}}^2}, \quad (1)$$

где:  $A$  — коэффициент, учитывающий форму генерируемого лазером импульса (0.66 для „гауссовой“ формы);

$f$  — частота повторения импульсов выходного излучения в цуге;  
 $\bar{P}_{\omega}$ ,  $\bar{P}_{2\omega}$  — средние мощности основной и второй гармоник.

Сигнал основной гармоники регистрировался калиброванным германиевым фотодиодом, а сигнал второй гармоники — калиброванным

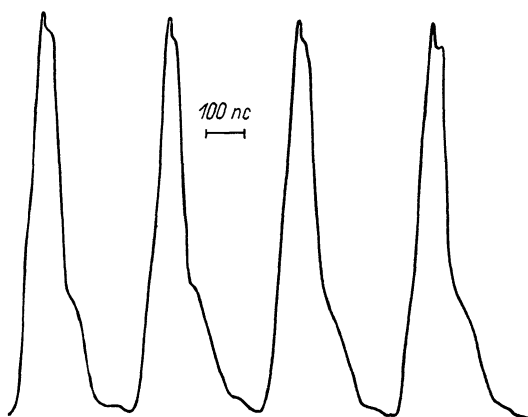


Рис. 1. Оциллограмма интенсивности выходного излучения лазера, работающего в режиме пассивной модуляции добротности.

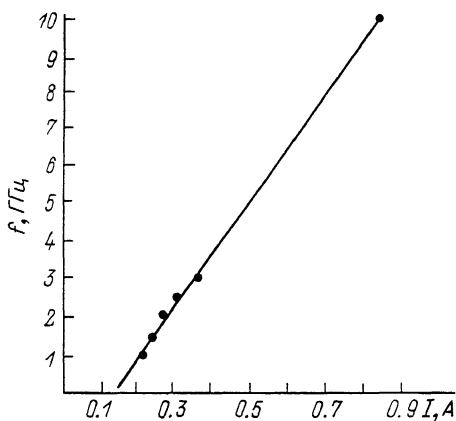


Рис. 2. Зависимость частоты повторения импульсов выходного излучения в дуге от амплитуды тока накачки.

фотоумножителем ФЭУ-157 с арсенидгаллиевым фотокатодом и стабилизированным источником питания.

Как отмечалось в работе [6], измерение сигнала второй гармоники в диапазоне длин волн 0,75–0,80 мкм осложняется наличием излучения с максимумом на длине волны  $\lambda=0,92$  мкм, вызванного рекомбинацией неосновных носителей в  $InP$ -эмиттере. Для отделения сигнала второй гармоники нами использовались интерференционные фильтры. Максимум пропускания и ширина полосы фильтров подбирались индивидуально для каждого образца ла-

зера в соответствии со спектром его генерации. Спектральная зависимость пропускания фильтра учитывалась при определении абсолютной величины сигнала второй гармоники.

Частота следования  $f$  импульсов в цуге определялась по осциллограмме выходного излучения.

В качестве опорных использовались значения средней мощности основной и второй гармоники излучения при накачке исследуемого лазера импульсами тока с амплитудой  $\sim 5 \cdot I_{\text{порог}}$ , поскольку при этом значении тока наблюдался выход лазера из пикового режима генерации.

Рассчитанное по формуле (1) в предположении гауссовой формы импульса значение его полуширины составило  $\sim 20$  пс. Полученное значение полуширины находится на уровне лучших показателей, достигнутых с помощью прямой токовой модуляции лазерных диодов [1].

Таким образом, в настоящей работе продемонстрирована возможность получения сверхкоротких световых импульсов с длиной волны  $\lambda = 1.5-1.6$  мкм с помощью пассивной модуляции добротности в инжекционных полупроводниковых лазерах и описана методика экспресс-контроля параметров выходного излучения.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Paulus P., Langenhorst R., J ä g e r D. // IEEE J. of Quant. Electr. 1988. V. QE-24. N 8. P. 1519-1523.
- [2] Алферов Ж.И., Журавлев В.Б., Портной Е.Л., Стельмах Н.М. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 112. № 18. С. 1093-1098.
- [3] Алферов Ж.И., Кижаяев К.Ю., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Никишин С.А., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. № 9. С. 513-517.
- [4] Андреев В.М., Богданович М.С., Гореленок А.Т. и др. // ЖТФ, 1985. Т. 55. № 9. С. 1568-1571.
- [5] Shen Y.C., Liu J.M. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 47. N 7. P. 662-664.
- [6] Гурьев А.И., Дерягин А.Г., Димов Ф.И., Куксенков Д.В., Кучинский В.И., Портной Е.Л., Смирницкий В.Б. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 9. С. 67-72.

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

Поступило в Редакцию  
6 мая 1989 г.