

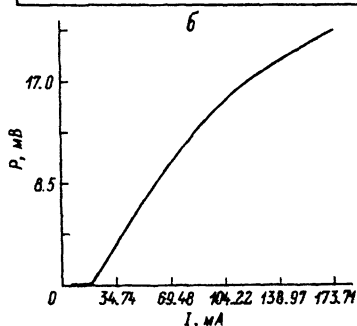
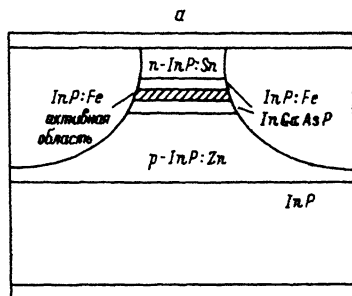
МОДУЛЯЦИЯ В ПОЛОСЕ ДО 5 ГГц *InGaAsP*
ЛАЗЕРА НА ПОДЛОЖКЕ p -ТИПА
С ЗАРАЩИВАНИЕМ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩИМИ СЛОЯМИ

Н.Н. Евтихийев, А.В. Лукашин, В.Н. Морозов,
М.А. Сумароков, В.И. Швейкин,
М.В. Эйнасто, В.Р. Шидловский,
А.В. Иванов, В.П. Коняев

Полупроводниковые лазеры на основе *InGaAsP* с сильным боковым ограничением по току и световому потоку являются наиболее быстрыми источниками излучения для волоконнооптических линий связи в диапазоне длин волн 1,3 мкм. В подобных структурах с заглубленной активной областью, имеющей в поперечном сечении серповидный профиль („*buried-crescent*“), достигнута полоса прямой модуляции излучения вплоть до 8.4 ГГц [1]. Существенное улучшение характеристик лазеров связано с использованием токоограничивающих боковых слоев из полуизолирующего материала, которым является *InP*, легированным железом [2]. В этих слоях достигается практически омическое сопротивление порядка $5 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ [1], что позволяет снизить токи утечки из активной области, уменьшить эффективную емкость, шунтирующую p - n -переход и повысить скорость отклика лазера на модулирующий электрический сигнал. Дальнейшее совершенствование параметров лазеров, таких как дифференциальная квантовая эффективность и выходная оптическая мощность, возможно в структурах, выращенных на подложках p -типа [3].

В работе приводятся результаты исследования высокочастотных свойств инжекционных полупроводниковых лазеров на основе *InGaAsP*, выращенных на подложке p -типа. Лазер представляет собой глубокую меза-структуру, зарощенную полуизолирующими слоями *InP*, легированными железом. Технологический процесс выращивания лазерной структуры был двухступенчатым – вначале методом жидкостной эпитаксии выращивались слои собственно лазерной области, а после травления происходило наращивание полуизолирующих слоев с помощью МОС-гидридной технологии. На рис. 1, а схематично изображена лазерная структура и указан тип проводимости ее слоев. Толщина активной области составляет 0.08 мкм, ширина – 3–4 мкм, толщина верхнего слоя n -*InGaAsP* – 2–3 мкм, толщина полуизолирующих слоев – 4–5 мкм. В соответствии с работой [4], увеличение толщины полуизолирующих слоев приводит к уменьшению высокочастотных токов утечки. В исследованных лазерах (в режиме прямого смещения) отношение тока, текущего через полуизолирующие слои, к току через активную область составляло 1/100. На заднюю грань лазера было нанесено покрытие, увеличивающее коэффициент отражения до 80 %.

Рис. 1. а) Структура $InGaAsP$ лазера с полуизолирующими слоями; б) Ватт-амперная оптическая характеристика лазера.



Пороговый ток исследованных лазеров составлял 18–20 мА, причем они работали устойчиво вплоть до восьмикратного превышения порога при оптической мощности свыше 20 мВт при комнатной температуре. Зависимость выходной мощности от тока накачки, представленная на рис. 1, б, имеет характерный для данного типа лазеров вид с плавным отклонением от линейности для большого уровня мощности. Однако вплоть до тока накачки 60–70 мА уровень нелинейности составлял не более 1%, что регистрировалось спектроанализатором С4–60 по величине высших гармоник модулирующего сигнала, регистрируемого фотоприемником. Дифференциальная квантовая эффективность при малых токах накачки от порога до оптической мощности 4 мВт составила 28%. Лазер работал в режиме одной продольной моды вплоть до тока 60 мА.

Измерение высокочастотных параметров лазеров и их оценка производилась как по оптическим, так и электрическим характеристикам. Схема измерения оптической амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) включала в себя высокочастотный $p-i-n$ фотодиод с полосой 7 ГГц по спаду на 3 дБ, оптическую фокусирующую систему и конфокальный интерферометр Фабри–Перо с частотным разрешением 300 МГц для контроля спектрального состава модулированного оптического излучения, а также измерители комплексного сопротивления Р4–37 и Р4–38. Частотный свип-сигнал в диапазонах до 1250 МГц и от 1250 до 5000 МГц подавался с выхода генератора измерителей Р4–37 и Р4–38 соответственно на полупроводниковый лазер совместно с постоянным током накачки, а зарегистрированный фотоприемником сигнал поступал на вход анализаторов тех же приборов. Измерения проводились в автоматическом режиме с предварительной калибровкой измерительных высокочастотных трактов. Те же измерители комплексных сопротивлений использовались для анализа электрических высокочастотных параметров лазеров уже в обычной компоновке измерительных трактов по отраженному сигналу в режиме измерения электрических S_{11} -параметров.

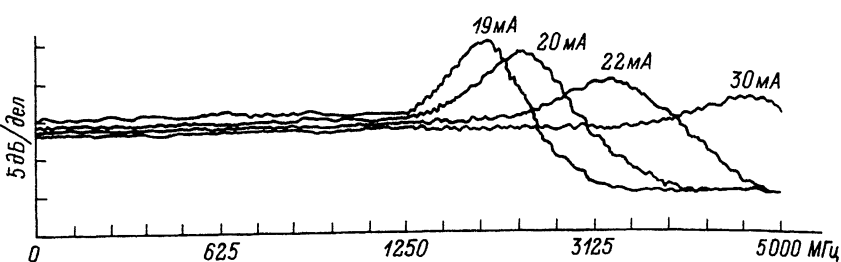


Рис. 2. Оптическая амплитудно-частотная характеристика лазера для различных токов накачки.

Результаты измерений оптической АЧХ представлены на рис. 2 для различных токов накачки. Хорошо заметно смещение релаксационного максимума передаточной характеристики в область высоких частот с ростом накачки. Максимальная измеренная полоса модуляции составила 5 ГГц при 1.5 кратном превышении током накачки порогового тока. Устойчивая работа лазера возможна вплоть до тока 1.70 мА, что должно привести к дальнейшему расширению полосы модуляции. Известно, что максимальная полоса модуляции получена в данном типе лазеров при пятикратном превышении порога [5]. Она определяется собственными паразитными элементами, активными и емкостными, связанными с токами утечки через емкость, шунтирующую активную область. Паразитные элементы приводят к спаду АЧХ на высоких частотах, который частично компенсирует релаксационный максимум.

Измерение электрических характеристик лазера по коэффициенту отражения (S_{11} -параметру) при подаче постоянного смещения выше порога генерации и без смещения позволили построить эквивалентную схему замещения лазера на контактной пластине и оценить величину паразитных элементов в нее входящих в диапазоне частот до 5 ГГц. Эквивалентная схема включала в себя элементы, соответствующие собственно активной области, лазерному кристаллу в целом и корпусу. Подбор величин элементов эквивалентной схемы на ЭВМ по наилучшему соответствию с экспериментальными данными позволил вычислить величину емкости, шунтирующей активную область, и сопротивления, включенного с ней последовательно, как 4 пФ и 5.5 Ом, что определяет характерную частоту трехдецибелного спада АЧХ в 7.5 ГГц.

Таким образом, исследование $InGaAsP$ лазерных структур на подложке p -типа, зарощенных полуизолирующими слоями, показали, что данный тип лазера является чрезвычайно эффективным для высокоскоростных оптических линий связи. Он обладает высокой выходной мощностью (свыше 20 мВт) при дифференциальной эффективности до 28 % с одного зеркала, может работать при больших пре-

вышениях порогового тока с частотой свыше 5 ПГц в режиме одной продольной моды.

Авторы благодарят С.Д. Якубовича и А.Ф. Солодкова за помощь в работе и интерпретации результатов экспериментов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Cheng W., Su C., Buehring K., Ure J. et al. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 3, p. 155.
- [2] Cheng W., Su C., Buehring K., Chein C. et al. - Appl. Phys. Lett., 1986, v. 49, p. 1416.
- [3] Sakakibara Y., Higuchi H., Omura E. et al. - IEEE J. Lightwave Techn., 1985, v. LT-3, p. 978.
- [4] Cheng J., Forrest S., Tell B. et al. - Appl. Phys., 1985, v. 58, p. 1780.
- [5] Bowers J., Hemenway B., Gnauk A., Wiet D. - IEEE J. Quant. Electr., 1986, v. QE-22, N 6, p. 833.
- [6] Tucker R., Kaminov I. - J. of Lightwave Techn., 1984, v. LT-2, N 4, p. 385.

Московский
инженерно-физический
институт

Поступило в Редакцию
25 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

ЗАПИСЬ ГОЛОГРАММ НА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ С МОДУЛИРОВАННЫМ ВО ВРЕМЕНИ ПУЧКОМ

В.П. Гарашук, Т.П. Гарашук, В.В. Ивахник,
А.А. Камшлин

В последнее время в ряде работ [1, 2] продемонстрирована перспективность использования динамических голограмм на фото-рефрактивных кристаллах (ФРК) в голографической интерферометрии. Однако в большинстве случаев в известных интерферометрических схемах ФРК просто заменяли галодосеребряные среды. Учет особенностей голографической записи, присущих ФРК, выявляет новые интерферометрические схемы с лучшими параметрами. Так, использование явления самодифракции позволило предложить интерферометрическую схему [3], обладающую более высокой чувствительностью к малым амплитудам колебаний. В данной работе демонстрируются