

дырки в основном локализируются в р-области, обуславливая иной ход зависимости  $\mu_x(T)$ , связанный с рассеянием на примесных атомах. Зависимости средней концентрации дырок  $\bar{p}$  по структуре от температуры для образцов „а“ и „в“ приведены на рис. 2 штриховыми линиями.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.Н. Дроздову за предоставление рентгенодифракционных данных по образцам и А.В. Кожухову за проведение масс-спектрометрического анализа.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G o s s a r d A.C. // IEEE Trans. Electron. Dev. 1982. V. 29. N 10. P. 1659.
- [2] V a n d e W a l l e C.G., M a r t i n R.M. // Phys. Rev. B. 1986. V. 34. N 8. P. 5621.
- [3] О р л о в Л.К., К у з н е ц о в О.А. Тезисы докладов 19 Межд. конференции по физике полупроводников. Варшава. 1988. We-P-68.

Поступило в Редакцию  
1 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 21

12 ноября 1989 г.

06.3; 12

### ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ *AlGaAs* - ГЕТЕРОЛАЗЕРОВ С ТОКОВЫМ ОГРАНИЧЕНИЕМ В РЕЖИМЕ ВНУТРЕННЕЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ

Е.Л. П о р т н о й, Н.М. С т е л ь м а х,  
А.В. Ч е л н о к о в

1. Настоящая работа продолжает наши исследования пикосекундных инжекционных лазеров, полученных глубокой имплантацией тяжелых ионов в зеркала резонатора [1, 2]. В таких лазерах в режиме внутренней модуляции добротности достигаются рекордные параметры по мощности и длительности генерируемых световых импульсов [2]. В работе показано, что насыщающийся поглотитель, находящийся вблизи зеркала лазерного резонатора, существенным образом влияет также и на пространственные характеристики излучаемого импульса.

Эффект изменения пространственных характеристик иллюстрирует рис. 1. Ввиду порогового характера просветления условия генерации достигаются лишь в области максимума интенсивности спонтанного излучения.

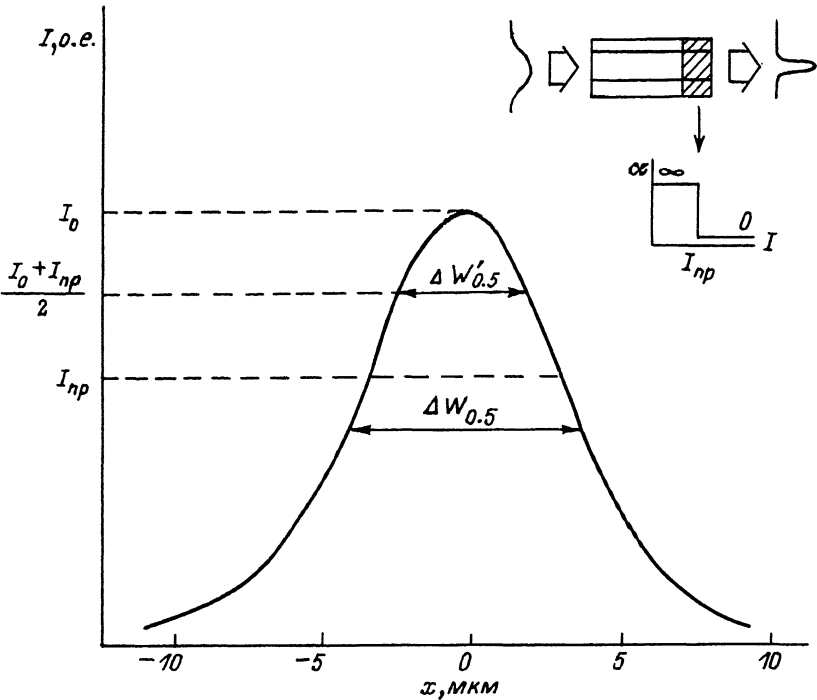


Рис. 1. Эффект сужения тела излучения в присутствии насыщающегося поглотителя.

2. Исходные образцы представляли собой *AlGaAs* полосковые непрерывные гетеролазеры с шириной полоскового контакта 15 мкм с  $\text{SiO}_2$  изоляцией. Длина лазерного резонатора составляла  $200 \pm 10$  мкм. Длина волны излучения  $\lambda \approx 830$  нм. Исходные пороговые токи находились на уровне 100 мА.

Облучение проводилось ионами азота в оба зеркала резонатора. Дозы облучения составляли  $5 \cdot 10^{11}$ – $4 \cdot 10^{12}$  ион/см<sup>2</sup> при энергии облучающих ионов 17 МэВ и  $3 \cdot 10^{11}$ – $2 \cdot 10^{12}$  ион/см<sup>2</sup> при энергии 26,7 МэВ. Глубина проникновения ионов для данных энергий составляла соответственно 8–10 и 14–16 мкм.

3. Исследования ближнего и дальнего полей проводилось на ЭОП с временной разверткой и системой автоматической обработки видеoinформации. Схема установки показана на рис. 2. Для обеспечения одинакового времени прохождения сигналов по участкам схемы, формирующим изображения ближнего и дальнего полей, а также для компактности установки общая оптическая схема имела конфигурацию интерферометра Майкельсона. Изображение ближнего поля создавалось на входной щели ЭОП микрообъективом  $M_1$ -С-В-С-Д. Часть пучка ответвляется полупрозрачным зеркалом на микрообъектив  $M_2$ , однотипный с  $M_1$ . Зеркало А вместе с перемещаемым

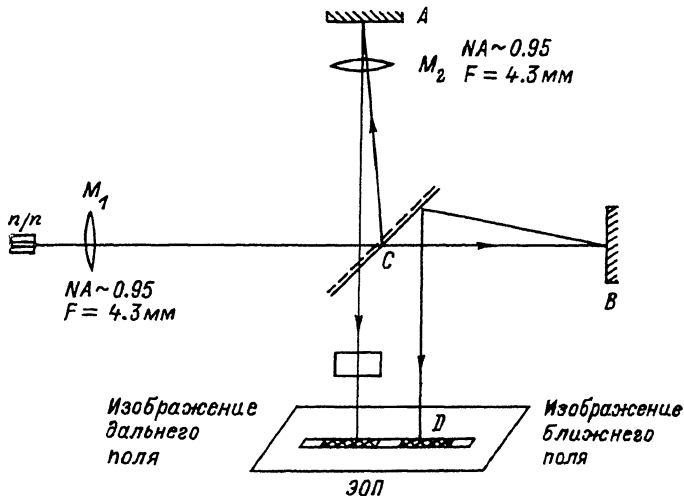


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для определения распределений ближнего и дальнего полей с пикосекундным разрешением во времени.

относительно него объективом  $M_2$  образуют аналог рассеивающей линзы с переменным фокусным расстоянием. Такая конструкция позволяет трансформировать сходящийся пучок от микрообъектива  $M_1$  в изображение дальнего поля на входной щели ЭОП. Цилиндрическая линза  $M_3$  служит для увеличения отношения „сигнал-шум“ изображения дальнего поля.

Для юстировки и калибровки системы нами применялся специальный тест-объект, представлявший собой калиброванное отверстие диаметром  $25 \pm 3$  мкм. В случае калибровки дальнего поля тест-объект освещался параллельными пучками двух полупроводниковых лазеров с длиной волны излучения 0.83 мкм и углом 28 градусов между ними. Для калибровки распределения ближнего поля тест-объект освещался некогерентным светом для устранения интерференционных явлений. Параметры измерительного комплекса обеспечивали точность измерения распределений: по углу - 3 градуса, ближнего поля - 0.8 мкм, временное разрешение - около 10 пс.

Типичный пример ближнего и дальнего полей излучения приведен на рис. 3. Измерения и обработка делаются в предположении о гауссовой форме импульса [3, 4]. Вычисление расстояния от зеркала лазерного резонатора до области мнимой перетяжки производилась по формуле

$$D = \frac{\lambda}{\pi \cdot \tan^2 \theta} \left[ \frac{\pi \cdot w \cdot \tan \theta}{\lambda} - 1 \right]^{1/2},$$

где  $\theta$  - полуширина диаграммы направленности по уровню  $1/e^2$  рад;  $w$  - полуширина распределения ближнего поля по уровню  $1/e^2$  мкм,  $\lambda$  - длина волны излучения, мкм.

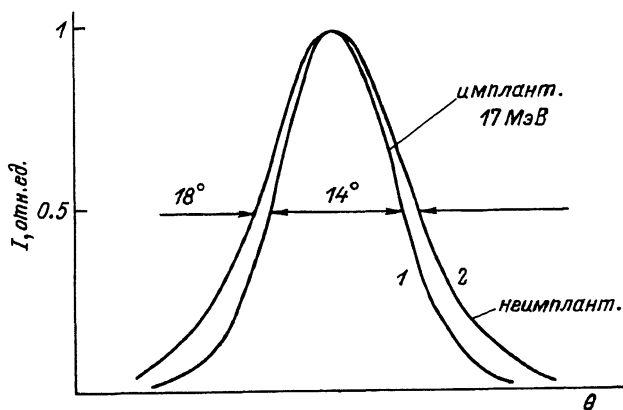
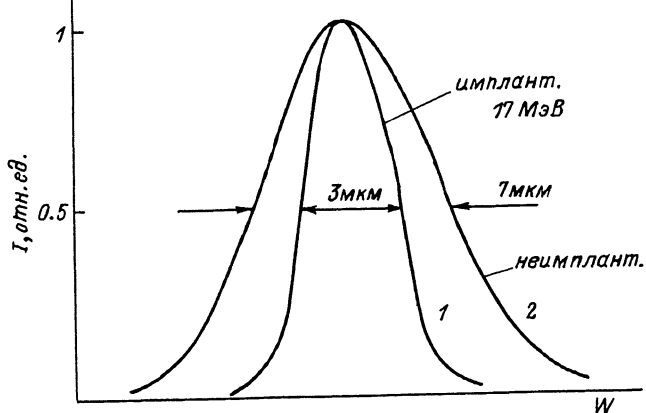


Рис. 3. Ближнее (а) и дальнее (б) поля излучения пикосекундного инжекционного лазера и пример определения  $\Delta W_{05}$  и  $\Delta \theta_{05}$  ( $I_{и} - 2 I_{th}$ ,  $T_{накачки} - 5$  пс). Кривые 1 - имплантация ионами с энергией 17 МэВ; 2 - без имплантации.

Результаты измерений параметров ближнего и дальнего полей излучения гетеролазеров с насыщающимся поглотителем приведены в табл. 1.

Во всех таблицах  $\Delta W$  - ширина распределения ближнего поля ( $FWHM$ ),  $\Delta \theta$  - ширина диаграммы направленности ( $FWHM$ ),  $\lambda$  - длина волны,  $\bar{x}$  - среднее значение параметра,  $s$  - среднеквадратичное отклонение. Параметр  $\frac{\Delta \theta \Delta W}{\lambda}$  характеризует степень "идеальности" параметров  $\Delta \theta$  и  $\Delta W$  по отношению к дифракционному пределу, который для гауссовой формы распределения дальнего и ближнего полей равен 0.441.

Т а б л и ц а 1

Тип	Объем выбор- ки	$\Delta W,$ МКМ		$\Delta \theta,$ град		$\lambda,$ МКМ		$D,$ МКМ		$\Delta \theta \Delta W / \lambda,$ отн. ед.	
		$n$	$x$	$s$	$x$	$s$	$x$	$x$	$s$	$x$	$s$
Импланти- рованные образцы	7	3.0	0.3	14	3	0.828	11	1.5	0.9	0.15	

Т а б л и ц а 2

Тип	Объем выбор- ки	$\Delta W,$ МКМ		$\Delta \theta,$ град		$\lambda,$ МКМ		$D,$ МКМ		$\Delta \theta \Delta W / \lambda,$ отн. ед.	
		$n$	$x$	$s$	$x$	$s$	$x$	$x$	$s$	$x$	$s$
Неимплан- тированные образцы	7	7	1	18	4	0.028	21	2,5	2.7	0.9	

Т а б л и ц а 3

Тип	Объем выбор- ки	$\Delta W,$ МКМ		$\Delta \theta,$ град		$\lambda,$ МКМ		$D,$ МКМ		$\Delta \theta \Delta W / \lambda,$ отн. ед.	
		$n$	$x$	$s$	$x$	$s$	$x$	$x$	$s$	$x$	$s$
Импланти- рованные лазеры Е-26 МэВ	3	3.0	0.15	11.5	1.0	0.825	14	0.6	0.8	0.01	

Т а б л и ц а 4

Тип	Объем выбор- ки	$\Delta W,$ МКМ		$\Delta \theta,$ град		$\lambda,$ МКМ		$D,$ МКМ		$\Delta \theta \Delta W / \lambda,$ отн. ед.	
		$n$	$x$	$s$	$x$	$s$	$x$	$x$	$s$	$x$	$s$
Неимплан- тированные лазеры, короткая накачка 0.5 нс	3	6.4	0.5	13.5	2.5	0.823	27	4	1.9	0.5	

Поведение исходных неимплантированных структур существенно отличается от вышеприведенных. Измерения пространственных характеристик неимплантированных лазеров в тех же условиях показали (см. табл. 2) значительно большие ширины диаграмм направленности и распределения ближнего поля.

Как видно из табл. 1, глубина расположения мнимой перетяжки выходного пучка оказывается близкой к продольному размеру насыщающегося поглотителя. Интересно, что для поглотителя с длиной 14-16 мкм, полученного облучением азотом с энергией 26 МэВ, эта глубина соответствовала 14 мкм (табл. 3).

Питание лазеров осуществлялось 5 нс импульсами тока с регулировкой амплитудой от 0 до 1 А. При исследовании хронограмм ближнего и дальнего полей в случае многопикового режима излучения измерения параметров производились по первому пичку.

Сравнение характеристик имплантированных лазеров с характеристиками исходных структур, накачиваемых короткой (0.5 нс) электрической накачкой, показало, что сужение ближнего поля обусловлено не самофокусировкой [4], а нелинейностью просветления насыщающегося поглотителя, т. к. в этом режиме мощностные параметры импульсов практически одинаковы.

Таким образом, благодаря введению насыщающегося поглотителя в резонатор полупроводникового лазера происходит одновременное существенное сужение диаграмм ближнего и дальнего полей генерируемого лазером пикосекундного светового импульса. Получены необычные пространственно-временные характеристики полупроводникового лазера с токовым ограничением в режиме внутренней модуляции добротности при ширине полоскового контакта 15 мкм: 1 - ширина тела излучения (по уровню 0.5) до 2 мкм, 2 - пиковая мощность в импульсе: до 5 Вт, 3 - длительность импульса: 5-10 пс, 4 - ширина диаграммы направленности (по уровню 0.5) в плоскости перехода: 10 градусов; в плоскости, перпендикулярной переходу: 45 градусов.

В заключение авторы хотели бы поблагодарить академика Ж.И. Алферова за постоянное внимание и поддержку проводимых работ, а также В.О. Найденова, Г.М. Гусинского и Л. Рассадина за предоставление возможности проведения имплантаций.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Журавлев А.Б., Портной Е.Л., Стельмах Н.М. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 18. С. 1093-1097.
- [2] Портной Е.Л., Стельмах Н.М., Челноков А.В. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 11. С. 44-48.
- [3] Соок D.D., Nash F.R. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 3. P. 1660-1672.
- [4] Kirkby P.A., Goodwin A.R., Thompson G.H.B. Selway P.R. // IEEE J. of QE. 1977. VQE-13. N8. P. 705-7:

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

Поступило в Редакцию  
27 июня 1989 г.