

ле и могут быть использованы для уточнения величины ожидаемого эффекта. Следует однако обратить внимание, что интенсивность в максимуме распределения прямого пучка из ускорителя приблизительно в 40 раз выше интенсивности каналированного вдоль (111)

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К у м а х о в М.А. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 250-252.

Поступило в Редакцию  
25 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 6

26 марта 1991 г.

06.3; 07

© 1991

### СТАБИЛИЗАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАРАБОТКЕ ЗАРОЩЕННОГО $InGaAsSb - GaSb$ ГЕТЕРОЛАЗЕРА ( $\lambda = 2$ МКМ)

А. А б р а г а м, Э. Г у л и ц и у с,  
Т.Н. Д а н и л о в а, Б.Е. Д ж у р т а н о в,  
А.Н. И м е н к о в, Ю.П. Я к о в л е в

В последнее время интенсивно разрабатываются  $InGaAsSb - GaSb$  гетеролазеры [1-4], излучающие в диапазоне длин волн 1.8-2.5 мкм. Однако не сообщалось об исследовании изменения их свойств в процессе наработки.

Целью данной работы было изучение изменения интенсивности излучения и диаграммы направленности  $InGaAsSb - GaSb$  зарощенных гетеролазеров, излучающих на длине волны 2 мкм при комнатной температуре.

Лазерная структура выращивалась методом жидкофазной эпитаксии [5] на подложках  $p-GaSb$  ( $n=6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ), покрытых предварительно эпитаксиальным слоем полуизолирующего  $p-GaSb$  толщиной 2 мкм с вытравленными в нем канавками шириной 8 мкм. В сдвиговой кассете последовательно выращивались слои, показанные на рис. 1.  $P-n$  переход располагался на границе эмиттерного слоя  $p-GaSb$  и активной узкозонной области  $p-InGaAsSb$ , легированной  $Te$  ( $n=2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ). Из лазерных структур были изготовлены лазеры с омическими контактами по всей площади и длиной резонатора 100-700 мкм. Лазеры генерировали когерентное излучение на длине волны 2 мкм при комнатной температуре

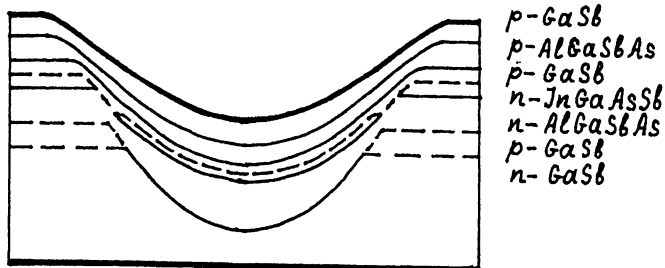


Рис. 1. Схема структуры зарощенного  $InGaAsSb - GaSb$  гетеролазера.

и импульсном питании. Пороговый ток составлял 0.2–2 А. Оптический волновод в зарощенном лазере создается слоями  $AlGaSbAs$ . Гетеропереходы 11 типа на обеих границах активной области участвуют в генерации лазерного излучения вместе с ее толщиной [3–5]. Измерялась интенсивность излучения и диаграмма направленности лазеров в различное время при наработке. Нарботка проводилась при комнатной температуре импульсами тока, превышающими пороговый в 1.5 раза. Длительность импульсов составляла 200 нс, скважность  $10^3$ .

Интенсивность излучения измерялась фотосопротивлением из  $PbS$ , принимавшем в угле около одного стерadiana. Диаграмма направленности снималась с разрешением около 0.5 градуса.

Интенсивность излучения в процессе наработки случайно колебалась в пределах 2–20 % от среднего значения (рис. 2). Среднее значение интенсивности излучения постепенно увеличивалось и через 5000 часов превышало первоначальное значение на 10–30 %. Пороговый ток существенно не изменялся. Кроме того, наблюдалось затухание колебаний интенсивности излучения (рис. 2, а) при наработке (в 2–3 раза за 4000 часов).

Диаграммы направленности излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости кристалла, были бесструктурными с полушириной 60–70 градусов, соответствующими одной пространственной продольной моде. В то время как диаграммы направленности излучения в плоскости кристалла содержали ряд максимумов и минимумов (рис. 3), в лазерах с малой длиной резонатора преобладали боковые лепестки под углом  $\pm 30$ –40 градусов (рис. 3, а). При большой длине резонатора преобладали лепестки под меньшими углами и проявлялась несимметричность лепестков (рис. 3, б). Кроме того, наблюдались отличия интенсивности лепестков на 5–10 % при повторных записях диаграммы. Несимметричность диаграммы направленности, по-видимому, вызвана неперпендикулярностью

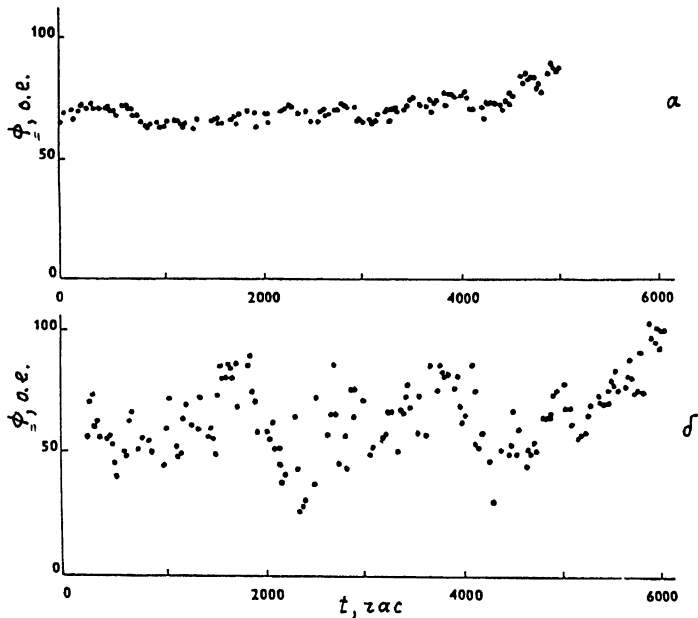


Рис. 2. Интенсивность излучения в различное время наработки для двух зарощенных  $InGaAsSb - GaSb$  гетеролазеров с различной длиной резонатора  $L$ , мкм: а - 440, б - 545.

плоскости зеркала к поверхности р-п-перехода. В процессе наработки относительная интенсивность боковых лепестков увеличивалась и они становились более острыми.

Проанализируем результаты измерений. Случайные колебания интенсивности излучения при наработке, видимо, являются продолжением в область низких частот шумов типа  $1/f$ , обнаруженных в лазерах на гетеропереходах 11 типа на частотах меньше или порядка 1 МГц [6]. Причиной столь низкочастотных лазерных шумов с периодом в дни и месяцы может быть развитие микродефектов кристалла и перемещение примесных атомов. Фактор неустойчивости, обусловленный конкуренцией рекомбинации в толще активной области и в самосогласованных квантоворазмерных потенциальных ямах на ее границах, способствует усилению колебаний интенсивности излучения.

Случайное распределение дефектов и примесей в кристалле дает преимущество некоторым пространственным и спектральным модам и гасит другие моды. Чем больше длина резонатора, тем лучше усредняется действие полей дефектов и примесей и тем большее количество конкурирующих мод выживает.

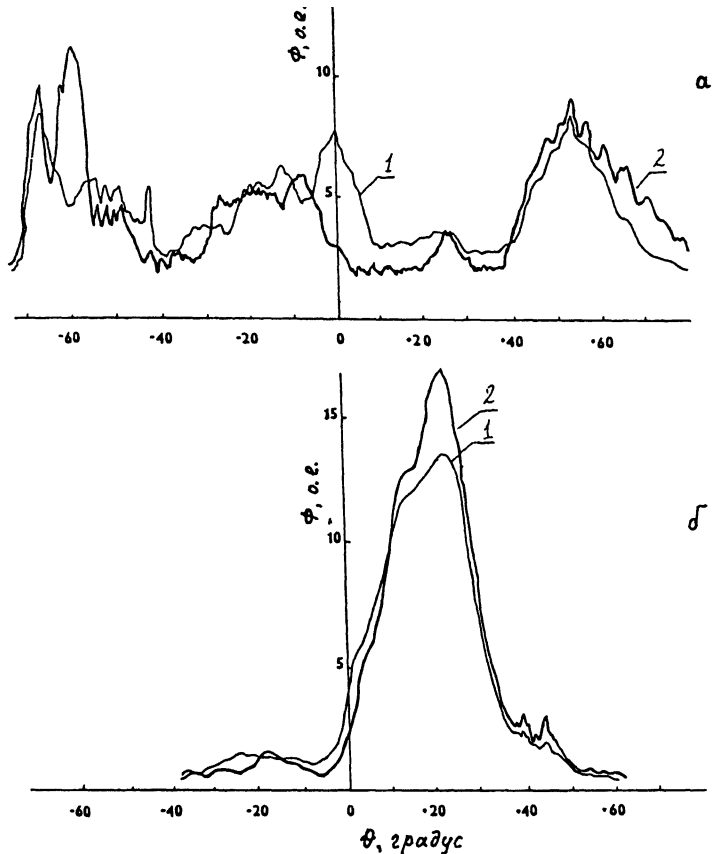


Рис. 3. Диаграмма направленности в плоскости кристалла в начале наработки 1 и через 5000 часов [2] для двух зарощенных  $InGaAsSb - GaSb$  гетеролазеров с различной длиной резонатора  $L$ , мкм; а - 440, б - 545.

Переключение равноправных мод шумами типа  $1/f$  изменяет диаграмму направленности, а, следовательно, и величину сигнала, принимаемого фотоприемником в ограниченном угле. В лазерах с малой длиной резонатора лучше выживают поперечные моды наиболее высоких порядков, т.к. усиление лазерной среды в них существенно превосходит поглощение света на основных носителях заряда. Поэтому в диаграмме направленности «коротких» лазеров преобладают боковые лепестки под большими углами. Преобладание какой-то одной моды делает малыми флуктуации интенсивности излучения.

Корреляцию между уменьшением флуктуации интенсивности излучения и увеличением интенсивности и остроты боковых лепестков при наработке, по-видимому, обусловлена уменьшением концентрации основных носителей заряда. Надо отметить, что в исследуемых лазерах поглощение когерентного излучения на основных носителях заряда весьма велико при температуре выше 200 К и приводит к уменьшению дифференциальной квантовой эффективности с ростом температуры [5]. Уменьшение концентрации основных носителей заряда в кристалле может происходить из-за их связывания глубокими уровнями дефектов, развивающихся при наработке.

Уменьшением поглощения когерентного излучения на основных носителях заряда можно объяснить и увеличение средней интенсивности излучения при фиксированном токе при наработке.

Таким образом, обнаружено в зарощенных  $InGaAsSb$  -  $GaSb$  гетеролазерах при наработке увеличение средней интенсивности излучения при фиксированном токе и уменьшение амплитуды ее флуктуации, обусловленное, по-видимому, развитием дефектов кристалла.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бочкарев Э.А., Долгинов Л.М., Дракин А.Е., Дружинина Л.В., Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н., Скрипкин В.А. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. В. 10. С. 2119-2120.
- [2] Datt V.V., Temkin H., Kolb E.D., Senger W.A. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 45. N 2. P. 111-113.
- [3] Баранов А.Н., Джуртанов Б.Е., Именков А.Н., Рогачев А.А., Шерняков Ю.М., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1986. Т.12. В. 2. С. 664-667.
- [4] Hulicius E., Abraham A., Pangrac J., Melichar K., Roskova L., Baranov A.N., Danilova T.N., Imenkov A.N., Jakovlev J.P. // Crystal Properties and Preparation. 1989. V. 19, p. 353-356.
- [5] Баранов А.Н., Данилова Т.Н., Джуртанов Б.Е., Именков А.Н., Конников С.Г., Литвак А.М., Уманский В.Е., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 18. С. 1671-1675.
- [6] Аветисов В.Г., Баранов А.Н., Именков А.Н., Надеждинский А.И., Хуснутдинов А.Н., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 14. С. 66-70.

Поступило в Редакцию

7 февраля 1991 г.