

ГОСКОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

№ 3294-В89

УДК 621.373.826.038.825.4

В.А.Боховкин, Н.В.Брагин, И.И.Виноградов, А.С.Логгинов,
С.В.Москвин

О ПРИЧИНАХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО СВЕТООВОГО ОТКЛИКА
ИНЪЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ШИРОКИМ КОНТАКТОМ

Москва 1989

Полупроводниковые инжекционные лазеры (ИЛ) с широким контактом являются легко управляемыми импульсными источниками излучения. Получение импульсов света с пиковой мощностью в десятки ватт не составляет серьёзной проблемы. Однако вопрос о стабильности светового отклика таких излучателей остаётся открытым. Строго заданные параметры световых импульсов (длительность, амплитуда, форма и т. д.) важны при использовании ИЛ в системах локации, наведения, оптической связи и т. д. Использование таких технологий выращивания полупроводниковых гетероструктур, как металлоорганический синтез [1] и молекулярно-пучковая эпитаксия [2 - 4] позволяет до минимума свести влияние неконтролируемых технологических несовершенств гетероструктур на рабочие характеристики ИЛ. Это подтверждают приведённые в указанных работах [1 - 4] характеристики изготовленных ИЛ, такие как высокая мощность излучения при хорошей однородности распределения интенсивности излучения в ближнем поле и небольшая (порядка единиц градусов) расходимость излучения в дальней зоне в плоскости гетероперехода при хорошей стабильности диаграммы направленности (ДН) излучения.

Целью настоящей работы явилось детальное изучение физических факторов, приводящих к нестабильности импульсного светового отклика ИЛ с широким контактом. Исследованные образцы ИЛ были изготовлены методом жидкофазной эпитаксии на основе двухсторонних гетероструктур в системе $GaAlAs / GaAs$ с плотностью порогового тока $2 + 2,5$ кА/см². Длина резонатора ИЛ составляла $L = 400 + 500$ мкм, ширина контакта $D = 350 + 400$ мкм. После припаивания кристаллов со стороны области P - типа на теплоотвод одно из зеркал резонатора покрывали отражающим покрытием SiO_2/Ag .

Накачка ИЛ осуществлялась различными способами. В частности, при накачке импульсами колесообразной формы амплитудой $6 + 8 I_{пор}$ длительностью по полувысоте 100 нс с частотой следования 6 кГц световой отклик, регистрируемый преобразователем ФК-20 и осциллографом С1-65, имел нестабильную амплитуду. Величина нестабильности, характеризуемая отношением $\frac{\delta P}{P_0}$, где P_0 - усреднённое по серии импульсов амплитудное значение мощности отклика, δP - величина фиксируемого на осциллограмме разброса амплитуд, достигала 20%.

Регистрация усреднённых по серии импульсов распределений интенсивности излучения ИЛ в ближнем поле не даёт возможность наблюдать мгновенные процессы развития генерации. Однако использование кремникона и телемонитора, кадровая развёртка которого синхронизирована с последовательностью импульсов тока накачки, благодаря стробоскопическому эффекту, позволило наблюдать от импульса к импульсу локальные увеличения или уменьшения интенсивности излучения отдельных участков активной области ИЛ, а также смещения локальных максимумов интенсивности, достигавшие $30 + 50$ мкм.

Детальное исследование процессов формирования структуры ближнего поля излучения ИЛ проводилось с использованием метода электронно-оптической хронографии. Изображение активной области ИЛ фокусировалось на фотокатод времяанализирующего электронно-оптического преобразователя УМИ-93 и разворачивалось во времени, при этом временное разрешение достигало 10^{-11} с; накачка ИЛ осуществлялась однократными прямоугольными импульсами тока длительностью до 200 нс, имеющими время нарастания $10 + 20$ нс.

Фотографии хронограмм ближнего поля излучения исследованных ИЛ представлены на рис. 1. Практически на всех фотографиях

различны каналы лазерной генерации, причиной появления которых является эффект самофокусировки [4 - 8], приводящий к появлению узких (5 + 10 мкм) каналов генерации, привязанных к локальным индуцированным (за счёт увеличения показателя преломления в местах лазерной генерации) максимумам показателя преломления активной области [5]. Разбиение широкой излучающей области на каналы генерации является одним из фундаментальных свойств ИЛ. В ИЛ с широким (сотни микрон) контактом, помимо самофокусировочной неустойчивости, на распределение интенсивности излучения в ближнем поле существенное влияние могут оказывать технологические неоднородности параметров активной области, в частности, её показателя преломления, являющиеся причиной появления неоднородностей в ближнем поле в пределах сравнительно широких (десятки микрон) участков активной области.

Анализ хронограмм рис. I показывает, что по уровню накачки можно выделить три области, отличающиеся закономерностями формирования структуры ближнего поля излучения ИЛ:

1. $I \approx I_{\text{пор}}$. При уровнях тока накачки, близких к пороговому значению $I_{\text{пор}}$, генерация возбуждается в отдельных участках активной области - каналах (рис. I. а, д). Положение каналов, совпадающее с пространственным положением локальных максимумов профиля показателя преломления $n(y)$ (ось y расположена в плоскости активной области параллельно зеркалам лазерного резонатора), не изменяется во времени.

2. $I_{\text{пор}} < I < 3I_{\text{пор}}$. Генерация возбуждается в новых каналах и группах каналов (рис. I. б, е). Начиная с $1,5I_{\text{пор}}$ каналы генерации заполняют практически всю активную область за исключением участка шириной 40 + 60 мкм (рис. I. в, ж). Такой

"тёмный" участок, а их может быть несколько, расположен в окрестности локального минимума $n(y)$. Пространственное положение большинства каналов генерации уже не сохраняется неизменным в течение действия импульса накачки, за исключением каналов, группирующихся в окрестности локальных максимумов $n(y)$ (рис. I.б,е - верхние группы каналов). Причиной этого является сильная локальная зависимость показателя преломления и усиления среды от концентрации носителей $N(y)$, разогрева активной области, мощности излучения и других факторов. В результате каналы генерации нелинейно взаимодействуют друг с другом путём выжигания инверсной населённости полем излучения соседних каналов и локального разогрева активной области. При этом изменяется профиль распределения усиления среды и зависимость $n(y)$, что приводит к смещению каналов генерации, которые рассредоточиваются в пределах активной области, занимая в каждый момент времени наиболее энергетически выгодное положение. Невозможность эффективно контролировать взаимодействие каналов генерации в ИЛ с широким контактом обуславливает нерегулярный характер их взаимодействия, приводящего к возникновению пульсаций интегральной интенсивности излучения с характерными временами наносекундного диапазона и искажению светового отклика ИЛ.

3. $3I_{\text{пор}} < I < 10I_{\text{пор}}$. Распределение интенсивности излучения стабилизируется почти по всей активной области. Исключение составляет "тёмный" участок шириной $20 + 40$ мкм, координата которого флуктуирует вблизи положения минимума зависимости $n(y)$ (рис. I.г,з) при возникновении и исчезновении на краях "тёмного" участка отдельных каналов генерации, практически неразличимых в остальной части активной области ИЛ. Ширина "тёмно-

го" участка пульсирует, в отдельные моменты уменьшаясь практически до нуля, при этом интегральная интенсивность излучения ИЛ также пульсирует.

ДН излучения ИЛ с широким контактом, формирующаяся в результате суперпозиции ДН отдельных каналов, имеет полную ширину, усреднённую за время действия импульса тока накачки, около 10° в плоскости гетероперехода, что более чем на порядок величины превышает дифракционный предел λ/D .

Измерения неоднородности профиля $n(y)$ активной области ИЛ с широким контактом основаны на регистрации спектрально-пространственного распределения интенсивности излучения лазерных диодов, работающих в предпороговом режиме генерации, то есть наблюдении полос сверхизлучения [9]. Наклон полос сверхизлучения $d\lambda_q/dy$ (q - индекс продольной моды) связан с наклоном профиля показателя преломления dn/dy соотношением:

$$\frac{(dn/dy)\lambda}{d\lambda_q/dy} = \frac{\lambda}{2L\Delta\lambda_q}; \quad (1)$$

где L - длина резонатора, λ - длина волны излучения, $\Delta\lambda_q$ - интервал между соседними типами продольных колебаний резонатора. Оценка вариаций показателя преломления активной области для ИЛ № I даёт следующие значения. При $L = 450$ мкм,

$$\lambda = 0,86 \text{ мкм}, \quad \Delta\lambda_q = 2,3 \text{ \AA} \text{ найдём:}$$

$$\frac{dn/dy}{d\lambda_q/dy} \approx 4,2 \times 10^{-4} \text{ \AA}^{-1}. \quad (2)$$

Тогда для точек А, В, С и D активной области этого лазера (рис. 2.а): $\Delta\lambda_{AB} = 0,6 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda_{BC} = 2,0 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda_{CD} = 0,8 \text{ \AA}$ и $\Delta\lambda_{AC} = 2,6 \text{ \AA}$, что соответствует $\Delta n_{AB} = 2,5 \times 10^{-4}$, $\Delta n_{BC} = 8,4 \times 10^{-4}$, $\Delta n_{CD} = 3,4 \times 10^{-4}$ и $\Delta n_{AC} = 1,09 \times 10^{-3}$. В окрестности точек А и

$d = 5-10 \text{ мкм}$
 $D = 300 \text{ мкм}$
 $(6 \div 12)^\circ$

В рассматриваемого ИЛ при $I \approx I_{\text{пор}}$ формируются первые каналы генерации (рис.1.а). При повышении уровня накачки новые каналы возникают в окрестности точки D (рис.1.б). "Тёмный" участок расположен в окрестности минимума показателя преломления (точка C) при всех заданных уровнях накачки.

Следует отметить, что индуцированные вариации профиля $n(y)$ в окрестности формирующихся каналов генерации, вызванные его локальной зависимостью от концентрации носителей $N(y)$ и разогрева активной области также могут иметь порядок величины 10^{-3} [5, 10, 11]. Мгновенный профиль $n(y)$ формируется при наложении изменяющейся во времени его индуцированной неоднородности на технологическую.

Известно [12 - 14], что в окрестности гладкого максимума показателя преломления активной области ИЛ возможно появление эквидистантного спектра частот поперечных типов колебаний и их самосинхронизация. При этом должно происходить периодическое перемещение области генерации по зеркалу резонатора и качание ДН излучения [14]. Частота такого перемещения равна разности частот соседних поперечных типов колебаний.

На рис.2.в приведена фотография спектра когерентного излучения ИЛ № I на пороге возбуждения генерации. На фотографии видно несколько спектральных групп, соответствующих различным продольным типам колебаний. Каждая группа (в окрестности точки B) состоит из линий, соответствующих различным поперечным типам колебаний. Спектральный интервал между соседними поперечными типами колебаний $\Delta \lambda_{\nu}$ (ν - индекс поперечной моды) находится на пределе разрешения спектрографа.

На рис.3.а представлена хронограмма ближнего поля излучения ИЛ № I. Частота близкого к периодическому перемещения его

излучающей области равна 3,8 ПГц, что при длине волны излучения 0,86 мкм соответствует спектральному интервалу $\Delta\lambda_c = 0,09 \text{ \AA}$. Характерные "провалы" интенсивности излучения вдоль оси Y появляются в результате взаимодействия ограниченного числа поперечных мод, в случае рис.3.а таких поперечных мод четыре.

Другой пример явления самосинхронизации поперечных типов колебаний, наблюдавшегося практически у всех исследованных ИЛ, приведён на рис.3.б. Характер перемещений излучающей области отличается от строгопериодического, что свидетельствует о непостоянстве фазовых соотношений между взаимодействующими типами колебаний. Причина этого заключается в сильной локальной зависимости параметров активной области от различных факторов, о чём говорилось выше. В результате условия, при которых происходит генерация, не сохраняются постоянными во времени и интегральная интенсивность излучения ИЛ нерегулярно пульсирует с характерными временами субнаносекундного диапазона.

Результаты исследований ИЛ с широким контактом являются хорошей иллюстрацией влияния самофокусирующей неустойчивости активной области при неоднородности оптических свойств резонатора на рабочие характеристики ИЛ. Сложное динамическое поведение каналов генерации ИЛ обуславливается неоднородностью параметров активной области и их сильной локальной зависимостью от уровня накачки и мощности оптического излучения. Отсутствие эффективного контроля профилей $n(y), N(y)$ приводит к непредсказуемому изменению структуры ближнего поля излучения ИЛ как от импульса к импульсу, так и за время действия отдельных импульсов тока накачки. Повышение стабильности режима генерации ИЛ с широким контактом возможно, конечно, в какой-то степени за счёт использования более совершенных технологий [1 - 4]. Однако, помимо снижения уровня технологических не-

однородностей, необходимо ввести в структуру ИЛ механизм, ини-
цирующий и контролирующий каналы генерации, например, как это
предложено в работе [8]. Жёсткий контроль положения каналов
генерации и способа их связи может быть осуществлён в многоэле-
ментных фазированных инжекционных лазерах [15], обладающих
хорошими потенциальными возможностями для контроля ближнего
поля излучения, спектра излучения, формирования остронаправ-
ленной в плоскости гетероперехода ДН за счёт реализации син-
фазного режима работы целенаправленно сформированных каналов
генерации [16, 17].

Литература:

1. M.Sakamoto, Y.Kato. High-power (710 mW cw) single-lobe operation of broad area Al Ga As double heterostructure lasers grown by metalorganic chemical vapor deposition. // Appl. Phys. Lett. - 1987. - V. 50. - P. 869 - 870.
2. W.T.Tsang. Symmetric separate confinement heterostructure lasers with low threshold and narrow beam divergence by M.B.E. // Electron. Lett. - 1980. - V. 16. - P. 939 - 941.
3. A.Larsson, M.Mittelstein, Y.Arakawa, A.Yariv. High-efficiency broad-area single-quantum-well lasers with narrow single-lobed far-field patterns prepared by molecular beam epitaxy. // Electron. Lett. - 1986. - V. 22. - P. 79 - 81.
4. A.Larsson, J.Salzman, M.Mittelstein, A.Yariv. Lateral coherence properties of broad-area semiconductor quantum well lasers. // J. Appl. Phys. - 1986. - V. 60. - P. 66 - 68.
5. G.H.B.Thompson. A theory for filamentation in semiconductor lasers, including the dependence of dielectric constant on injected carrier density. // Opto-electronics. - 1972. - V. 4. - P. 257 - 310.
6. D.Mehuys, M.Mittelstein, J.Salzman, A.Yariv. Saturable nonlinear dielectric wave guide with applications to broad-area semiconductor lasers. // Opt. Lett. - 1987. - V. 12. - P. 953 - 955.
7. D.Mehuys, R.J.Lang, M.Mittelstein, J.Salzman, A.Yariv. Self-stabilized nonlinear lateral modes of broad area lasers. // IEEE Journ. of Quant. Electron. - 1986. - V. QE-23. - P. 1909 - 1920.
8. J.Salzman, A.Larsson, A.Yariv. Phase-locked controlled filament laser. // Appl. Phys. Lett. - 1986. - V. 49. - P. 611 - 613.

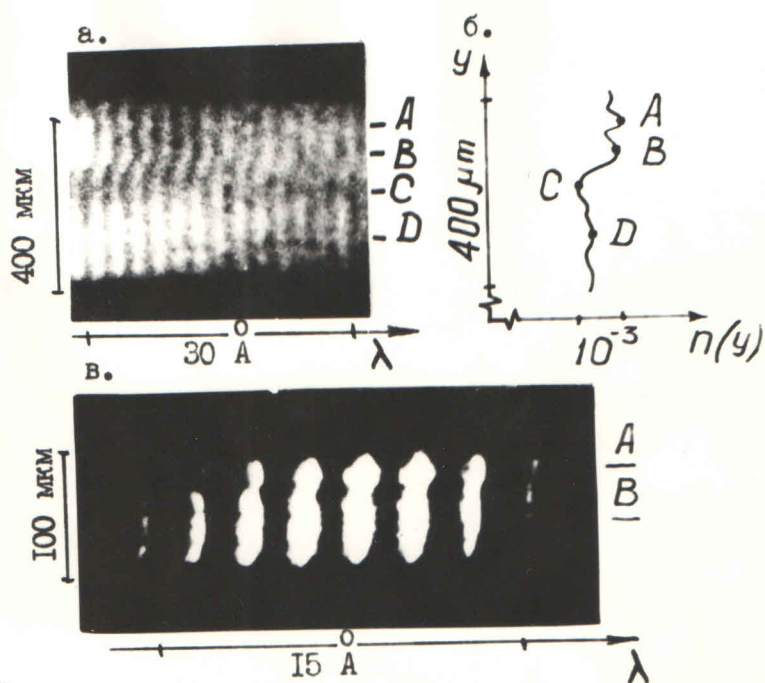


Рис.2. Спектрально-пространственное распределение интенсивности спонтанного излучения ИЛ № 1 при $I \leq I_{\text{пор}}$ (а); реконструкция профиля $n(y)$ (б) и спектр когерентного излучения при $I \geq I_{\text{пор}}$ в окрестности максимумов $n(y)$, соответствующих точкам А и В .

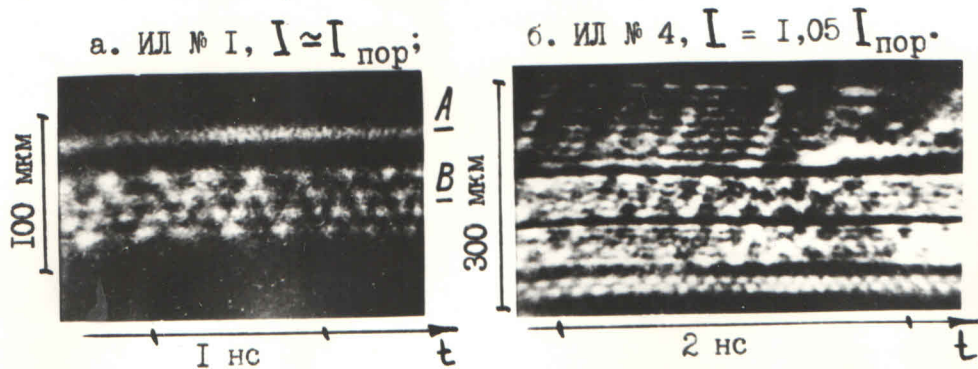


Рис.3. Близкие к периодическим перемещения области генерации по зеркалу резонатора вследствие самосинхронизации поперечных типов колебаний.

- 14 -

Печатается в соответствии с решением Учёного совета
Отделения радиофизики физического факультета Московского
государственного университета им. М.В.Ломоносова
от 21 апреля 1989 года.

В печать № 35.89г

Тир. 1

Цена

2 руб. 40 коп. Зак. 32792

Производственно-издательский комбинат ВИНТИ

Люберцы, Октябрьский пр., 403