

06.3

© 1990

ИЗМЕРЕНИЕ ШИРИНЫ ЛИНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ  
ДЛИННОВОЛНОВЫХ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ  
НА ОСНОВЕ *GaInAsSb*В.Г. Аветисов, А.Н. Баранов,  
А.Н. Именков, А.И. Надеждинский,  
А.Н. Хуснутдинов, Ю.П. Яковлев

Инжекционные лазеры на основе *GaInAsSb*, работающие в диапазоне 1.8–2.4 мкм, являются очень перспективными источниками излучения не только для оптической волоконной связи, но и для молекулярной спектроскопии высокого разрешения. Появление этих лазеров открывает новую и чрезвычайно интересную область — спектральный диапазон, в котором лежат обертоны и комбинационные переходы в молекулах. Кроме того, многие газы в этой области имеют значительное поглощение, поэтому вполне реальной становится возможность создания на основе этих лазеров газоанализаторов, работающих при комнатной температуре. Для всех применений важной является информация о качестве ИЛ, как источника когерентного излучения, которое практически всегда определяется спектром его частотных шумов. В настоящей работе впервые измерен спектр шума частоты и ширина линии излучения ИЛ на основе *GaInAsSb*, работающих в диапазоне 1.8–2.4 мкм.

Для измерения ширины линии генерации длинноволновых лазеров на основе *GaInAsSb* были отобраны два типа лазерных структур [1, 2]: каналный зарощенный лазер с серповидной активной областью (рис. 1, а,б) и полосковый лазер (рис. 1, в,г). Такие лазеры различались не только способом формирования волноводного канала, а также и содержанием  $Al$  в эмиттерных слоях. В структурах, изображенных на рис. 1, а, б, содержание  $Al$  в эмиттерных слоях составляло  $X \approx 0.34$ , а в структурах (рис. 1, в, г) —  $X \approx 0.5$ . В лазерах обоих типов генерировалась только продольная мода. В интервале токов, превышающих пороговый на 10–50 %, генерация происходила практически в одномодовом режиме.

Методика измерения состоит в использовании линии поглощения газа в качестве амплитудно-частотного дискриминатора и аналогична методикам [3, 4]. Лазеры устанавливались в прокачной криостат, снабженный регулятором температуры, что позволяло устанавливать любую температуру в диапазоне 80–320 К и поддерживать ее с точностью около  $10^{-3}$  К. Фотоприемник на основе *GaInAsSb* имел следующие параметры: область чувствительности — 1.3–2.4 мкм, квантовая эффективность — 0.6, шумовой ток —

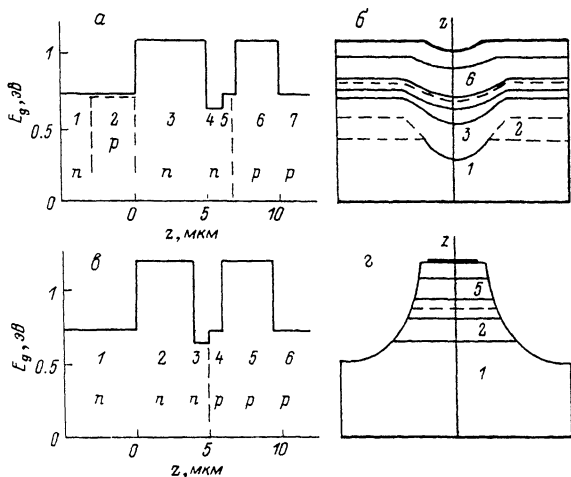


Рис. 1. Гетеролазеры на основе  $GaInAsSb$ . Изменение ширины запрещенной зоны по толщине структуры и схема расположения слоев в канальном зарощенном лазере с серповидной активной областью (а, б) и полосковом лазере (в, г).

$\sim 0.5$  нА./Гц $^{-1/2}$ , размер площадки –  $0.1$  мм $^2$ , быстродействие –  $1$  нс. Быстродействие предусилителя  $\tau_u$  составляло  $70$  нс. Питание лазера осуществлялось прямоугольными импульсами тока длительностью до  $10$  мс и частотой повторения  $10$  Гц и более. Относительные шумы источника тока (генератор импульсов Г5-60) не превышали величину  $(\langle I_u^2 \rangle)^{1/2}/I \leq 10^{-6}$  в полосе  $100$  Гц– $100$  кГц. Излучение лазера коллимировалось объективом, пропускалось через кювету с газом или интерферометр Фабри–Перо и фокусировалось на фотоприемник. В течение импульса накачки частота излучения ИЛ перестраивается, поэтому сигнал фотоприемника представляет собой развернутый во времени спектр пропускания кюветы. В качестве примера на рис. 2 представлен участок сигнала с линией поглощения  $CO_2$  (полоса  $00^{\circ}0-20^{\circ}1$ ,  $\lambda = 1.97$  мкм) (а) и спектр пропускания эталона Фабри–Перо (в), зарегистрированный для определения частотного масштаба.

Для регистрации шума частоты использовалось два метода. Первый заключается в регистрации участка сигнала фотоприемника в области склона линии поглощения (см. вставку на рис. 2), где функция  $\frac{\partial \varphi}{\partial \omega}$  имеет максимум. Регистрация и запись в память

ЭВМ нескольких реализаций производилась с помощью аналого-цифрового преобразователя Ф-4226 (8 бит, 1 кбайт памяти, максимальная частота дискретизации  $20$  МГц). Для каждой реализации вычислялся спектр, который усреднялся затем по  $20-25$  реали-

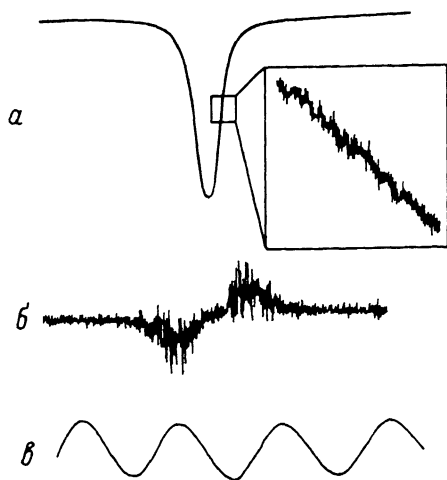
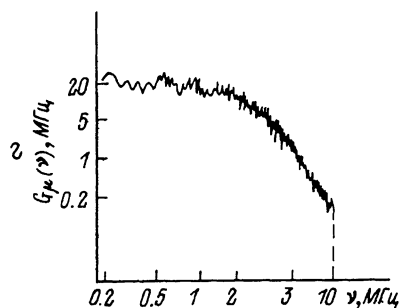


Рис. 2. а) Линия поглощения  $\text{CO}_2$  (полоса  $00^0_0-20^0_1$ ,  $\lambda = 1.97$  мкм), давление  $\text{CO}_2 = 10$  Тор, длина кюветы - 1 м. б) „Дифференцированная“ линия поглощения. Шум частоты промодулирован функцией  $\frac{\partial x}{\partial \nu} \exp(-x(\nu))$ .

в) Спектр пропускания эталона Фабри-Перо.

На вставке - регистрируемый участок склона линии поглощения.

г) Спектр флуктуаций частоты длинноволнового гетеролазера.



зациям (рис. 2). Спад спектральной плотности шума выше 2 МГц определяется видом АЧХ предусилителя, которая удовлетворительно описывается функцией  $((1 + (2\pi\nu)\tau)^2)^{-1}$ . Как видно из рис. 2, г, в области частот 200 кГц - 2 МГц в спектре частотных шумов преобладает „белый“ шум. С

другой стороны, известно, (см. например, [6]), что для лазеров на основе соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$  шум частоты является белым вплоть до частот порядка 1 ГГц. В этом случае ширина линии лазера  $\Delta\nu = \pi G_\mu(0)$ , где  $G_\mu(\nu)$  - определенный для положительных частот спектр процесса  $\mu(t)$ , описывающего флуктуации частоты. Данное обстоятельство позволяет также применять гораздо более удобный и оперативный второй подход, который заключается в измерении интегральной характеристики частотного шума лазера - дисперсии внутри полосы пропускания предусилителя. Для этого сигнал подавался на фильтр низких частот (дифференцирующая цепочка с постоянной времени  $\tau_d$ ,  $\tau_d \gg \tau_u$ ) и измерение дисперсии шума производилось затем по осциллограмме (см. рис. 2, б). Видно, что в результате дифференцирования огибающая линии поглощения устраняется, а шум оказывается промодулирован функцией  $\frac{\partial x}{\partial \nu} \exp(-x(\nu))$ .

При этом происходит подавление низкочастотной части спектра частотных шумов по закону  $1/(1 + (2\pi\nu)\tau_d)^2$ . В тех же предположениях о спектре шума и пока  $\tau_d \gg \tau_u$  фильтр низких частот не изменяет измеряемую дисперсию шума. В эксперименте постоянная времени  $\tau_d$  уменьшается до тех пор, пока не начнет падать амплитуда частотного шума (см. рис. 1, б).

№	Лазер	Конструкция	T, K	мА	мВт	МГц
1	Д307/184	канальный зарощенный	250	120	0.8	66
2	Д307/184		120	56	1.1	11
3	С61-11	полосковый	90	175	4.0	3.3
4	С61-8		100	300	5.3	25

В таблице содержится информация об исследованных нами лазерах и режимах их работы.

Для лазера Д307/184 при температуре 250 К (№ 1 в таблице) были реализованы оба подхода, т.е. проведены измерения и спектра шума частоты, и дисперсии с помощью дифференцирующей цепочки. Полученные значения  $G_{\mu}(0)$  совпали с точностью 10%, что позволило в дальнейшем определять ширину линии только по измерениям дисперсии. Следует отметить, что данным методом измерение ширины линии ИЛ производится за времена порядка десятков микросекунд.

Из данных таблицы следует, что ширина линии длинноволновых ИЛ на основе  $GaInAsSb$  может изменяться более чем на порядок. Видно, что ширина линии падает с уменьшением температуры и увеличением мощности излучения лазеров, чего и следовало ожидать, исходя из формулы Шавлова-Таунса. Следует отметить также, что лазеры С61 (№ 3 и 4 табл. 1) имели ярко выраженную особенность на ватт-амперной характеристике - с ростом тока накачки мощность излучения увеличивалась скачком не менее, чем на порядок, и данные таблицы относятся именно к этому режиму.

На наш взгляд, подобное поведение может быть связано с наличием самосогласованных квантово-размерных потенциальных ям, характерных для гетероструктур 11 типа на основе  $GaInAsSb$ . Действительно, коллективные явления в квантово-размерных потенциальных ямах должны приводить к сужению линии генерации лазера.

В заключение авторы благодарят А.А. Рогачева за полезные дискуссии и поддержку данной работы.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Баранов А.Н., Джуртанов Б.Е., Именков А.Н., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 8. С. 614-618.
- [2] Баранов А.Н., Джуртанов Б.Е., Именков А.Н., Рогачев А.А., Шерняков Ю.Н., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1986. Т. 20. № 12. С. 2217-2221.
- [3] Reid J., Cassidy D.T., Menzies // Appl. Opt. 1982. V. 23. P. 23.

- [4] Надеждинский А.И., Степанов Е.В., Засавицкий И.И., Косичкин Ю.В., Шстов А.П. // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 2.
- [5] Андреев И.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 12 (14). № 21 (11). С. 1311-1315 (986-991).
- [6] Osinskii M., Bus J. // IEEE J. Quantum Electron. 1987. V. QE-23. N 1. P. 9-28.

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

Поступило в Редакцию  
28 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

06.3: 12

© 1990

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ  
ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА "ИНЖЕКЦИОННЫЙ ЛАЗЕР -  
ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР" НА ОСНОВЕ  
ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ *AlGaAs/GaAs*

В.Б. Афанасьев, С.А. Гуревич,  
А.Л. Закгейм, Ю.А. Лифшиц,  
В.М. Марахонов, В.П. Хвостиков,  
И.Э. Чебунина, Б.С. Явич

Одной из возможностей существенного увеличения быстродействия ЭВМ является замена электрических каналов связи между отдельными кристаллами, платами, блоками и т.д. на оптические, с помощью которых может быть достигнута очень большая скорость передачи информации. Важным звеном, осуществляющим оптические связи в ЭВМ, должны стать оптоэлектронные интегральные схемы (ОЭИС) [1], в которых электрические сигналы формируются транзисторами, а преобразование электрических сигналов в оптические и наоборот осуществляется инжекционными лазерами и фотоприемниками. Поскольку оптические каналы связи становятся эффективными при скорости передачи информации свыше 1 Гбит/с элементы ОЭИС (транзисторы, инжекционные лазеры, фотоприемники) должны иметь достаточно широкую полосу рабочих частот. Как показано в [2], на частотах выше 3-5 ПГц необходимы именно ОЭИС, так как в их гибридных аналогах наличие паразитных индуктивностей может приводить к значительному искажению формы сигналов.

В работе сообщается о создании ОЭИС, в которой низкорого-  
вый инжекционный лазер (ИЛ) на основе гетероструктуры  
*AlGaAs/GaAs* с квантоворазмерным активным слоем и быстро-