

06

Источники излучения в средней инфракрасной области спектра на основе связанных дисковых резонаторов

© Е.А. Гребенщикова, В.В. Шерстнев, М.И. Ларченков,
О.Ю. Серебренникова, Н.Д. Ильинская, А.М. Монахов,
R. Teissier, А.Н. Баранов, Ю.П. Яковлев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Institut d'Electronique du Sud (IES), Université Montpellier 2, CNRS, IES
(UMR CNRS 5214), 34095 Montpellier, France
E-mail: eagr.iropt7@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 28 ноября 2011 г.

Созданы источники ИК-излучения, представляющие собой оптически связанные дисковые лазеры с активной областью на основе квантово-размерных гетероструктур GaInAsSb/AlGaAsSb. Показано, что такой источник излучения позволяет достичь одномодовой генерации в оптически связанных резонаторах, работающих на модах шепчущей галереи. Определены условия возникновения генерации лазерного излучения, зависящие от расстояния между двумя оптически связанными в пару дисковыми резонаторами.

В настоящее время возникла острая потребность в одномодовых источниках излучения, работающих в средней ИК-области спектра ($2\text{--}5\ \mu\text{m}$), для диодно-лазерных спектрометров высокого разрешения. В данном спектральном диапазоне лежат характеристические линии поглощения значительного числа ядовитых и вредных газов и жидкостей, взрывчатых веществ и т.п. [1]. Однако преимущества оптического детектирования таких веществ не используются в полной мере из-за отсутствия простых источников когерентного излучения этого диапазона длин волн.

Выход из сложившейся ситуации можно найти на пути создания дисковых полупроводниковых лазеров среднего ИК-диапазона с высокодобротным резонатором, работающим на модах шепчущей галереи (от английского whispering gallery mode — WGM) и позволяющим получить генерацию в средах с малым оптическим усилением.

По сравнению с другими полупроводниковыми лазерами, такими как квантово-каскадные и вертикально-излучающие, дисковые лазеры значительно дешевле, поскольку технология их изготовления приближена к технологии изготовления светодиодов.

В работе [2] сообщалось о создании дискового лазера на длину волны излучения $\lambda \approx 2.4 \mu\text{m}$ ($T = 300 \text{ K}$), работающего на модах шепчущей галереи. Один из недостатков такого лазера заключается в том, что лазерное излучение имело многомодовую структуру, что затрудняло его использование для задач лазерной спектроскопии.

Целью данной работы является достижение одномодовой генерации в источниках излучения, созданных на оптически связанных в пару дисковых резонаторах, работающих на модах шепчущей галереи.

Для изготовления лазеров использовалась квантоворазмерная гетероструктура, выращенная методом молекулярно-пучковой эпитаксии на установке RIBER Compact 21E на подложке GaSb (100) *n*-типа [3]. Активная область толщиной 856 nm состава $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$ содержала две напряженные квантовые ямы шириной 10 nm разного состава GaInAsSb. Премыкающие к активной области широкозонные слои толщиной 1.0 μm *p* (Be)- и *n* (Te)- $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.92}$ легировались примесями до концентрации носителей заряда $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. За широкозонными слоями следовали варизонные слои AlGaAsSb толщиной 100 nm для улучшения инжекции носителей заряда в активную область. В качестве верхнего контактного слоя структуры выращивался слой *p*-GaSb толщиной 475 nm, легированный бериллием до концентрации $p = 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Из выращенной структуры были сформированы лазерные чипы со сдвоенными резонаторами в виде дисков. Лазерные чипы различались как по величинам диаметра дисковых резонаторов, так и по расстоянию между дисками. Для этого применялся метод фотолитографии с последующим жидкостным химическим травлением. На поверхность гетероструктуры был нанесен слой фоторезиста, в котором фотолитографическим методом был создан рисунок в виде кругов диаметром 200 μm , расположенных попарно на расстоянии 3 или 10 μm друг от друга. Для кругов диаметром 400 μm расстояния были аналогичные. Затем поверхность гетероструктуры со сформированным на ней рисунком была протравлена в селективном травителе на основе хромового ангидрида. В результате травления на поверхности гетероструктуры были сформированы мезы в форме диска высотой 7 μm с диаметрами

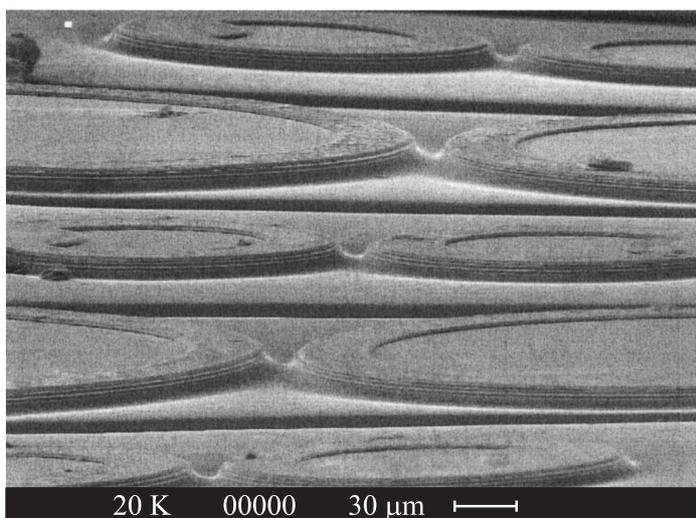


Рис. 1. Микрофотография оптически связанных дисковых резонаторов диаметром 200 и 400 μm .

окружности, близкими к 200 и 400 μm . Расстояние между дисками после травления увеличилось. В случаях, когда исходное расстояние было 3 μm , после травления оно составило 8 μm для дисков с диаметром 400 μm и 10 μm для дисков с диаметром 200 μm . В случаях, когда исходное расстояние между дисками было 10 μm , после травления расстояние достигло 16 μm для дисков с диаметром 400 μm и 20 μm для дисков с диаметром 200 μm (рис. 1).

Боковые поверхности дисковых меза-структур имели выпуклые участки, выступавшие на 1 μm за пределы стенки диска. В этих выпуклых участках находился активный слой выращенной структуры. Лазерный чип с оптически связанными резонаторами в форме диска показан на фотографии, полученной с помощью электронного микроскопа (рис. 2).

Для формирования омических контактов на обе стороны гетероструктуры методом термического вакуумного напыления наносили Cr–Au–Ni–Au. Со стороны подложки контакт был сплошным, со

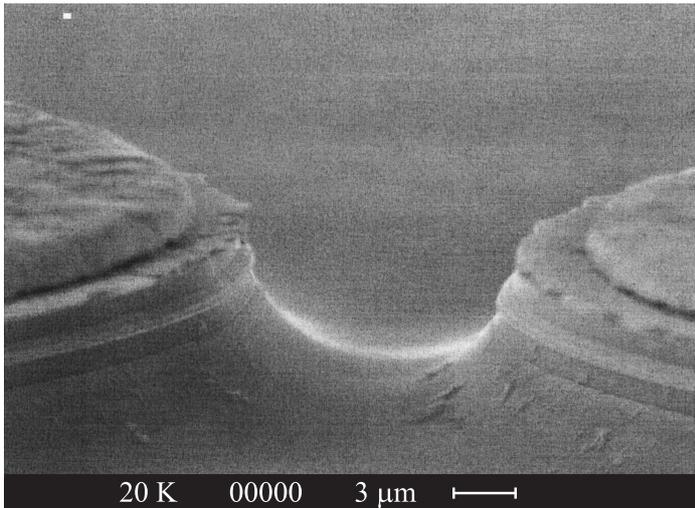


Рис. 2. Микрофотография оптически связанных дисковых резонаторов высотой $7\ \mu\text{m}$, активная область двойной гетероструктуры выступает на $1\ \mu\text{m}$ за пределы стенки резонатора.

стороны эпитаксиального слоя контакт представлял собой кольцо шириной $30\ \mu\text{m}$, расположенное на поверхности каждой дисковой мезы и отстоящее от края мезы на $3\text{--}5\ \mu\text{m}$.

В целях увеличения толщины слоя металлизации до $\sim 2\ \mu\text{m}$ на кольцевой контакт дополнительно электрохимическим методом осаждалось золото. Затем структура подвергалась термообработке в среде водорода для сплавления металлических слоев.

Кристалл припаивался на корпус ТО-18 с помощью индия. Излучение собиралось параболическим отражателем.

Объектом исследования были источники излучения на основе наногетероструктуры в форме двух дисков с разным расстоянием (в интервале $8\text{--}20\ \mu\text{m}$) между дисками.

Источники ИК-излучения, собранные из чипов с оптически связанными резонаторами, имели диодные характеристики с напряжением отсечки $\sim 0.45\ \text{V}$ при комнатной температуре и дифференциальное сопротивление порядка $0.8\text{--}1.0\ \Omega$.

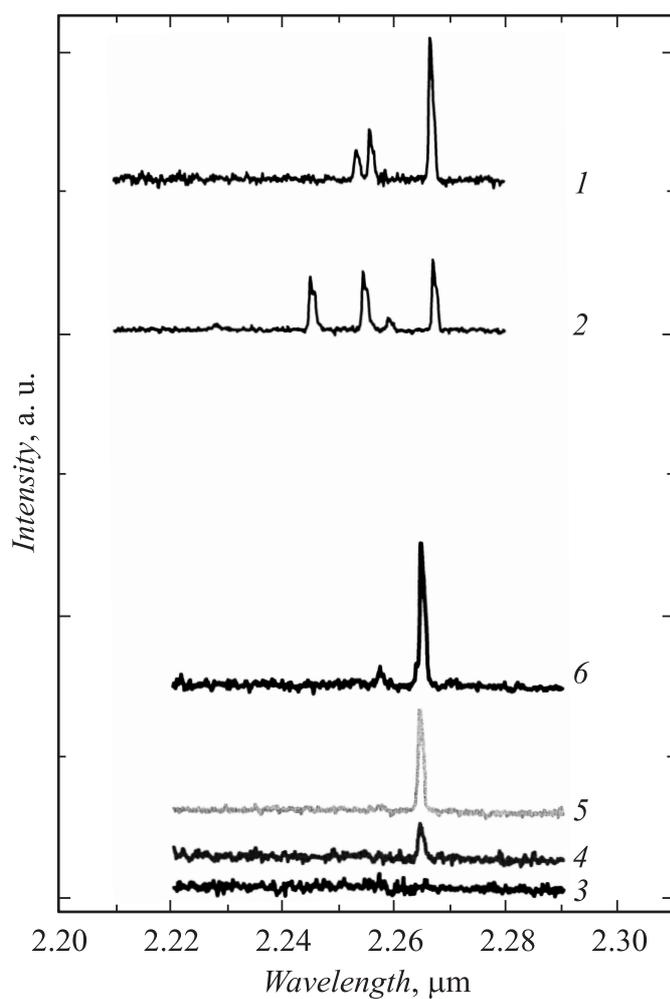


Рис. 3. Спектры излучения ИК-источника на оптически связанных дисковых резонаторах. Спектры 1, 2 соответствуют многомодовой генерации при подаче тока ($I = 300$ mA) на первый (1) или второй (2) резонаторы по отдельности, спектры 3–6 — одномодовой генерации при одновременной подаче тока на оба диска, расположенных на расстоянии L , где $8 \leq L < 5\lambda$ (при разных токах накачки: спектр 3 — 250 mA, 4 — 300 mA, 5 — 350 mA, 6 — 400 mA).

Для изучения модовой структуры спектров лазеров использовался двухрешеточный спектрометр марки ДФС-32. Излучение регистрировалось охлаждаемым InSb-фотодиодом модели P5968-060. В качестве предварительного усилителя использовался прибор C4159-01 фирмы Hamamatsu. Измерения проводились по схеме синхронного детектирования с использованием прибора Stanford Research типа SR810. Спектры снимались с разрешением 2 \AA . Спектры электролюминесценции WGM-лазеров изучались в непрерывном режиме. Через лазеры пропускался ток величиной от 5.0 до 300 мА. Измерения проводились при комнатной температуре.

Исследования показали, что, если расстояние между дисковыми резонаторами L превышает пять длин волн излучения лазера ($L > 5\lambda$), что составляет в данном случае $12 \mu\text{m}$, в режиме лазерной генерации при подаче напряжения как на один из дисковых резонаторов, так и на два резонатора одновременно наблюдается только многомодовая генерация когерентного излучения.

Для случая, когда расстояние между дисковыми резонаторами удовлетворяет условию $8 \leq L < 5\lambda$, при подаче напряжения на один из двух дисковых резонаторов наблюдается только многомодовая генерация (рис. 3, спектр 1, 2), а при одновременном включении двух дисковых резонаторов происходит выделение одной моды и лазерная система входит в одномодовый режим генерации (рис. 3, спектры 3–6).

Таким образом, впервые было установлено, что в полупроводниковом источнике инфракрасного излучения с двумя оптически связанными дисковыми резонаторами при соблюдении условий, когда расстояние L между дисковыми резонаторами не превосходит 5 длин волн излучения $8 \leq L < 5\lambda$, при подаче напряжения одновременно на оба дисковых резонатора происходит выделение одной моды и лазерная система входит в одномодовый режим генерации [4].

Работа частично поддержана программой президиума РАН № 27 „Основные фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов“, грантами РФФИ 10-02-93110-НЦНИЛ_а, 10-02-00548-а, а также государственным контактом № 02.740.11.0445.

Список литературы

- [1] *Надеждинский А.И.* // Доклад на 10-м Общероссийском семинаре по диодной лазерной спектроскопии им. А.М. Прохорова (ДЛС-10). 2008. <http://www.dls.gpi.ru/rus/sem/10/Nad.pdf>
- [2] *Гребеницкова Е.А., Ильинская Н.Д., Шерстнев В.В., Монахов А.М., Астахова А.П., Яковлев Ю.П., Boissier G., Teissier R., Баранов А.Н.* // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 21. С. 27.
- [3] *Yarekha D.A., Glastre G., Perona A., Rouillard Y., Genty F., Skouri E.M., Boissier G., Grech P., Joullie A., Alibert C., Baranov A.N.* // Electron. Lett. 2000. V. 36. N 6. P. 537–539.
- [4] *Sherstnev V.V., Monakhov A.M., Grebenshikova E.A., Baranov A.N., Yakovlev Yu.P.* Semiconductor source of infrared radiation (варианты). Pat. МПК2011:Н01S 5/34 Н01L33/00. (Заявка на изобретение № 2011124703, приор. от 16.06.2011, входящий № 036481).