

06;07

Визуальное наблюдение частотной перестройки диодного лазера на основе мод шепчущей галереи при комнатной температуре

© А.Н. Именков, В.В. Шерстнев, М.А. Сиповская,
Е.А. Гребенщикова, А.М. Монахов, G. Boissier,
R. Teissier, А.Н. Баранов, Ю.П. Яковлев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург,
Россия

Institut d'Electronique du Sud (IES), Université Montpellier 2, CNRS, IES
(UMR CNRS 5214),

34095 Montpellier, France

E-mail: v.sherstnev@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 23 июля 2009 г.

Осуществлено прямое наблюдение увеличения длины волны излучения полудискового диодного WGM-лазера в процессе импульса питающего тока. Исследована частотная перестройка WGM-лазера ($2.35\ \mu\text{m}$) с секторным резонатором. Обнаружено, что в процессе протекания импульса тока длительностью до $1.5\ \mu\text{s}$ наблюдается плавная перестройка длины волны излучения основной моды в длинноволновую сторону на $30\ \text{\AA}$ при комнатной температуре.

PACS: 85.30.z, 42.79.-e, 42.55.Px

В последние годы интенсивно развиваются исследования по созданию WGM-лазеров, генерирующих излучение в средней ИК-области спектра ($2\text{--}4\ \mu\text{m}$) на основе мод шепчущей галереи (whispering gallery mode, сокращенно — WGM) [1–4]. Такие лазеры привлекательны большой добротностью резонатора и низкими значениями порогового тока по сравнению с полосковыми лазерами.

Одной из главных проблем дисковых WGM-лазеров, препятствующих их активному использованию, является вывод излучения за пределы дискового резонатора. Создание дискового резонатора с усеченным резонатором [3] позволило эффективно решать эту задачу.

В работе (5) впервые обнаружена частотная перестройка инфракрасного диодного WGM-лазера с дисковым резонатором. Это открывает возможность использовать такие лазеры в диодной лазерной спектроскопии для создания портативных газоанализаторов. О наличии частотной перестройки свидетельствовало увеличение длины волны излучения в конце импульса тока питающего лазер при увеличении длительности импульса. Однако характер изменения длины волны в процессе импульса оставался предположительным. Данная работа является продолжением работы [5] по изучению механизма перестройки частоты WGM-лазер.

Цель настоящей работы — прямое наблюдение увеличения длины волны излучения и исследование характера изменения длины волны в процессе протекания тока через полудисковый диодный WGM-лазер.

Для решения поставленной задачи была выращена структура методом молекулярно-пучковой эпитаксии на установке RIBER Compact 21E на подложке GaSb (100) *n*-типа. Активная область общей толщиной 850 nm состояла из двух напряженных квантовых ям состава $\text{Ga}_{0.65}\text{In}_{0.35}\text{As}_{0.11}\text{Sb}_{0.89}$, каждая толщиной 10 nm, разведенных слоем 30 nm состава $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$. Волноводные слои, изготовленные из $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$, имели толщину по 400 nm. Активная область преднамеренно не легировалась. Волновод был ограничен широкозонными слоями *p*(Be)- и *n*(Te)- $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.08}\text{Sb}_{0.92}$ толщинами по 1.0 μm . С внешней стороны широкозонных слоев были выращены два тонких по 100 nm варизонных слоя AlGaAsSb для улучшения инжекции носителей заряда в активную область. Верхний контактный слой GaSb *p*-типа имел толщину 475 nm и был легирован до концентрации дырок $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Более подробно процесс выращивания лазерной структуры описан в [6].

Из созданных структур изготавливались лазерные чипы с резонатором в форме диска диаметром 200 μm и высотой 15 μm методом фотолитографии и химического травления.

Омические контакты к полупроводниковой гетероструктуре создавались методом термического вакуумного напыления с взрывной фотолитографией. Для этого на верхний эпитаксиальный слой *p*-GaSb наносили последовательно металлы и сплав: Cr–Au:Zn–Au. Верхний контакт лазерного чипа представлял собой кольцо шириной 30 μm с внешним диаметром 180 μm , который отстоял от края резонатора на 10 μm . Со стороны подложки также методом термического вакуумного напыления наносился сплошной многослойный Cr–Au:Te–Au контакт.

После напыления структура подвергалась термообработке в среде водорода для сплавления металлических слоев. Из полученных чипов методом раскалывания изготавливались симметричные лазерные чипы с резонаторами в форме полудиска. Кристалл напайвался на корпус типа ТО-18 с помощью индия, который, в свою очередь, вставлялся в корпус параболического отражателя. Параболический отражатель служил для сбора и фокусировки спонтанного и лазерного излучения на щель монохроматора.

Была собрана и измерена серия лазеров с резонатором в форме полудиска, все они имели диодные характеристики с напряжением отсечки ~ 0.6 В при комнатной температуре и дифференциальным сопротивлением порядка $0.8\text{--}1.0$ Ω . Для изучения модовой структуры спектров лазеров использовался двухрешеточный спектрометр марки ДФС-32 с неохлаждаемым фоторезистором PbS в качестве фотодетектора. Спектры снимались с разрешением 2 \AA . Спектры электролюминесценции WGM-лазеров изучались в импульсном режиме. Длительность импульса менялась от 0.1 до 1.5 μs , скважность составляла 33. Через лазеры пропускался ток величиной от 0.1 до 0.7 А. Измерения проводились при комнатной температуре. Пороговый ток составлял 240 мА, как и в работе [5]. В режиме генерации наблюдались те же лазерные моды. На плато импульса питающего тока преобладала спектральная полоса, имеющая длину волны $\lambda = 2.3534$ μm и ширину на половине высоты 2 \AA при коротких импульсах тока (~ 0.2 μs). При увеличении длительности импульса тока эта полоса расширялась в длинноволновую сторону тем сильнее, чем больше ток. Ее ширина достигала 30 \AA при длительности импульса 1.5 μs и амплитуде 0.7 А.

Для непосредственного прямого наблюдения изменения длины волны в процессе импульса тока была собрана измерительная установка, схема оптической части которой приведена на рис. 1. Полудисковый WGM-лазер (1) помещен в фокус параболического рефлектора, обеспечивающего сбор практически всего излучения. Параллельный поток этого излучения проходит через эталонный резонатор Фабри–Перро (2), представляющий собой плоскопараллельную пластину полуизолирующего Si толщиной 1 мм. Интервал между резонансными длинами волн пластины составляет 7.5 \AA для исследуемого лазера.

Далее поток излучения фокусируется линзой (3) на быстродействующий фотодиод (4) на основе четверных соединений GaInAsSb [7].

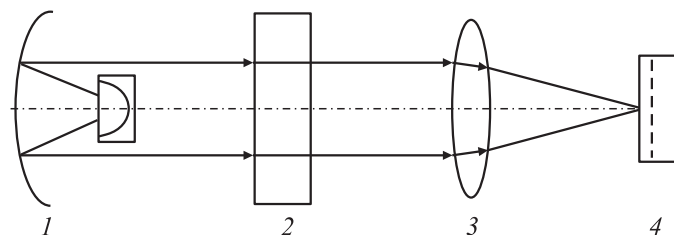


Рис. 1. Схема оптической установки для наблюдения изменения длины волны диодного полудискового WGM-лазера в процессе питающего его импульса тока.

Продетектированный фотодиодом сигнал фиксируется цифровым осциллографом GDS-820C. Осциллограммы прошедшего через внешний резонатор Фабри–Перро излучения полудискового WGM-лазера и питающего лазер тока показаны на рис. 2. В спонтанном режиме импульс излучения повторяет импульс тока. В лазерном режиме импульс излучения промодулирован синусоидой и интенсивность излучения слегка уменьшается в процессе импульса. В отсутствие внешнего резонатора синусоидальная модуляция исчезает, а падение интенсивности излучения в процессе импульса остается. Падение интенсивности излучения объясняется нагреванием активной области лазера. Синусоидальная модуляция импульса излучения объясняется изменением длины волны основной моды лазера на несколько межмодовых интервалов внешнего резонатора, а именно на 4 интервала по 7.5 \AA на рис. 2, т.е. на 30 \AA . Направление изменения длины волны определялось с помощью поворота внешнего резонатора, как и в работе [8].

Поворот внешнего резонатора при котором нормаль к его плоскости отклоняется от оптической оси установки смещает синусоиду влево на экране осциллографа, т.е. показывает увеличение длины волны в процессе импульса тока. При увеличении тока синусоида также смещается влево из-за увеличения длины волны основной моды лазерного излучения.

Рис. 3 иллюстрирует изменения длины волны лазерной моды в процессе протекания токовых импульсов различной амплитуды, определенной по временам, соответствующим экстремумам синусоиды на осциллограммах лазерного излучения. Учитывалось, что период синусоиды составляет 7.5 \AA . Видно, что длина волны увеличивается в

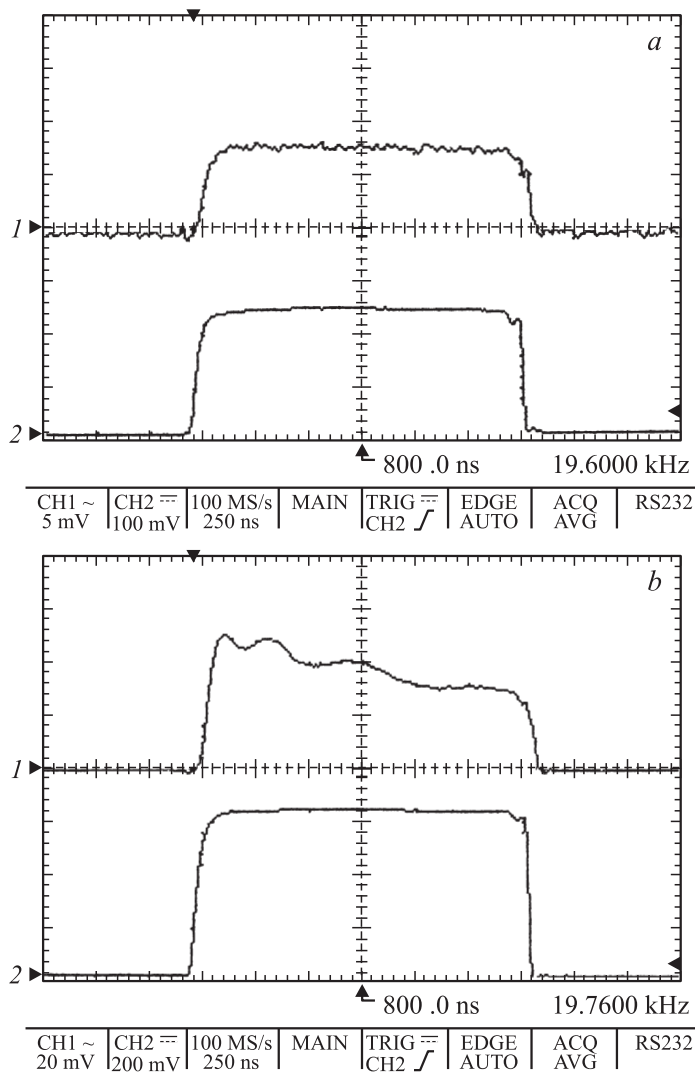


Рис. 2. Осциллограммы импульсов излучения, прошедшего через резонатор Фабри–Перро (курсор 1) диодного полудискового WGM-лазера и питающего его тока (курсор 2) в спонтанном режиме (230 мА): *a* — в лазерном режиме (620 мА), *b* — при длительности импульса тока 1.5 μ s.

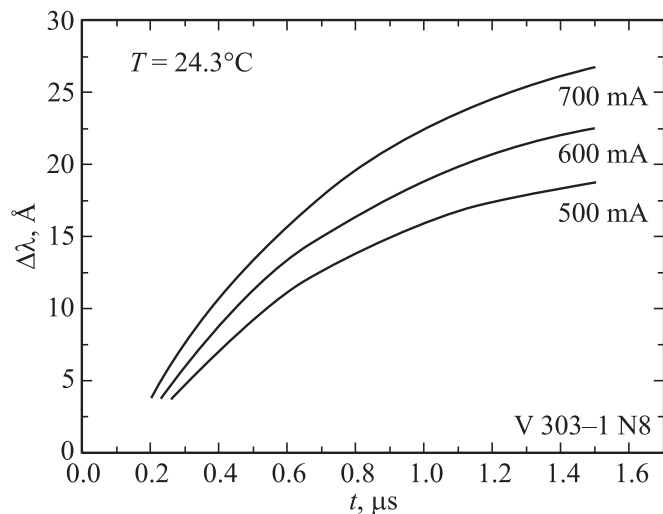


Рис. 3. Увеличение длины волны лазерной моды диодного полудискового WGM-лазера в процессе протекания импульсов питающего тока различной амплитуды. Длительность импульсов $1.5 \mu\text{s}$, скважность около 34. Температура лазера 300 K.

процессе импульса и тем сильнее, чем больше амплитуда импульса тока, и ее изменение достигает 30 \AA при токе — 700 mA за время $1.5 \mu\text{s}$. Увеличение длины волны во времени сублинейное, т. к. оно обусловлено нагреванием активной области лазера.

Таким образом, осуществлено прямое наблюдение плавной перестройки длины волны излучения полудискового диодного WGM-лазера в процессе импульса питающего тока. Установлен характер этого увеличения, обусловленного нагреванием активной области лазера в процессе протекания импульса тока длительностью до $1.5 \mu\text{s}$. Зарегистрирована плавная перестройка длины волны излучения основной моды в длинноволновую сторону на 30 \AA при комнатной температуре.

Работа частично поддержана грантами РФФИ 07-02-92170-НЦНИ_a и 08-02-90039-Бел_a и программой президиума РАН № 27 „Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов“.

Список литературы

- [1] *Sherstnev V.V., Krier A., Monakov A.M., Hill G.* // *Electron. Lett.* 2003. V. 39. P. 916–918.
- [2] *Шерстнев В.В., Монахов А.М., Астахова А.П., Кислякова А.Ю., Яковлев Ю.П., Аверкиев Н.С., Krier A., Hill G.* // *Физика и техника полупроводников.* 2005. Т. 39. В. 9. С. 1087–1092.
- [3] *Monakhov A.M., Sherstnev V.V., Astakhova A.P., Yakovlev Yu.P., Boissier G., Reissier R., Baranov A.N.* // *Appl. Phys. Lett.* 2009. V. 94. P. 051102.
- [4] *Averkiev N.S., Sherstnev V.V., Monakov A.M., Grebenshikova E.A., Kislyakova A.Yu., Yakovlev Yu.P., Krier A., Wright D.A.* // *Low Temperature Physics.* 2007. V. 33. N 2–3. P. 283–290.
- [5] *Именков А.Н., Шерстнев В.В., Сиповская М.А., Астахова А.П., Гребенищикова Е.А., Монахов А.М., Калинина К.В., Boissier G., Teissier R., Баранов А.Н., Яковлев Ю.П.* // *Письма в ЖТФ.* 2009. Т. 35. В. 18. С. 50–57.
- [6] *Yarekha D.A., Glastre G., Perona A., Rouillard Y., Genty F., Skouri E.M., Bossier G., Grech P., Joulie A., Alibert C., Baranov A.N.* // *Electron. Lett.* 2000. V. 36. N 6. P. 537–539.
- [7] *Именков А.Н., Журтанов Б.Е., Астахова А.П., Калинина К.В., Михайлова М.П., Сиповская М.А., Стоянов Н.Д.* // *Письма в ЖТФ.* 2009. Т. 35. В. 2. С. 29–35.
- [8] *Данилова А.П., Данилова Т.Н., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Степанов М.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П.* // *ФТП.* 1999. Т. 35. В. 2. С. 243–248.