

УДК 621.373.826

ДИОДНЫЙ ЛАЗЕР С ВНЕШНИМ СДВОЕННЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ ДЛЯ ГАЗОАНАЛИЗА

А. К. Чернышов^{1,2}, П. А. Михеев^{1,2}, Н. Н. Лунев^{1,2}

Предложена конфигурация диодного лазера с коротким внешним резонатором, в котором дополнительный отражатель образован пакетом из двух тонких стеклянных пластинок. Применение подобных внешних резонаторов совместно с диодными лазерами на основе квантово-размерных гетероструктур перспективно для спектроскопии, ограниченной доплеровским уширением, а также случаев, когда важен большой интервал непрерывной перестройки при умеренных требованиях к ширине лазерной линии.

Ключевые слова: диодные лазеры, квантово-размерная гетероструктура, короткий внешний резонатор, спектральные характеристики, газоанализ.

Для перекрытия максимального спектрального интервала с одним и тем же излучателем в спектроскопии и оптических газоанализаторах перспективны диодные лазеры (ДЛ) на основе гетероструктур с несколькими квантовыми ямами (MQW), у которых ширина контура оптического усиления достигает сотен нм [1]. С другой стороны, широкий контур усиления способствует одновременной генерации излучателем нескольких продольных мод, что искажает регистрируемые спектры. Одним из способов подавления многомодовой генерации ДЛ является установка вблизи выходной грани лазера тонкой стеклянной пластинки [2]. Однако, чем шире полоса оптического усиления лазера, тем более короткий внешний резонатор требуется для гарантированного получения одномодовой генерации. Поэтому в случае MQW диодных лазеров указанный подход применим ограниченно, поскольку стеклянную пластинку необходимо подводить к полупроводниковому кристаллу практически вплотную.

Для устранения указанного ограничения можно использовать эффект “нониуса”, заключающийся в прореживании картины резонансов при последовательном прохож-

¹ Самарский филиал ФИАН, 443011 Россия, Самара, ул. Ново-Садовая, 221.

² Самарский университет, 443086 Россия, Самара, Московское ш., 34; e-mail: chak@fian.smr.ru.

дении света через пару интерферометров с приблизительно равными длинами [3, 4]. В результате “толстый” тандемный интерферометр оказывается эквивалентен “тонкому” эталону. В данной работе продемонстрировано, что добавление к MQW диодному лазеру внешнего отражателя, образованного парой тонких стеклянных пластинок, позволяет (за счет эффекта “нониуса”) легко получить перестраиваемую по частоте одномодовую генерацию. Приводятся результаты по наблюдению линий поглощения воды и аргона, которые получены с MQW диодными лазерами, снабженными сдвоенными внешними отражателями.

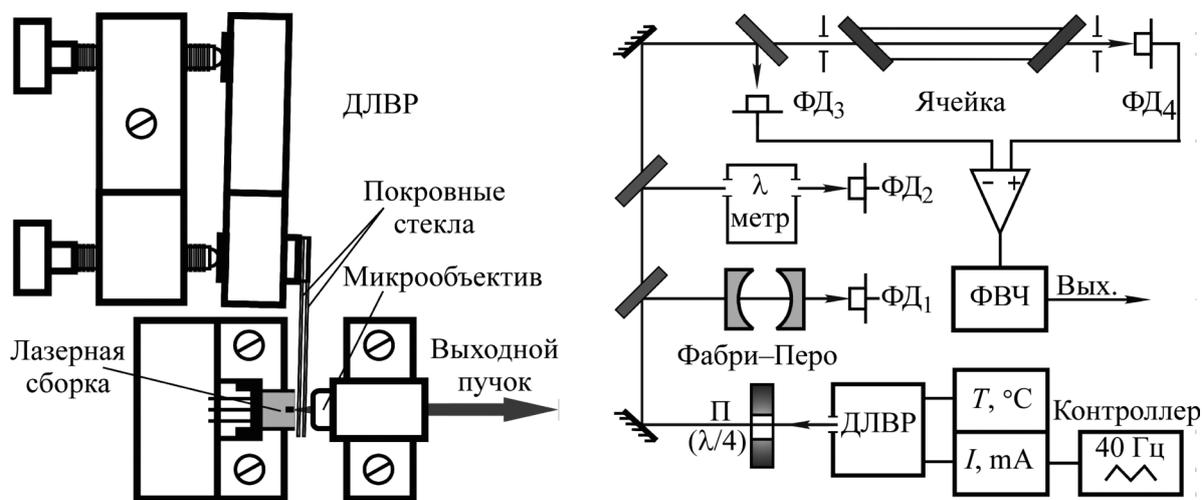


Рис. 1: Слева – конструкция диодного лазера с коротким внешним резонатором. Дополнительный отражатель образован двумя тонкими покровными стеклами. Справа – схема экспериментальной установки: ФД – фотодиод; ФВЧ – фильтр высоких частот; П – фазовая пластинка $\lambda/4$.

Конструкция диодного лазера с коротким внешним резонатором (ДЛВР) на основе двойного отражателя показана на рис. 1 (слева). Предварительно, чтобы обеспечить доступ к полупроводниковому кристаллу, у промышленной лазерной сборки была срезана защитная крышка с выходным окном. Затем открытая сборка была установлена в держатель, температура которого стабилизировалась элементом Пельтье. Для коллимирования лазерного излучения в параллельный пучок был подобран микрообъектив ($F = 6$ мм, $NA = 0.5$) с длиной рабочего отрезка ~ 1.7 мм. Это необходимо для размещения в промежутке между микрообъективом и гранью полупроводникового кристалла двух покровных стекол от микроскопа, формирующих внешний отражатель. Покровные стекла толщиной примерно 100 мкм были сложены в стопку и прикле-

ны к уголковогой оправе, с помощью которой обеспечивалась плавная регулировка их пространственного положения.

Исследование спектральных характеристик диодного лазера с коротким внешним резонатором проводилось на установке, которая показана на рис. 1 (справа). Для работы излучателя в непрерывном режиме использовался сдвоенный контроллер тока/температуры ИТС4001 (Thorlabs). Линейно-поляризованный выходной пучок ДЛВР первоначально проходил через фазовую $\lambda/4$ -пластинку П на основе жидкокристаллической ячейки [5] и становился циркулярно поляризованным. Такое преобразование поляризации необходимо для подавления возможной паразитной оптической обратной связи. Как известно, после отражения от оптических элементов изменяется направление вращения циркулярной поляризации света. Поэтому после прохождения через $\lambda/4$ -пластинку обратно отраженный свет приобретает дополнительный набег фазы и становится ортогонально поляризованным по отношению к исходному лазерному излучению, тем самым уменьшается его влияние на характеристики ДЛВР.

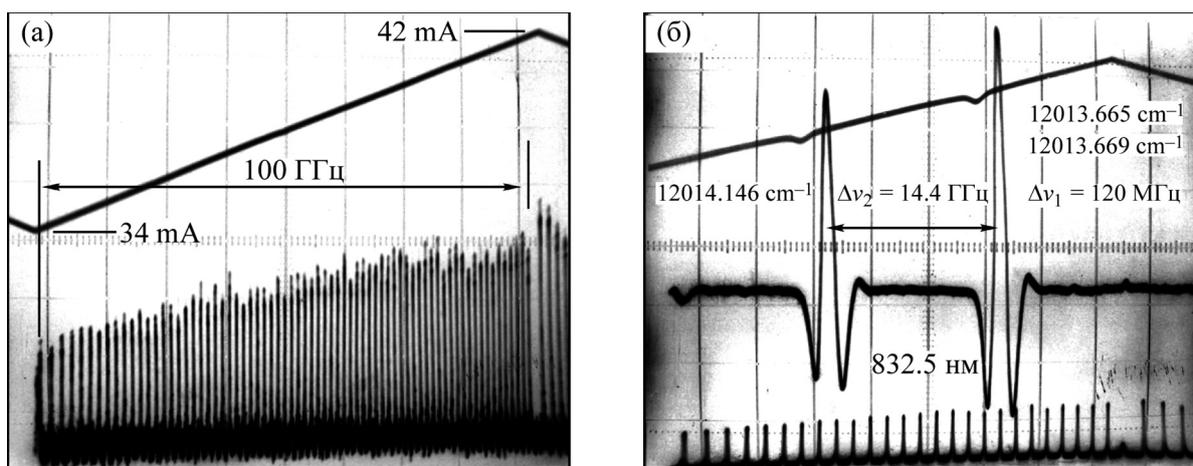


Рис. 2: ДЛВР – ELD83NPT50. (а) Непрерывная токовая перестройка лазерной частоты. Вверху – изменение инжекционного тока; внизу – резонансы пропускания контрольного интерферометра; (б) модуляционная спектроскопия молекул H_2O около 12013.7 см^{-1} . Вверху – сигнал прямого поглощения, зарегистрированный на выходе из измерительной ячейки; средняя часть – сигнал модуляционной спектроскопии на частоте второй гармоники после ФВЧ; внизу – резонансы пропускания контрольного интерферометра.

После прохождения пластинки П циркулярно поляризованный лазерный пучок с помощью поворотных зеркал и делителей направлялся в конфокальный интерферометр

Фабри–Перо (резкость $F = 25$, область свободной дисперсии $FSR = 1.38$ ГГц), λ -метр, в качестве которого использовался спектрометр ASP-IRSF (Авеста), и спектральную ячейку с исследуемым газом. Регистрация оптических сигналов в измерительных каналах выполнялась с помощью кремниевых фотодиодов OPT-101 (Texas Instruments).

Первоначально был исследован ДЛВР на основе MQW диодного лазера ELD83NPT50 (Roithner Lasertechnik), который излучал 5 мВт при токе накачки 38 мА. Дискретная перестройка ДЛВР осуществлялась путем вариации температуры ДЛ от 16 до 40 °С и подстройкой положения сдвоенного внешнего отражателя. С излучателем ELD83NPT50 доступный интервал длин волн был центрирован на 830 нм, и его величина составила 7.6 нм. Непрерывная перестройка оптической частоты ДЛВР выполнялась за счет изменения тока накачки. С этой целью 40 Гц пилообразное напряжение от внешнего генератора подавалось на управляющий вход контроллера тока ИТС4001, рис. 1. По картине резонансов конфокального интерферометра установлено, что при оптимальных условиях диапазон непрерывной перестройки данного ДЛВР достигал 100 ГГц (рис. 2(а)). Поскольку у интерферометра $FSR/F \approx 55$ МГц, а наблюдаемая ширина резонансов FWHM на рис. 2(а) равна 0.2 ГГц, то эту последнюю величину можно считать шириной линии генерации ДЛВР. Аналогичные характеристики были зарегистрированы и для второго лазера этого типа.

В доступный для излучателей ELD83NPT50 интервал длин волн попадают спектральные линии паров воды из комбинационной полосы (0, 0, 0 – 2, 1, 1). При давлении паров воды в ячейке 15 Торр и комнатной температуре ожидаемая ширина линий будет 1.2 ГГц, что много больше ширины линии ДЛВР и, следовательно, спектр H_2O должен надежно разрешаться. Линии в указанной полосе соответствуют слабым переходам молекулы воды, поэтому в схеме на рис. 1 использовалась модуляционная спектроскопия с регистрацией сигнала второй гармоники и двухпроходная ячейка длиной 1 м [6]. Результаты измерений участка спектра H_2O около длины волны 832.5 нм показаны на рис. 2(б). Наклонная линия вверху рисунка представляет сигнал прямого поглощения, зафиксированный с помощью ФД4, средний сигнал соответствует второй производной от прямого поглощения, и внизу показаны резонансы пропускания интерферометра, задающие частотный масштаб. На рис. 2(б) оптическая мощность (или ток накачки) возрастает слева направо и, следовательно, лазерная частота наоборот убывает. По данным базы HITRAN [7] в спектральный интервал на рис. 2(б) попадают линии H_2O , которые расположены на частотах 12013.665 cm^{-1} ; 12013.669 cm^{-1} и 12014.146 cm^{-1} . Промежуток между центрами первой и второй линий $\Delta\nu_1$ около 120 МГц, и поэтому

они наблюдаются как одна более сильная линия в правой части рис. 2(б). Интервал $\Delta\nu_2$ между первой и третьей линиями составляет 14.4 ГГц, и на рис. 2(б) эти линии регистрируются раздельно.

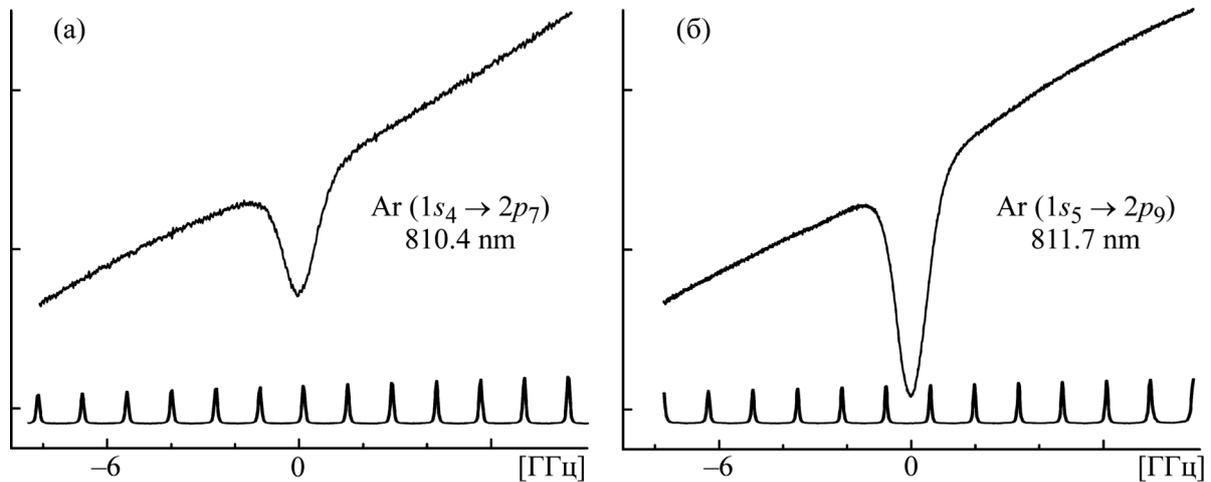


Рис. 3: Спектроскопия возбужденных атомов аргона с помощью ДЛВР – L808P030; (а) сигнал прямого поглощения, соответствующий переходу с резонансного уровня $1s_4$; (б) то же для перехода с метастабильного уровня $1s_5$.

Дополнительно лазер L808P030 (Thorlabs) был исследован для оценки зависимости характеристик ДЛВР от технологии производства MQW гетероструктур. После удаления защитной крышки и установки в оптическую схему на рис. 1 этот диодный лазер излучал 10 мВт на длине волны 811 нм при величине тока накачки 46 мА. Дискретный интервал перестройки ДЛВР с L808P030 оказался равным 5 нм, а диапазон непрерывной перестройки составил 36 ГГц при изменении тока накачки от 30 до 46 мА. Ширина лазерной линии была на уровне 0.1 ГГц. Похожие характеристики наблюдались у пяти излучателей типа L808P030. Спектроскопические возможности ДЛВР с лазером L808P030 демонстрируются на примере наблюдения двух линий аргона около 811 нм, рис. 3. Эти линии соответствуют сильным переходам вверх с первого возбужденного состояния атома Ar. Поэтому для получения сигнала с хорошим отношением сигнал/шум достаточно было использовать прямую абсорбционную спектроскопию и возбуждаемый ВЧ разрядом аргоновый стартер люминесцентной лампы в качестве отпаянной измерительной ячейки [8, 9].

Таким образом, предложенная в работе конфигурация короткого внешнего резонатора с отражателем в виде двух стеклянных пластинок работоспособна с различными

типами MQW диодных лазеров. Продемонстрировано применение подобных оптических излучателей для спектроскопии, ограниченной доплеровским уширением, когда важен большой интервал непрерывной перестройки при умеренных требованиях к ширине лазерной линии.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Госзадания по проекту 3.1715.2017/4.6.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] S. C. Woodworth, D. T. Cassidy, and M. J. Hamp, *Applied Optics* **40**(36), 6719 (2001).
- [2] A. Zybin and K. Niemax, *Spectrochimica Acta B*, **52**, 1215 (1997).
- [3] D. E. Jennings, *Applied Optics* **19**(1), 2 (1980).
- [4] С. П. Анохов, Т. Я. Марусий, М. С. Соскин, *Перестраиваемые лазеры* (М., Радио и связь, 1982).
- [5] А. К. Чернышов, С. П. Котова, *Приборы и техника эксперимента* **49**(1), 100 (2006).
- [6] А. К. Чернышов, Е. А. Воронцова, *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* **15**(6), 135 (2013).
- [7] <ftp://cfa-ftp.harvard.edu/pub/HITRAN2008/>
- [8] С. Н. Наумкин, А. К. Чернышов, в Сборнике трудов XIV Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике, Самара, 2016, с. 350. <http://laser-optics.ru/proceedings2016.pdf>.
- [9] А. К. Чернышов, *Приборы и техника эксперимента* **61**(1), 141 (2018).

По материалам XV Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике.

Поступила в редакцию 29 января 2018 г.