

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ С ОБЪЕМНОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКОЙ

В.А. Мелехов¹, К.Д. Чернявский¹, Д.Н. Артемьев¹, А.А. Горюшкин¹

¹Самарский университет, г. Самара
e-mail: vmelehov225@gmail.com

Аннотация

Изучена температурная зависимость спектральных характеристик полупроводниковых лазерных диодов ($\lambda = 785$ нм) со стабилизацией объемной Брэгговской решеткой (VBG). Зависимость обусловлена изменением физических параметров активной области при нагреве. Экспериментально определены смещение центральной длины волны и ширина спектральной линии (FWHM) в диапазоне 15–35°C.

Ключевые слова: Ключевые слова: лазерный диод, лазерное излучение, объемная брэгговская решетка, рамановская спектроскопия, термостабилизация лазерного диода, биомедицинская диагностика.

Основным требованием к возбуждающим источникам для современной Рамановской спектроскопии является сочетание высокой спектральной чистоты, узкой ширины линии, длительной долговременной стабильности и компактной реализации. Стандартные DFB/DBR диоды обеспечивают сравнительно узкий спектр, однако чувствительны к колебаниям температуры и тока, что проявляется в уширении линии, снижении коэффициента подавления боковых мод (SMSR) и возникновении скачков мод (mode hopping) [1]. Применение объемной Брэгговской решетки как внешнего селективного отражателя позволяет существенно повысить спектральную селективность и стабильность генерации, но скорость температурного дрейфа пика усиления активной среды ($\sim 0,06\text{--}0,08$ нм/°C) значительно превышает скорость смещения полосы отражения VBG ($\sim 0,007\text{--}0,01$ нм/°C), что неизбежно приводит к уходу длины волны и mode hopping.

В работе использовались два типа лазерных диодов производства Beijing RealLight Technology Co.:

- Диод 785 нм (артикул 6301-120305D): режим CW, максимальная мощность 600 мВт, рабочий ток 1,1 А, напряжение 2,0 В, волоконный выход (core 105 мкм, cladding 125 мкм, NA 0,22).

- Диод 532 нм (артикул 6131-120404D): режим CW, максимальная мощность 100 мВт, рабочий ток 1,0 А, напряжение 2,1 В, волоконный выход (core 105 мкм, cladding 125 мкм, NA 0,22).

Каждый диод оснащён встроенной VBG, обеспечивающей сужение спектральной линии и частичную стабилизацию длины волны. Брэгговская решётка выполнена в объёмном фотоосветительном стекле с угловой селективностью, что позволяет поддерживать FWHM на уровне долей нанометра. Параметры VBG подобраны под

целевую длину волны каждого диода и обеспечивают отражение в узкой спектральной полосе, подавляя паразитные моды.

Спектральные характеристики регистрировались с помощью спектрометра Shamrock 303 с детектором Andor iDus (охлаждение до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$), решёткой 2400 штрих/мм и спектральным разрешением 0,03 нм. Температура корпуса диода контролировалась с точностью 0,01 $^{\circ}\text{C}$ с использованием термоэлектрического охладителя Пельтье. Измерения проводились в диапазоне 15–35 $^{\circ}\text{C}$ с шагом 1 $^{\circ}\text{C}$ при фиксированном токе накачки, а также при вариации тока при постоянной температуре (25 $^{\circ}\text{C}$). Такая методика позволила разделить вклад температуры и мощности накачки в суммарное смещение центральной длины волны и изменение FWHM

Теоретически температура влияет на спектральные характеристики через изменение показателя преломления и ширины запрещенной зоны полупроводника, а также через изменение коэффициентов отражения и дифракции в VBG. Это приводит к сдвигу центральной длины волны в длинноволновую область по мере нагрева диода, а также к изменению коэффициента внешней обратной связи (рис. 1). Для практического применения важно ограничить рабочий диапазон температур так, чтобы стабильность длины волны не превышала $\pm 0,1\text{--}0,2\text{ нм}$ (что соответствует $\sim 1,6\text{--}3,2\text{ см}^{-1}$ при 785 нм).

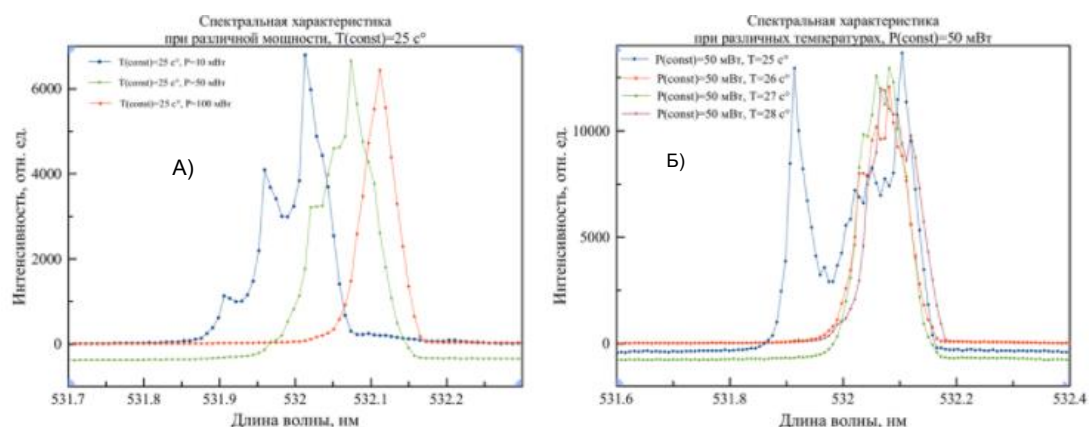


Рисунок 1 – Спектральные характеристики лазерного диода 532 нм: а) зависимость от мощности при $T_{\text{const}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) зависимость от температуры при $P_{\text{const}} = 50\text{ мВт}$

Полученные зависимости позволяют сформулировать конкретные требования к элементам системы стабилизации. Для обеспечения стабильности центральной длины волны в пределах $\pm 0,05\text{ нм}$ (типичное требование для рамановской спектроскопии с разрешением $\sim 2\text{ см}^{-1}$ на 785 нм) необходима термостабилизация корпуса диода с точностью не хуже $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для исключения mode hopping – не хуже $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). Это требует использования термоэлектрических охладителей Пельтье с ПИД-регулятором, сенсором NTC или PT100 и шумовым разрешением температурного канала $\leq 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. К драйверу тока предъявляются требования по стабильности на уровне $\pm 0,5\text{ мА}$, поскольку изменение тока на 10 мА приводит к смещению длины волны на $\sim 0,01\text{--}0,02\text{ нм}$ для исследованных диодов. Совместное выполнение указанных требований по термостабилизации и стабилизации тока позволяет обеспечить долговременную воспроизводимость спектральных измерений в рамановских системах без применения дополнительной внешней калибровки.

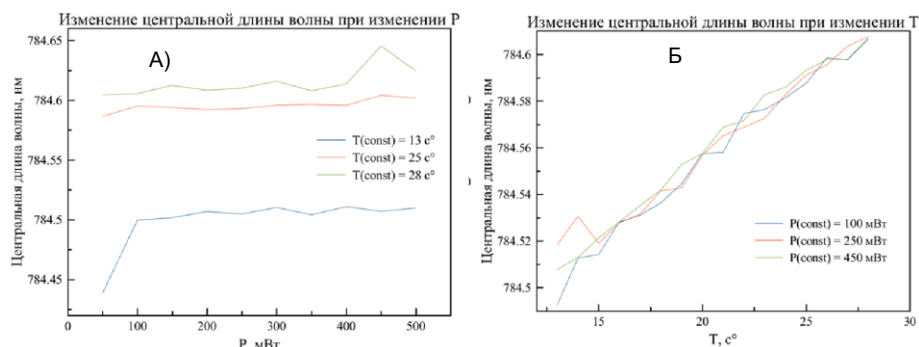


Рисунок 2 – Изменение центральной длины волны лазерного диода 785 нм

а) в диапазоне мощностей 50–500 мВт при $T = 13, 25, 28\text{ }^{\circ}\text{C}$,

б) в диапазоне температур 13–28 °C при $P = 100, 250, 450\text{ мВт}$

Проведенное исследование демонстрирует, что лазерные диоды с объемной Брэгговской решеткой являются перспективными, но не идеальными источниками для задач Рамановской спектроскопии и смежных оптических методов, где критичны узкая линия и предсказуемое поведение при изменении температуры, так как при нестандартном режиме работы появляются эффекты, ухудшающие спектр лазерного диода. Полученные зависимости позволяют задать требования к системам термостабилизации и драйверам тока, а также определить рабочий диапазон температур, в котором сохраняются требуемые спектральные характеристики.

Список использованных источников

1. Mobarhan, K. S. Test and Characterization of Laser Diodes. Application Note / K. S. Mobarhan. – Newport Corp., [б.г.].
2. Варжель, С. В. Волоконные брэгговские решетки: учебное пособие / С. В. Варжель. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 65 с.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE AND RADIATION POWER ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF LASER DIODES WITH A VOLUMETRIC BRAGG GRATING

V.A. Melekhov¹, K.D. Chernyavsky¹, D.N. Artemiev¹, A.A. Goryushkin¹

¹Samara University, Samara
e-mail: vmelehov225@gmail.com

Abstract

The temperature dependence of the spectral characteristics of semiconductor laser diodes ($\lambda = 785\text{ nm}$) with stabilization by a volumetric Bragg grating (VBG) has been studied. The dependence is due to a change in the physical parameters of the active region during heating. The displacement of the central wavelength and the width of the spectral line (FWHM) in the range of 15–35°C have been experimentally determined.

Keywords: laser diode, laser radiation, volumetric Bragg grating, Raman spectroscopy, thermal stabilization of a laser diode, biomedical diagnostics.