

Перестраиваемые одночастотные полупроводниковые лазеры

© В.П. Дураев[¶], С.В. Медведев

(Получена 1 июня 2013 г. Принята к печати 16 июня 2013 г.)

Представлены результаты работ по созданию одночастотных перестраиваемых по длине волны полупроводниковых лазеров с внешним резонатором на основе волоконных брэгговских решеток, сформированных в одномодовом волоконном световоде. Рассмотрены способы дискретной и плавной перестройки длины волны излучения. Приведенные в работе лазеры способны генерировать динамически стабильное излучение с узкой шириной линии 10 кГц в диапазоне 635–1650 нм.

1. Введение

Спектр излучения инжекционных лазеров имеет несколько продольных мод и достаточно большую ширину (1–5 нм). Для многих практических применений лазеров важная задача — получение одночастотного режима генерации. Одночастотные лазеры используют в волоконно-оптических линиях связи со спектральным уплотнением каналов, спектроскопии высокого разрешения, оптических датчиках и других областях науки и техники. Еще одна важная особенность полупроводниковых лазеров, которая дополнительно расширяет круг их применения, состоит в возможности широкой перестройки длины волны в пределах всего спектрального диапазона усиления (20–40 нм).

На первых этапах создания полупроводниковых перестраиваемых лазеров использовались лазерные диоды (ЛД) с коротким резонатором (100–200 мкм). Учитывая, что межмодовый интервал для таких излучателей велик, разница в усилении соседних мод достигает значительной величины. В результате спектр излучения лазеров с коротким резонатором обычно имеет одну продольную моду. Перестройка длины волны этих лазеров осуществлялась изменением температуры и тока накачки. Недостатком таких лазеров являлось малое значение выходной мощности, большое омическое и тепловое сопротивление, которые приводят к нестабильности в работе.

Более широкое распространение получили лазеры с распределенной обратной связью (РОС). Данный класс лазеров имеет одночастотный режим работы и достаточно большую оптическую мощность излучения в широком диапазоне температур [1–3].

Однако для перестройки длины волны излучения в широком диапазоне чаще всего применяются лазеры с внешним резонатором, в качестве которого используется дифракционная решетка.

В данной работе представлены результаты разработки и исследований характеристик одночастотных перестраиваемых полупроводниковых лазеров с волоконно-брэгговской решеткой в диапазоне длин волн 650–1650 нм.

2. Экспериментальная часть

Одним из основных условий при создании стабильного одночастотного режима ЛД с волоконно-брэг-

говской решеткой является исключение собственных мод Фабри–Перо. С этой целью нами предложена конструкция ЛД с искривленным активным каналом и с просветленным передним зеркалом. Волоконно-брэгговская решетка расположена у передней грани (рис. 1).

Длина волны генерации лазера с брэгговской решеткой определяется из соотношения

$$2\Lambda n_{\text{eff}} = m\lambda_B, \quad (1)$$

где Λ — период решетки, λ_B — длина волны лазера, n_{eff} — эффективный показатель преломления, m — порядок волновой моды.

В работе использовались лазеры на основе гетероструктур InGaAs/GaAs и InGaAsP/InP с квантово-размерными слоями, изготовленными методом МОС-гидридной эпитаксии [4]. Лазерные диоды имели гребневидную конструкцию, показанную на рис. 2. Длина лазерного кристалла варьировалась в диапазоне 600–1000 мкм, ширина мезаполоски 3 мкм.

В отсутствие просветления резонаторных граней ЛД спектр излучения состоит из нескольких мод резонатора Фабри–Перо. Напыление просветляющих покрытий на грани кристалла резко снижает величину оптической обратной связи, что приводит к уширению спектра излучения. Как было отмечено ранее, перестройка длины волны возможна в пределах этого спектрального диапазона. На практике одночастотный режим генерации удается получать в пределах длины этого диапазона, отсчитанной на уровне половинной мощности. При стыковке ЛД с одиночной брэгговской решеткой генерация начинается на длине волны отражения решетки.

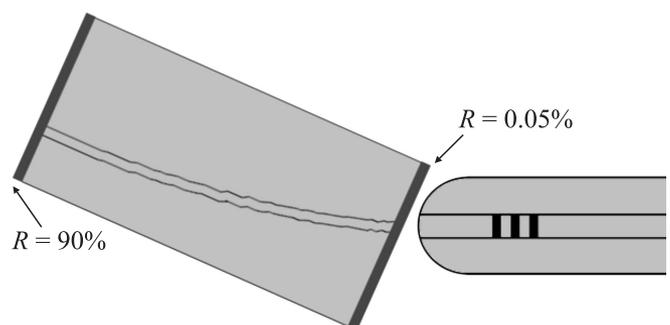


Рис. 1. Конструкция лазерного диода с искривленным активным каналом, решетка спереди.

[¶] E-mail: nolatech@mail.ru, nolatech.ru

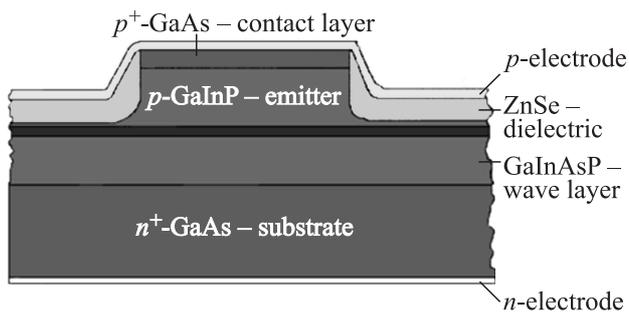


Рис. 2. Гребневая конструкция лазерного диода.

Требуемый одночастотный режим и перестройка длины волны обеспечивались с помощью одиночных (дискретных), двойных (последовательно формируемых) и четверных брэгговских решеток с различным периодом, сформированных на одном участке световода. Волоконные брэгговские решетки, использованные в данной работе, формировались излучением второй гармоники аргонового лазера ($\lambda = 244$ нм) в схеме с интерферометром Ллойда [5]. Длина решеток составляла 4–7 мм.

3. Дискретная перестройка длины волны

Для дискретной перестройки между двумя частотами использовались две пространственно разнесенные решетки, имеющие максимумы отражения $\lambda_1 = 1063.3$ нм и $\lambda_2 = 1064.2$ нм (рис. 3). В конструкции использовался лазерный кристалл длиной 1000 мкм, имеющий максимум усиления на длине волны 1064 нм. Две брэгговские решетки были сформированы в световоде с диаметром сердцевины 5.6 мкм. Одна из брэгговских решеток располагалась в непосредственной близости от передней просветленной грани ЛД. Обе решетки имели коэффициент отражения порядка 30% и спектральную ширину 0.15 нм.

Переключение длины волны генерации лазера происходило за счет сдвига максимума усиления лазера при изменении тока инжекции. Генерация лазера происходит на длине волны отражения той решетки, для которой обратная связь при данной температуре и токе становится больше (резонансная длина волны решетки лучше совпадает с линией, генерируемой собственно резонатором лазерного кристалла). На рис. 4 показана перестройка длины волны излучения за счет изменения тока инжекции. Пороговое значение тока инжекции составило $I_{th} = 64$ мА. Видно, что при температуре кристалла $T = 25^\circ\text{C}$ и токе накачки $I_p = 80$ мА длина волны излучения такого лазера составляет $\lambda = 1063.35$ нм, что хорошо согласуется с длиной волны отражения коротковолновой решетки (рис. 4, а). Мощность излучения на выходе световода с решетками при этом была равна 2 мВт. При $T = 25^\circ\text{C}$ и $I_p = 100$ мА в спектре

излучения присутствуют одновременно две длины волны, соответствующие обеим решеткам (рис. 4, б), а суммарная мощность излучения на выходе световода составляет 3 мВт. При $T = 25^\circ\text{C}$ и $I_p = 125$ мА длина волны излучения составила 1064.22 нм, а мощность излучения 5 мВт (рис. 4, с).

Для дискретной перестройки между четырьмя длинами волн использовался волоконный световод с четырьмя брэгговскими решетками, имеющими различные резонансные длины волн. Решетки были сформированы ультрафиолетовым излучением путем последовательной

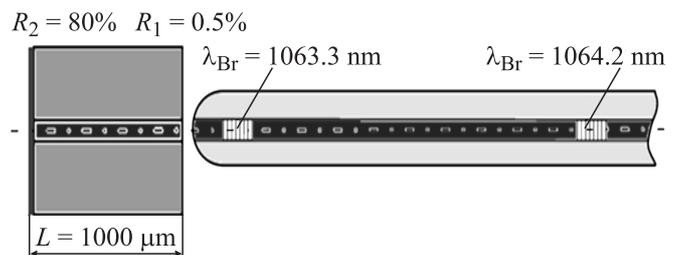


Рис. 3. Конструкция лазера с двумя решетками.

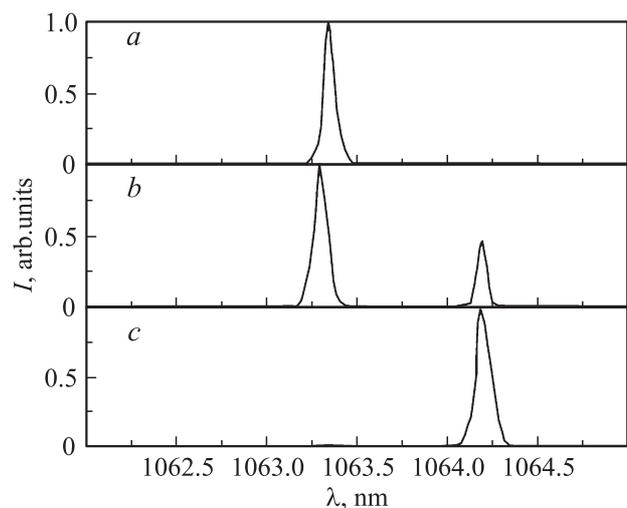


Рис. 4. Токовая дискретная перестройка длины волны.

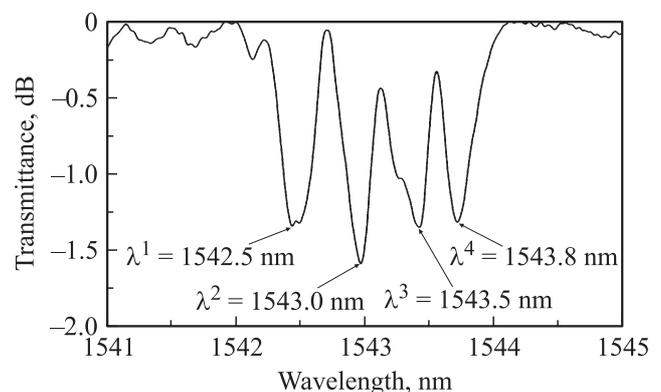


Рис. 5. Спектр пропускания волокна с четырьмя решетками.

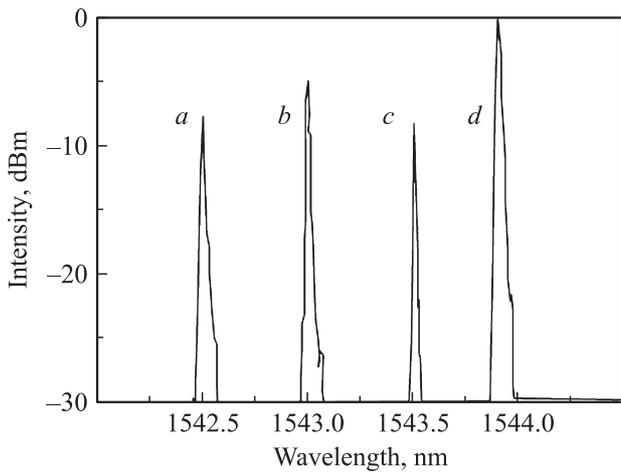


Рис. 6. Токовая дискретная перестройка между четырьмя длинами волн.

экспозиции одного и того же участка волоконного световода. Спектр пропускания такой системы решеток представлен на рис. 5. Коэффициент отражения решеток составлял 25%. Спектральная ширина пиков отражения была 0.3 нм при расстоянии между ними 0.4 нм. В этом случае использовался лазерный кристалл на длину волны 1540 нм. Длина кристалла также составляла 1000 мкм.

На рис. 6 показана перестройка длины волны лазера за счет изменения тока накачки, пороговое значение тока в котором составило $I_{th} = 54$ мА. Все резонансы составной решетки находятся близко к максимуму контура линии усиления лазера. При $T = 25^\circ\text{C}$ путем изменения тока накачки ЛД были получены все четыре одночастотные моды гибридного резонатора с уровнем подавления боковых мод не менее 30 дБ:

$$\lambda_1 = 1542.6 \text{ нм при } I_p = 73 \text{ мА, } P_{out} = 1.2 \text{ мВт (рис. 6, a);}$$

$$\lambda_2 = 1543.0 \text{ нм при } I_p = 100 \text{ мА, } P_{out} = 3.2 \text{ мВт, (рис. 6, b);}$$

$$\lambda_3 = 1543.5 \text{ нм при } I_p = 56 \text{ мА, } P_{out} = 0.5 \text{ мВт (рис. 6, c);}$$

$$\lambda_4 = 1543.8 \text{ нм при } I_p = 153 \text{ мА, } P_{out} = 6.4 \text{ мВт (рис. 6, d).}$$

При токе накачки $I_p = 175$ мА условия генерации на всех четырех резонансных длинах волн брэгговской решетки были близки, поэтому в спектре выходного излучения присутствовали одновременно все четыре спектральные линии с примерно равной интенсивностью.

4. Плавная перестройка длины волны

Плавная перестройка длины волны может быть осуществлена в пределах спектра отражения решетки за счет изменения тока инжекции или температуры ЛД [6]. Величина перестройки зависит от контура отражения

решетки (0.15–0.3 нм) и составляет соответственно в пределах 0.3 нм.

Более широкая перестройка длины волны возможна за счет изменения показателя преломления волокна в области решетки. Волокно с решеткой помещается на элемент Пельтье, способный изменять температуру в широком диапазоне с точностью до 0.1°C . Спектр излучения для трех значений температуры показан на рис. 7.

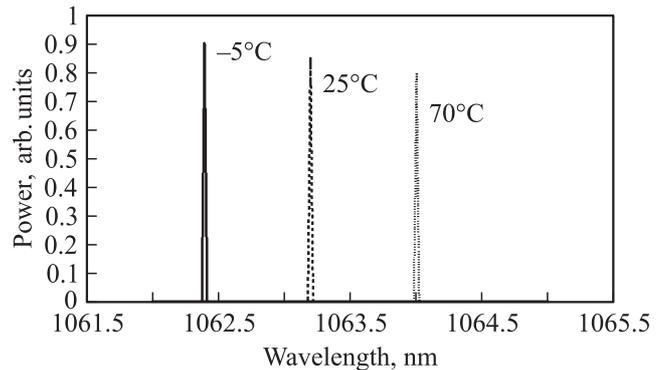


Рис. 7. Плавная перестройка длины волны. Спектры излучения при -5.25 и 70°C .

Получены следующие результаты для плавной перестройки:

диапазон перестройки — 1.5 нм,
шаг перестройки — менее 0.02 нм,
мощность излучения — 5–10 мВт.

Таким образом, в работе показано, что при использовании усилительных свойств полупроводниковых лазеров с внешним резонатором возможно получение стабильного одночастотного режима генерации и дискретная и плавная перестройка длины волны за счет изменения тока инжекции и (или) температуры активной области лазерного диода (ЛД). Также возможна плавная перестройка длины волны за счет изменения показателя преломления решетки при нагреве.

Список литературы

- [1] V.P. Duraev, A.V. Melnikov. Spectrochem. Acta A, **52**, 877 (1996)
- [2] В.П. Дураев, Е.Т. Неделин. Квант. электрон., **31** (6), 529 (2001).
- [3] J.I. Hashimoto et al. J. Lightwave Technol., **21**, 2002 (2003).
- [4] V. Mikhailov, P. Bayvel, R. Wyatt, I. Lealman. Electron. Lett., **37**, 909 (2001).
- [5] О.И. Медведков, И.Г. Королев, С.А. Васильев. Препринт НЦВО ИОФ РАН № 6 (2004).
- [6] В.П. Дураев. Фотоника, № 3, 24 (2007).

Редактор Т.А. Полянская

Single-mode tunable semiconductor laser

V.P. Duraev, S.V. Medvedev

Abstract The results of work on the creation of single-frequency tunable wavelength semiconductor lasers with an external cavity based on fiber Bragg gratings formed in a single-mode fiber are presented. The methods of discrete and continuous tuning of the emission wavelength are considered. Given in the work lasers can generate dynamically stable emission with a narrow linewidth of 10 kHz in the range of 635–1650 nm.