

В. П. Дурьев, С. В. Медведев (Москва, ЗАО «Новая лазерная технология»). **Перестраиваемые полупроводниковые лазеры для передачи информации.**

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 докладе 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 применений, 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].

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

В докладе представлены результаты разработки и исследований характеристик одночастотных перестраиваемых полупроводниковых лазеров с волоконно-брэгговской решеткой в диапазоне длин волн $650 \div 1650$ нм.

2. Экспериментальная часть. Одним из основных условий при создании стабильного одночастотного режима ЛД с волоконно-брэгговской решеткой является исключение собственных мод Фабри–Перо. С этой целью нами предложена конструкция ЛД с искривленным активным каналом и с просветленным предним зеркалом.

Длина волны генерации лазера с брэгговской решеткой определяется из соотношения $2\Lambda n_{\text{eff}} = m\lambda_B$ где Λ — период решетки, λ_B — длина волны лазера, n_{eff} — эффективный показатель преломления, m — порядок волновой моды.

Ширина линии генерации определялась из формулы Шавлова–Таунса: $\Delta\nu = h\nu\theta l_{\text{tot}}T_{\text{oc}}/(4\pi T_{\text{rt}}^2 P_{\text{out}})$, где T_{oc} — коэффициент деления выходного ответвителя, l_{tot} — полные потери в резонаторе, T_{rt} — время облета резонатора, θ — коэффициент спонтанного излучения.

В работе использовались лазеры на основе гетероструктур InGaAs/GaAs и InGaAsP/InP с квантово-размерными слоями, изготовленными методом МОС-гидридной эпитаксии [4]. 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.

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 (244 нм) в схеме с интерферометром Ллойда [5]. Длина решеток составляла 4–7 мм.

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. 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).

Для дискретной перестройки между четырьмя длинами волн использовался волоконный световод с четырьмя брэгговскими решетками, имеющими различные резонансные длины волн. Решетки были сформированы УФ-излучением путем последовательной экспозиции одного и того же участка волоконного световода. Коэффициент отражения решеток составлял 25%. Спектральная ширина пиков отражения была 0,3 нм при расстоянии между ними 0,4 нм.

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 $0,1^\circ\text{C}$.

Получены следующие результаты для плавной перестройки: диапазон перестройки — 1,5 нм; шаг перестройки — менее 0,02 нм; мощность излучения — 5–10 мВт.

Таким образом, 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. Одночастотные перестраиваемые полупроводниковые лазеры нашли самое широкое применение в волоконно-оптических системах передачи информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Duraev V. P., Melnikov A. V.* — Spectrochimica Acta, part A, 1996, v. 52, p. 877–879.
2. *Дураев В. П., Неделкин Е. Т.* Полупроводниковые лазеры с волоконно брэгговской решеткой и узким спектром генерации на длинах волн 1530–1560 нм. — Квантовая электроника, 2001, т. 31, № 6.
3. *Hashimoto J. I. et al.* — J. Lightwave Technol., 2003, v. 21, p. 2002–2009.
4. *Mikhailov V., Bayvel P., Wyatt R., Lealman I.* Electronics Letters, 2001, v. 37, p. 909–910.
5. *Медведков О. И., Королев И. Г., Васильев С. А.* Запись волоконных брэгговских решеток в схеме с интерферометром Ллойда и моделирование их спектральных свойств. Препринт. М: НЦВО ИОФ РАН, 2004, № 6.
6. *Дураев В. П.* — Фотоника, 2007, № 3, с. 24–29.