

Измерение ширины линии излучения одночастотного полупроводникового лазера с использованием кольцевого волоконного интерферометра

А.И.Трикшев, А.С.Курков, В.Б.Цветков, Ю.Н.Пырков, В.Н.Парамонов

Реализован простой сканирующий интерферометр для измерения ширины линии излучения одночастотных полупроводниковых лазеров. Область свободной дисперсии интерферометра составляет 28 МГц, спектральное разрешение – 470 кГц.

Ключевые слова: кольцевой волоконный интерферометр, одночастотный полупроводниковый лазер, ширина линии излучения.

1. Введение

Уникальное сочетание свойств одночастотных инжекционных лазеров – высокой монохроматичности излучения, большого КПД и исключительно малых размеров – определяет их исключительные возможности при использовании в когерентных рефлектометрах, системах когерентного сложения, стандартах частоты и др. [1–4]. Одним из ключевых параметров этих лазеров является ширина линии излучения, измерение которой представляет собой нетривиальную задачу, т.к. ожидаемая ширина не превышает нескольких мегагерц, а спектральное разрешение стандартных спектроанализаторов составляет 0.01 нм. В настоящей работе для измерения ширины линии излучения предлагается использовать достаточно простой сканирующий кольцевой волоконный интерферометр. Подобные устройства уже применялись для селекции мод полупроводникового лазера и сужения спектра его излучения [5–9].

2. Методика измерения

Измерялся спектр излучения полупроводникового лазера на основе InGaAs-структуры с распределенным волоконным брэгговским зеркалом. Передняя грань лазера была просветлена, и излучение вводилось в одномодовое оптическое волокно с записанной в нем брэгговской решеткой [10, 11]. На длине волны 1064 нм решетка имела максимальный коэффициент отражения около 30%. Максимальная мощность излучения лазера составляла 25 мВт. Излучение лазера было линейно поляризованным, при этом степень поляризации превышала 0.99.

Схема волоконного интерферометра представлена на рис.1. Излучение лазера 1 вводилось в интерферометр через оптический изолятор 2 (степень изоляции –40 дБ), исключая влияние излучения, распространяющегося

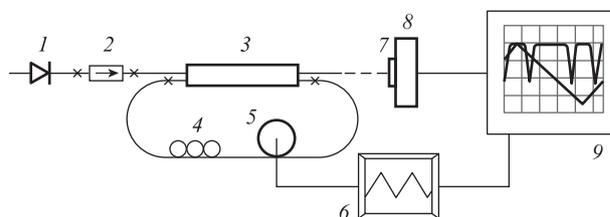


Рис.1. Схема волоконного кольцевого интерферометра: 1 – диод; 2 – изолятор; 3 – волоконный ответвитель; 4 – контроллер поляризации; 5 – пьезоэлемент; 6 – генератор; 7 – оптический фильтр; 8 – фотоприемник; 9 – осциллограф.

в обратном направлении, на работу полупроводникового лазера. С выхода изолятора излучение попадало в сплавной волоконный ответвитель 3 с коэффициентом деления 20:1. При этом плечо, в которое выводилась меньшая часть мощности излучения, замыкалось в кольцо. Длина волоконной части интерферометра составляла 7 м. Волоконный световод имел длину волны отсечки первой высшей моды 1 мкм, что обеспечивало одномодовый режим распространения излучения полупроводникового лазера. Область свободной дисперсии волоконного кольцевого интерферометра в соответствии с [12] определяется как

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{nL}, \quad \Delta f = \frac{c}{nL}, \quad (1)$$

где λ – длина волны; f – частота излучения; c – скорость света в вакууме; n – показатель преломления сердцевины волокна; L – длина плеча интерферометра.

Спектральные ширины аппаратных функций $\Delta\lambda$ и Δf

$$\delta\lambda = \frac{\Delta\lambda(1-r)}{\pi\sqrt{r}}, \quad \delta f = \frac{\Delta f(1-r)}{\pi\sqrt{r}}, \quad (2)$$

где $r = 0.95$ (значение r определяется коэффициентом деления ответвителя).

Исходя из соотношений (1), (2), область свободной дисперсии интерферометра составляет 28 МГц, а спектральная ширина аппаратной функции – 470 кГц. С целью ком-

А.И.Трикшев, А.С.Курков, В.Б.Цветков, Ю.Н.Пырков. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: trikshev_gpi@mail.ru
В.Н.Парамонов. Научный центр волоконной оптики РАН, Россия, 119991 Москва, Вавилова, 38

пенсации изменения состояния поляризации в интерферометре в схему был включен контроллер поляризации 4 (рис.1).

Для сканирования оптической длины интерферометра часть волоконного световода была намотана на пьезоэлектрический элемент 5 цилиндрической формы диаметром 5 см, длина волокна на пьезоэлементе составляла около 6 м. При подаче напряжения на пьезоэлемент его диаметр увеличивается и соответственно изменяется длина оптического пути. Чтобы исключить нелинейные искажения, импульсы напряжения, подаваемые на пьезоэлемент генератором 6, имели треугольную форму. Амплитуда напряжения на пьезоэлементе составляла 28 В, что обеспечивало изменение длины оптического пути порядка длины волны. Частота модуляции равнялась 100 Гц. Излучение с выхода интерферометра подавалось через фильтр 7 на фотоприемник 8 и анализировалось цифровым осциллографом 9.

3. Результаты и их обсуждение

На рис.2 представлены результаты измерения ширины линии при двух значениях выходной мощности полупроводникового лазера. Данные на рис.2,*а* получены вблизи порога генерации лазера при токе накачки 35 мА. В этом режиме ширина линии излучения составила 8.5 МГц. При

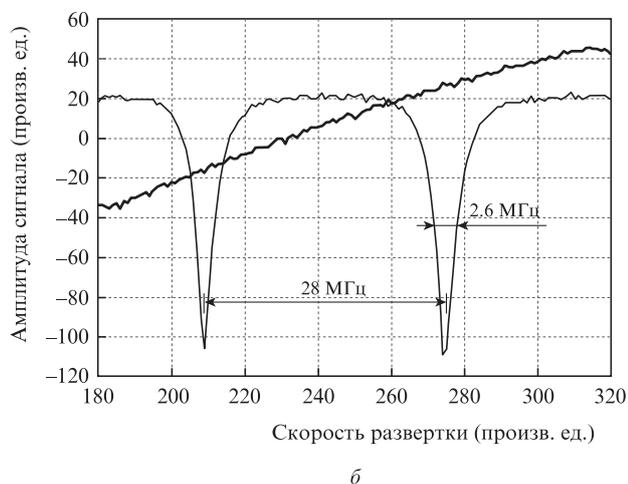
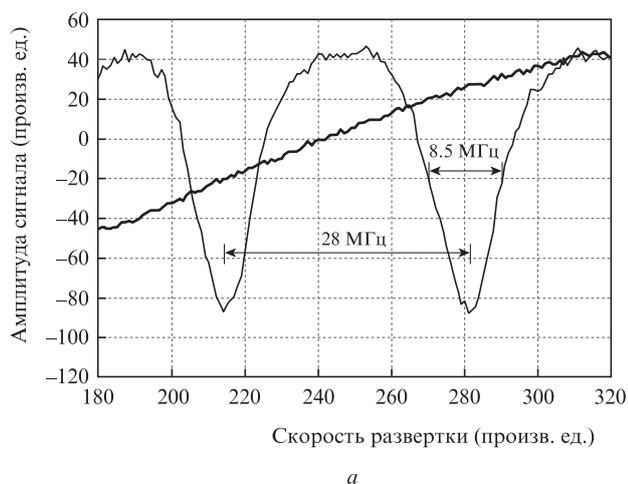


Рис.2. Интерферограммы, полученные на пороге генерации (*а*) и при оптимальном режиме работы лазера (*б*).

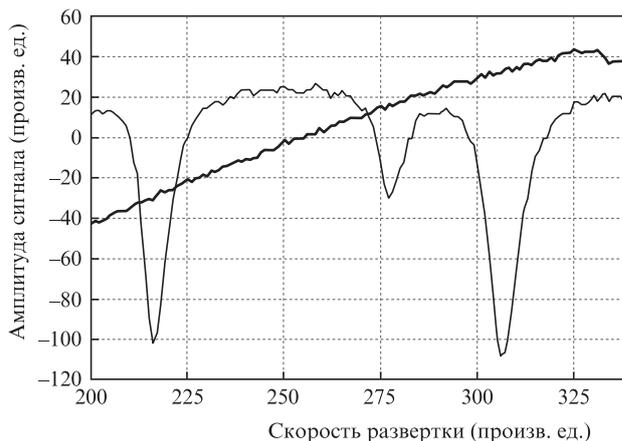


Рис.3. Интерферограмма, полученная без использования контроллера поляризации.

большем токе накачки, когда мощность лазера достигала 16 мВт, ширина линии сужалась до 2.6 МГц (рис.2,*б*). Дальнейшее увеличение тока (до 160 мА) приводило к нестабильности осциллограммы и изменению во времени ширины линии излучения. Следует отметить, что ширина линии и стабильность интерференционной картины зависели от температуры лазерного диода, которая оптимизировалась по наблюдаемой интерферограмме.

На рис.3 показано влияние изменения состояния поляризации на интерференционную картину. Представленная на этом рисунке осциллограмма была получена без использования контроллера поляризации. Виден третий пик, возникновение которого обусловлено появлением излучения с перпендикулярным направлением поляризации. Введение контроллера поляризации позволяет восстановить линейное состояние поляризации и устранить появление на интерферограмме дополнительного пика.

На основании приведенных данных можно сделать вывод о том, что рассмотренный сканирующий волоконный интерферометр позволяет не только измерять ширину линии излучения одночастотного лазера, но и контролировать оптимальные (с точки зрения ширины линии) ток накачки и температуру лазерного диода. Как следует из формулы (2), спектральное разрешение метода можно улучшить, увеличив длину волоконного световода, используемого в интерферометре. Однако при этом возникнет необходимость в защите волокна от внешних температурных и акустических воздействий, которые могут привести к флуктуациям оптического пути. Кроме того, может потребоваться использование световода, поддерживающего поляризацию, т. к. существенное увеличение его длины может привести к деполаризации распространяющегося излучения.

Таким образом, реализован простой сканирующий волоконный интерферометр для измерения ширины линии полупроводникового одночастотного лазера с разрешением 470 кГц. Интерферометр может быть также использован для оптимизации тока накачки и температуры лазерного диода.

1. Горшков Б.Г., Парамонов В.М., Курков А.С., Кулаков А.Т., Заирный М.В. *Квантовая электроника*, **36**, 963 (2006).
2. Вдовенко В.С., Горшков Б.Г., Заирный М.В., Кулаков А.Т., Курков А.С., Парамонов В.М. *Квантовая электроника*, **41**, 176 (2011).

3. Goodno G.D., Komine H., McNaught S.J., Weiss S.B., Redmond S., Long W., Simpson R., Cheung E.C., Howland D., Epp P., Weber M., McClellan M., Sollee J., Injevan H. *Opt. Lett.*, **31**, 1247 (2006).
4. Бакланов Е.В., Покасов П.В. *Квантовая электроника*, **33**, 383 (2003).
5. Bulushev A.V., Dianov E.M., Kuznetsov A.V., Okhotnikov O.G. *Electron. Lett.*, **24**, 1172 (1988).
6. Булушев А.Г., Дианов Е.М., Кузнецов А.В., Охотников О.Г., Парамонов В.М. *Письма в ЖТФ*, **15**, 48 (1989).
7. Богатов А.П., Елисеев П.Г., Охотников О.Г., Рахвальский М.П., Хайретдинов К.А. *Письма в ЖТФ*, **10**, 397 (1984).
8. Булушев А.Г., Дианов Е.М., Кузнецов А.В., Охотников О.Г. *Квантовая электроника*, **16**, 733 (1989).
9. Богатов А.П., Елисеев П.Г., Коблиджанов О.А. *Квантовая электроника*, **13**, 2414 (1986).
10. Журавлева О.В., Иванов А.В., Леонович А.И., Курносов В.Д., Курносов К.В., Чернов Р.В., Шишков В.В., Плешанов С.А. *Квантовая электроника*, **36**, 741 (2006).
11. Дураев В.П., Лутц Г.Б., Неделин Е.Т., Сумароков М.А., Медведков О.И., Васильев С.А. *Квантовая электроника*, **37**, 1143 (2007).
12. Матвеев А.Н. *Оптика* (М.: Высшая школа, 1985).