

Исследование режима синхронизации мод в полупроводниковом лазере при СВЧ накачке в условиях припороговой генерации

С.Н.Багаев, В.Ф.Захарьяш, А.В.Каширский, В.М.Клементьев, С.А.Кузнецов, В.С.Пивцов

Исследуются условия получения активной синхронизации мод в полупроводниковом лазере с трёхзеркальным резонатором при СВЧ модуляции тока накачки. Найдена область синхронизации мод с минимальной шириной спектра межмодовых биений, когда частота СВЧ поля близка к межмодовой частоте внешнего резонатора. Показано, что эта область находится вблизи порогового тока накачки.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, активная синхронизация мод, ток накачки, спектр биений.

Одной из важнейших современных проблем является создание оптических систем синтеза частот, охватывающих широкие области спектра – от радио- до УФ диапазона. Разработка методов и элементов синтеза любых частот в этой области [1–3] открывает возможности для создания новых спектральных приборов с уникальными параметрами. К этой же проблеме примыкает проблема создания стандартов частоты и времени СВЧ и оптического диапазонов на основе современных достижений лазерной техники в области полупроводниковых лазеров [4–11].

Однако успешное применение полупроводниковых лазеров, обладающих рядом положительных характеристик (возможность перестройки частоты, компактность и др.), осложняется некоторыми их недостатками, связанными с получением узких линий генерации, с проблемами широкой перестройки частоты, получением режима синхронизации мод со сравнительно широким спектром и др. В работе [5] сообщалось о генерации эквидистантных мод в полупроводниковом лазере с внешним резонатором с дифракционной решеткой. Рассмотрен эффект влияния СВЧ модуляции на межмодовую частоту на число генерируемых мод. При этом ширина линии генерации была равна в среднем около 8 МГц. Максимальная ширина спектра, полученная в режиме пассивной модуляции добротности [7], составила 15–16 нм (длина волны ~ 860 нм), длительности импульсов, достигнутые в режиме активной модуляции добротности, равны ~ 5 пс [8, 9, 10] (ширина спектра ~ 6 нм); отмечено влияние коэффициента отражения выходной грани полупроводникового лазера на характеристики импульсов. Приведенные результаты позволяют надеяться на возможность применения полупроводниковых лазеров для генерации широких спектров частот.

В настоящей работе получен режим активной синхронизации мод в трёхзеркальном полупроводниковом ла-

зере посредством СВЧ модуляции по припороговому току на частоте, близкой к межмодовой частоте внешнего резонатора. Эффект синхронизации наблюдается по спектру межмодовых биений на анализаторе спектра. При синхронизации мод происходит резкое сужение их спектра.

На рис.1 приведена блок-схема экспериментального устройства для исследования режимов работы полупроводникового лазера при СВЧ накачке. Устройство состоит из собственно лазера с внешним зеркалом, источника питания, СВЧ генератора, фотоприемника и анализатора спектра. В отличие от [6], где использована дифракционная решетка, внешний резонатор образован широкополосным (металлическим) зеркалом. В резонатор введена также коллимирующая линза. Модуляция полупроводникового лазера осуществляется непрерывным СВЧ генератором, включенным параллельно источнику постоянного тока через конденсатор 9. Диапазон частот СВЧ генератора составляет 290–1200 МГц, мощность излучения плавно регулируется в пределах 0–0.3 Вт. В экспериментальном устройстве использованы источник тока 3 с относительной стабильностью 10^{-4} и блок термостабилизации 4 с погрешностью установки температуры $\pm 10^{-2}$ °С. Внешний резонатор образован зеркалом с коэффициентом отражения по полю $\rho \simeq 0.4$ и выходным сколом диода с $\rho_d \simeq 0.03$. При этом коэффициент обратной связи T составляет ~ 0.67 . Эти условия согласно [12] соответствуют величине связи, при которой в формировании модового состава участвуют внешний и внутренний резонаторы.

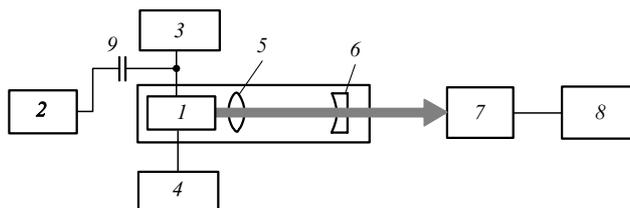


Рис.1. Блок-схема экспериментального устройства для исследования режимов работы полупроводникового лазера: 1 – полупроводниковый лазер; 2 – СВЧ генератор; 3 – блок питания; 4 – блок термостабилизации; 5 – линза; 6 – внешнее зеркало; 7 – фотоприёмник; 8 – анализатор спектра; 9 – конденсатор.

С.Н.Багаев, В.Ф.Захарьяш, А.В.Каширский, В.М.Клементьев, С.А.Кузнецов, В.С.Пивцов. Институт лазерной физики СО РАН, Россия, 630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 13/3; e-mail: clock@laser.nsc.ru

Поступила в редакцию 14 августа 2003 г., после доработки – 10 марта 2004 г.

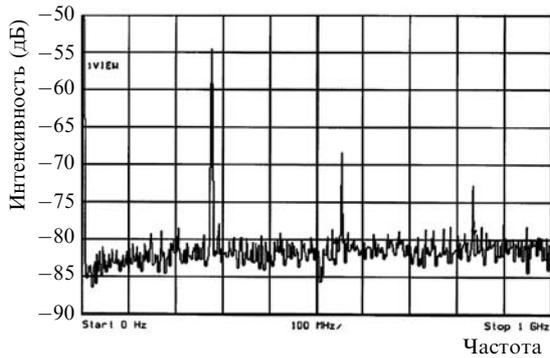


Рис.2. Спектр межмодовых биений.

На рис.2 приведена характерная спектрограмма, демонстрирующая получение межмодовых биений на предпороговом токе ~ 27 мА (пороговый ток полупроводникового лазера равнялся ~ 28 мА), при условии равенства частоты СВЧ поля межмодовой частоте внешнего резонатора лазера. Уровень мощности СВЧ генератора при этом был равен 10 мВт, межмодовая частота составляла ~ 260 МГц. Число наблюдавшихся мод определялось быстродействием фотодетектора 7. В дальнейшем для определения числа синхронизованных мод предполагается применять сверхбыстродействующие детекторы типа диода Шоттки с полосой до 3 ТГц.

На рис.3,а представлена спектрограмма сигнала межмодовых биений, спектральная ширина которого $\Delta f_{bt} < 4$ кГц, на рис.3,б для сравнения приведена ширина спектра сигнала СВЧ генератора, нагруженного на полупроводниковый лазер. Тщательное сравнение показывает, что несмотря на наличие технических шумов спектральная ширина линии СВЧ генерации в ~ 1.2 раза превышает ширину спектра биений.

Значительное внимание было уделено нахождению параметров (ток накачки полупроводникового лазера и мощность СВЧ генератора), при которых достигается минимальная спектральная ширина биений Δf_{bt} . Резуль-

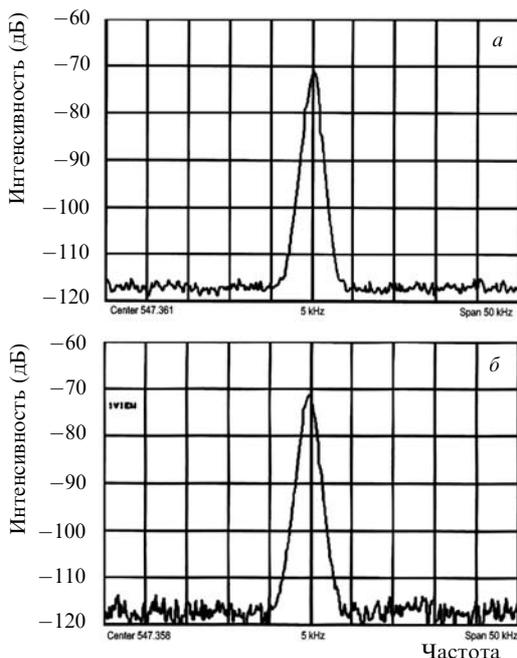


Рис.3. Спектры отдельной компоненты межмодовых биений (а) и сигнала СВЧ генератора, нагруженного на полупроводниковый лазер (б).

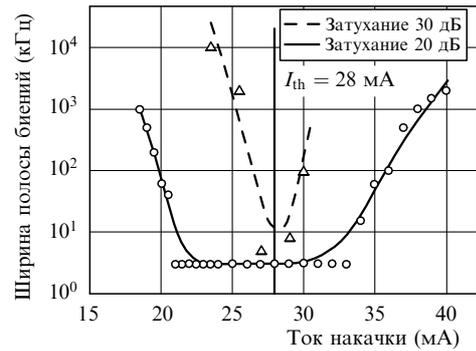


Рис.4. Зависимость спектральной ширины биений от тока накачки полупроводникового лазера при разных значениях уровня СВЧ накачки.

таты этих экспериментальных исследований приведены на рис.4. Вертикальная линия соответствует пороговому току I_{th} и делит область на две части – допороговую и превышающую порог; таким образом, видна зависимость Δf_{bt} от I до и после порога генерации по постоянному току. Видно, что спектральная ширина биений достигает минимальных значений в области I_{th} (в данном случае 28 ± 5 мА) и зависит от уровня СВЧ мощности. Это означает также, что имеется область токов, в которой легко достигается синхронизация мод (область синхронизации мод), расположенная вблизи порогового тока (рис.4). Для данного диода эта область практически максимальна, поскольку дальнейшее увеличение уровня СВЧ мощности приводит к выходу из строя полупроводникового лазера. Возникновение режима синхронизации мод проверялось по генерации импульсов с частотой повторения, равной межмодовой частоте внешнего резонатора.

В заключение следует отметить необходимость дальнейших более детальных исследований обнаруженного эффекта сужения спектра биений (синхронизации мод) в области токов, близких к пороговому, а также эффекта амплитудного сжатия при более слабых обратных связях, но при многомодовом режиме [12] в условиях синхронизации мод. Это относится прежде всего к исследованию факторов, влияющих на спектр биений, к получению как можно более широкого спектра синхронизованных мод и т. д.

Авторы благодарны С.В.Чепурову за помощь и полезные советы. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 01-02-16922).

- Hall J.L., Ye J. *Optics & Photonics News*, **12** (2), 44 (2001).
- Bagaev S.N., Chepurov S.V., Klementyev V.M., Kuznetsov S.A., Pivtsov V.S., Zakharyash V.F. *Appl. Phys. B*, **70**, 375 (2000).
- Желтиков А.М. *УФН*, **170**, 1203 (2000).
- Miller A., Sibbett W. *J. of Modern Optics*, **35** (12), 1871 (1988).
- Багаев С.Н., Волков В.Г., Ивашко Д.Ю., Матюгин Ю.А., Фатеев Н.В. *Квантовая электроника*, **26** (2), 102 (1999).
- Фофанов Я.А., Соколов И.В. *Оптика и спектроскопия*, **91** (4), 550 (2001).
- Васильев П.П., Голдобин И.С. *Квантовая электроника*, **15** (12), 2421 (1988).
- Бессонов Ю.Л., Богатов А.П., Васильев П.П., Морозов В.Н., Сергеев А.Б. *Квантовая электроника*, **9** (11), 2323 (1982).
- Van der Ziel J.P. *J. Appl. Phys.*, **52** (7), 4435 (1981).
- Bowers J.E., Morton P.A., Mar A., Corzine S.W. *IEEE J. Quantum Electron.*, **25** (6), 1426 (1989).
- Burns D., Finch A., Sleat W., Sibbett W. *IEEE J. Quantum Electron.*, **26** (11), 1860 (1990).
- Трифонов А.С. *Оптика и спектроскопия*, **86** (1), 126 (1999).