

Одночастотный гибридный лазер с выходной мощностью до 3 Вт на длине волны 1064 нм

А.И.Триксев, А.С.Курков, В.Б.Цветков

Создан мощный одночастотный лазер, излучающий в непрерывном режиме на длине волны 1064 нм с выходной мощностью 2.5 Вт. Использовалась гибридная схема на основе задающего одночастотного полупроводникового лазера (длины волны 1064 нм, ширина линии генерации менее 3 МГц) и двухкаскадного волоконного усилителя с накачкой от мощных лазерных диодов. При мощности накачки 4.8 Вт в первом каскаде и 6.8 Вт во втором каскаде общий коэффициент усиления составил около 100.

Ключевые слова: одночастотный полупроводниковый лазер, волоконный усилитель, диодная накачка.

1. Введение

Современная тенденция развития твердотельных, в частности волоконных, лазеров состоит в увеличении их выходной мощности. Основным фактором, ограничивающим выходную мощность волоконных лазеров, является воздействие нелинейных эффектов – вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР), вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ) и др. В результате максимальная мощность волоконных лазеров с параметром качества пучка, близким к единице, ограничена значением ~ 1 кВт. Для получения высокой плотности мощности предлагается использовать когерентное сложение излучения от нескольких источников [1, 2].

Все это требует разработки и реализации мощного одночастотного задающего генератора, обеспечивающего достаточную длину когерентности. Общепринятым подходом является использование задающего узкополосного генератора и нескольких каскадов волоконных усилителей [3–5]. В большинстве работ в качестве задающего генератора используют одночастотный волоконный лазер с шириной линии генерации ~ 10 кГц. Один из главных недостатков таких лазеров – высокая чувствительность частоты излучения к внешним воздействиям. Активной средой, как правило, служит иттербиевое волокно с двойной оболочкой, поэтому для осуществления накачки приходится применять специализированные мультиплексоры.

В настоящей работе мы предлагаем использовать гибридную схему. Задающим генератором является полупроводниковый лазер с частотной селекцией, осуществляемой волоконной брэгговской решеткой. Лазер обладает большой устойчивостью к внешним воздействиям, поскольку и полупроводниковая структура, и брэгговская решетка находятся в термостабилизированном корпусе. В качестве активной среды используется иттербиевое во-

локно с многоэлементной оболочкой. Цель работы – реализация мощного иттербиевого усилителя, а также исследование влияния усиления на ширину спектра излучения гибридного лазера и состояние его поляризации.

2. Экспериментальные результаты

В качестве задающего генератора использовался одночастотный полупроводниковый лазер на основе InGaAs-структуры с распределенным волоконным брэгговским зеркалом [6]. Передняя грань лазера была просветлена, и излучение вводилось в одномодовый волоконный световод с записанной в нем брэгговской решеткой. Максимальный коэффициент отражения решетки был $\sim 30\%$ на длине волны 1064 нм. Максимальная мощность излучения полупроводникового лазера составляла 25 мВт. Излучение лазера было линейно поляризовано (степень поляризации близка к 0.99). Выбор длины волны 1064 нм основывался на том, что данный лазер будет применяться как задающий генератор в мощной лазерной системе на твердотельных усилителях, где в качестве активной среды выступают кристаллы, легированные ионами неодима.

Активной средой усилителя служил волоконный световод с алюмосиликатной сердцевиной, легированной ионами иттербия, и накачкой в оболочку. Такой световод обычно используется в мощных волоконных лазерах [7]. Для лучшего объединения излучений сигнала и накачки активное волокно имело многоэлементную оболочку [8]. Диаметр сердцевины был равен 13 нм, разность показателей преломления сердцевины и оболочки $\Delta n = 3 \times 10^{-3}$. Поглощение на длине волны накачки 910 нм при вводе в оболочку составило 0.8 дБ/м.

В нашем случае создать однокаскадную систему с необходимым коэффициентом усиления (~ 100) не удалось, поскольку при большом коэффициенте усиления возникла спонтанная генерация в диапазоне 1080–1090 нм, соответствующем максимуму спонтанной люминесценции для иттербиевых волокон на основе алюмосиликатного стекла с накачкой в оболочку [9]. В двухкаскадной системе коэффициент усиления каждого каскада не столь велик, а оптический изолятор, помещенный между каскадами, предотвращает оптическую связь между ними и са-

А.И.Триксев, А.С.Курков, В.Б.Цветков. Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: trikshev_gpi@mail.ru

Поступила в редакцию 10 января 2012 г., после доработки – 12 марта 2012 г.

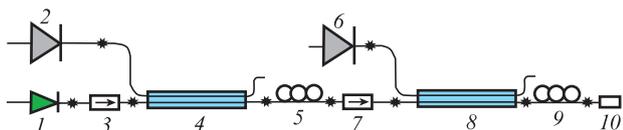


Рис.1. Схема одночастотного гибридного лазера: 1 – одночастотный полупроводниковый лазер; 2, 6 – лазерные диоды накачки; 3 – оптический изолятор (300 мВт); 4, 8 – GTWave-волокно; 5, 9 – контроллеры поляризации; 7 – оптический изолятор (3 Вт); 10 – коллиматор.

мовозбуждение генерации. Это позволяет увеличить суммарный коэффициент усиления всей системы.

Схема двухкаскадного усилителя представлена на рис.1. Задающим генератором служил одночастотный полупроводниковый лазер 1 с шириной линии генерации менее 3 МГц, для измерения которой использовался сканирующий волоконный кольцевой интерферометр [10]. На рис.2 показан спектр излучения на выходе системы, полученный с помощью сканирующего волоконного кольцевого интерферометра. Ширина линии излучения на выходе усилителя составляла 3.3 ± 0.1 МГц.

В качестве источников излучения накачки использовались мощные лазерные диоды 2, 6, излучающие на длине волны 915 нм. Активной средой служило GTWave-волокно 4, 8, активная сердцевина которого легирована ионами иттербия. Длина волокна каждого каскада составила 15 м, она оптимизировалась по максимальному коэффициенту усиления на длине волны генерации 1064 нм. Для защиты задающего одночастотного лазера в схему были включены оптические изоляторы 3 (предельно допустимая мощность 300 мВт) и 7 (предельно допустимая мощность 3 Вт), а также коллиматор 10 с малым коэффициентом отражения (уровень отраженного сигнала –60 дБ) на длине волны генерации. Для восстановления линейности поляризации использовались контроллеры поляризации 5 и 9. Спектры излучения после 1-го каскада и на выходе всей системы, полученные при различных мощностях накачки, представлены на рис.3. Максимум линии генерации одночастотного полупроводникового лазера приходится на длину волны 1063.35 нм.

На рис.4 показана зависимость мощности излучения после первого каскада от мощности накачки, а на рис.5 – зависимость мощности на выходе всей системы от мощности накачки во втором каскаде при постоянной мощности накачки в первом каскаде (4.8 Вт). Измерения проводились при оптимальных условиях накачки задающего

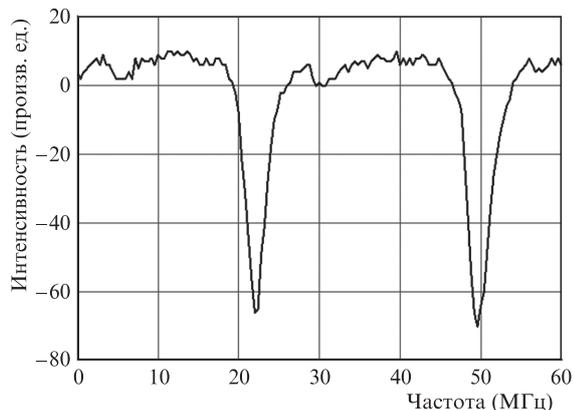


Рис.2. Спектр излучения на выходе системы.

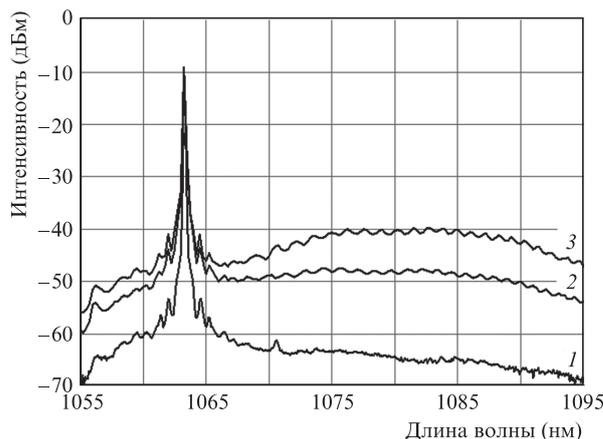


Рис.3. Спектр излучения на выходе 1-го каскада усиления (мощность накачки 3.8 Вт) (1) и спектры излучения на выходе системы: при мощности накачки в первом каскаде 4.8 Вт, во втором – 4 Вт (2); при мощности накачки в первом каскаде 4.8 Вт, во втором – 6.8 Вт (3).

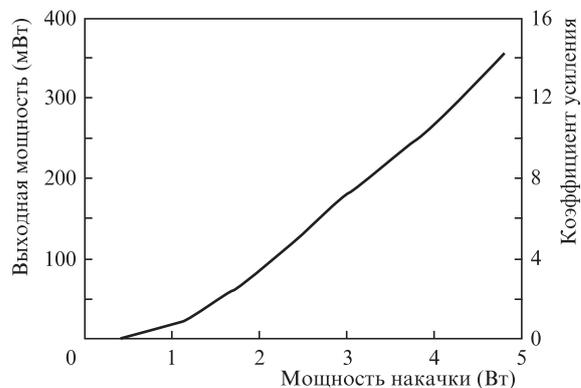


Рис.4. Зависимость мощности излучения и коэффициента усиления на выходе 1-го каскада усиления от мощности накачки.

одночастотного полупроводникового лазера (температура кристалла 22 °С, ток накачки 127 мА). При мощностях накачки 4.8 Вт в первом каскаде и 6.8 Вт во втором каскаде выходная мощность системы составила 2.5 Вт, что соответствует коэффициенту усиления около 100.

Интегрирование по спектру показало, что на спонтанное излучение приходится менее 10% от всей генерируемой мощности. Ограничение выходной мощности связано с возникновением генерации на основной длине волны для иттербия (1085 нм для используемого волокна) при дальнейшем увеличении мощности накачки во втором каскаде. На спектрах 2 и 3 (рис.3) видно, что при увеличении мощности накачки от 4.8 до 6.8 Вт мощность спонтанного излучения увеличилась почти на порядок, тогда как мощность основного излучения – только в 1.5 раза (рис.5).

Без включенных в схему контроллеров поляризации усиленное излучение приобретает эллиптическую поляризацию. Это происходит из-за того, что используемый нами световод не обладает явно выраженным двулучепреломлением. С помощью контроллеров поляризации, установленных на выходе каждого каскада, степень поляризации удалось восстановить до уровня 0.93. Степень поляризации P рассчитывалась по формуле

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \tag{1}$$

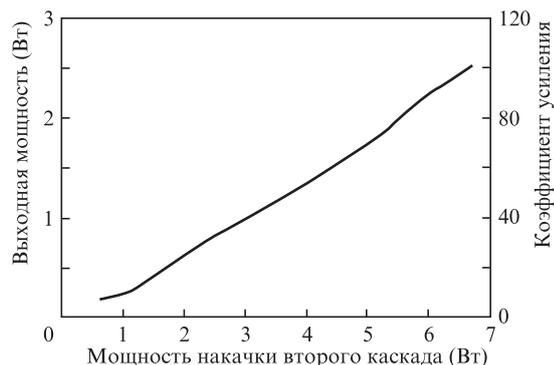


Рис. 5. Зависимость мощности излучения и коэффициента усиления на выходе всей системы от мощности накачки во втором каскаде при постоянной мощности накачки в первом каскаде (4.8 Вт).

где I_{\max} и I_{\min} — максимальная и минимальная интенсивности излучения, прошедшие через поляризатор.

3. Выводы

Проведенные исследования показали, что созданный двухкаскадный волоконный усилитель не меняет в процессе усиления спектральные и поляризационные характеристики задающего одночастотного лазера. Форма и ширина линии при прохождении излучения через двухка-

скадный усилитель изменяются незначительно. Степень поляризации сохраняется на уровне более 0.9. Выходная мощность гибридного лазера составила 2.5 Вт, что соответствует коэффициенту усиления ~ 100 . Полученный гибридный лазер можно использовать как задающий генератор в схеме мощной лазерной установки.

1. 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., Injeyan H. *Opt. Lett.*, **31**, 1247 (2006).
2. Ma Y., Wang X., Leng J., Xiao H., Dong X., Zhu J., Du W., Zhou P., Xu X., Si L., Liu Z., Zhao Y. *Opt. Lett.*, **36**, 6 (2011).
3. Dong X., Xiao H., Zhou P., Wang X., Ma Y., Leng J., Xu X., Liu Z. *Laser Phys.*, **21**, 1108 (2011).
4. Liu C., Qi Y., Ding Y., Zhou J., Dong J., Wei Y., Lou Q. *Chin. Opt. Lett.*, **9**, 031402 (2011).
5. Zeringue C., Vergien C., Dajani I. *Opt. Lett.*, **36**, 618 (2011).
6. Дураев В.П., Неделин Е.Т., Недобывайло Т.П., Сумароков М.А., Шишков В.В. *Квантовая электроника*, **25**, 301 (1998).
7. Курков А.С., Карпов В.И., Лаптев А.Ю., Медведков О.И., Дианов Е.М., Гурьянов А.Н., Васильев С.А., Парамонов В.М., Протопопов В.Н., Умников А.А., Вечканов Н.И., Артюшенко В. Г., Фрам Ю. *Квантовая электроника*, **27**, 239 (1999).
8. Буфетов И.А., Бубнов М.М., Мелькумов М.А., Дудин В.В., Шубин А.В., Семенов С.Л., Кравцов К.С., Гурьянов А.Н., Яшков М.В., Дианов Е.М. *Квантовая электроника*, **35**, 328 (2005).
9. Kurkov A.S. *Laser Phys. Lett.*, **4**, 93 (2007).
10. Трикшев А.И., Курков А.С., Цветков В.Б., Пырков Ю.Н., Парамонов В.Н. *Квантовая электроника*, **41**, 7 (2011).