

## Многомодовый волоконный эрбиевый лазер с накачкой в оболочку

А.С.Курков, В.М.Парамонов, М.В.Яшков, С.Е.Гончаров, И.Д.Залевский

*Описан волоконный лазер на основе эрбиевого световода с многомодовой сердцевиной и накачкой в оболочку. Максимальная выходная мощность на длине волны 1.6 мкм составила 4.2 Вт, дифференциальная эффективность – 30 %.*

**Ключевые слова:** эрбиевый волоконный лазер, световоды с двойной оболочкой, эффективность генерации.

Как правило, достижение высоких выходных мощностей волоконных лазеров подразумевает использование активных световодов с двойной оболочкой. В этом случае излучение накачки от мощных полупроводниковых источников вводится во внешнюю оболочку, а генерация возникает в одномодовой сердцевине, легированной активными ионами [1, 2]. Основным недостатком подобного способа накачки заключается в том, что при этом резко падает коэффициент поглощения излучения накачки. Такое падение объясняется малым перекрытием последнего с активной областью световода. Фактически в световодах с двойной оболочкой сечение поглощения накачки эффективно уменьшается пропорционально отношению площадей оболочки и активной сердцевины, которое обычно составляет  $10^2 - 10^3$ . Это приводит к тому, что в световодах с двойной оболочкой трудно добиться высокой степени инверсии населенности.

В случае трехуровневой системы на эффективность преобразования излучения накачки в лазерную эмиссию сильное влияние оказывает перепоглощение сигнала неинвертированной частью активных ионов. Для широко распространенных иттербиевых волоконных лазеров [3] эта проблема облегчается большим сечением поглощения накачки, на 2–4 порядка превышающим сечение поглощения в области генерации лазера [4]. Эрбиевые волоконные световоды, излучающие в спектральном диапазоне 1.53–1.6 мкм, также имеют трехуровневую схему генерации. Однако в отличие от иттербиевых световодов сечение поглощения накачки в сердцевине эрбиевых световодов в области 980 нм составляет около  $3 \times 10^{-21} \text{ см}^{-1}$ . При этом сечение поглощения сигнала излучения достигает  $6 \times 10^{-21} \text{ см}^{-1}$  на длине волны 1.53 мкм, спадая до  $2 \times 10^{-21} \text{ см}^{-1}$  на длине волны 1.6 мкм. Поэтому в эрбиевых световодах с двойной оболочкой получить инверсную населенность сложнее, чем в иттербиевых, и перепоглощение сигнала в них проявляется сильнее.

Обычно для получения мощной лазерной генерации в этой области спектра используются световоды с двой-

ным легированием: ионами иттербия и эрбия одновременно [5]. В таких световодах ионы иттербия эффективно поглощают накачку и передают энергию возбуждения ионам эрбия, повышая степень инверсии населенности. Однако технология производства световодов с двойным легированием, обеспечивающая высокий коэффициент передачи возбуждения от ионов иттербия к ионам эрбия, сложна, что является недостатком этого способа получения мощной лазерной генерации.

В настоящей работе рассматривается возможность получения эффективной генерации в лазерах на основе эрбиевых световодов с накачкой в оболочку без использования дополнительного легирования ионами иттербия. С целью увеличения поглощения накачки предлагается использовать многомодовый эрбиевый световод с увеличенным диаметром сердцевины.

Для получения генерации применялся световод с активной сердцевиной, имеющей диаметр 20 мкм. Концентрация ионов эрбия в сердцевине составила около  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Кварцевая оболочка световода имела квадратное сечение  $100 \times 100$  мкм. В качестве внешнего покрытия использовался полимер с пониженным показателем преломления, что для излучения накачки обеспечивало числовую апертуру 0.38.

Схема лазера была предельно простой. Накачка осуществлялась через отрезок многомодового световода с записанной в нем брэгговской решеткой, используемой в качестве входного зеркала. Подобная схема описывалась в работах [6, 7] для реализации одномодового и многомодового иттербиевых лазеров. В данном случае решетка имела максимум отражения в области 1600 нм. Эта длина волны генерации была выбрана с целью минимизации перепоглощения сигнала из-за неполной инверсии активной среды. Отрезок многомодового световода был сварен с отрезком активного световода, выходной торец которого являлся выходным отражателем. Длина активного световода составила около 25 м. Для накачки использовался полупроводниковый источник «Лахта» («Милон-Лазер», С.-Петербург). Источник имел длину волны излучения в области 975 нм и максимальную выходную мощность 18 Вт.

Зависимость выходной мощности лазера от введенной мощности накачки на длине волны 1600 нм представлена на рис.1. Максимальная выходная мощность достигла 4.1 Вт. Дифференциальная эффективность лазера составила 30 %, что соответствует квантовой дифференциальной эффективности около 50 %. В соответствии с

А.С.Курков, В.М.Парамонов. Научный центр волоконной оптики РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: kurkov@fo.gpi.ru

М.В.Яшков. Институт химии высокочистых веществ РАН, Россия, 603150 Нижний Новгород, ул. Тропинина, 49

С.Е.Гончаров, И.Д.Залевский. Группа «Милон», 105318 Россия, Москва, Щербаковская ул., 53

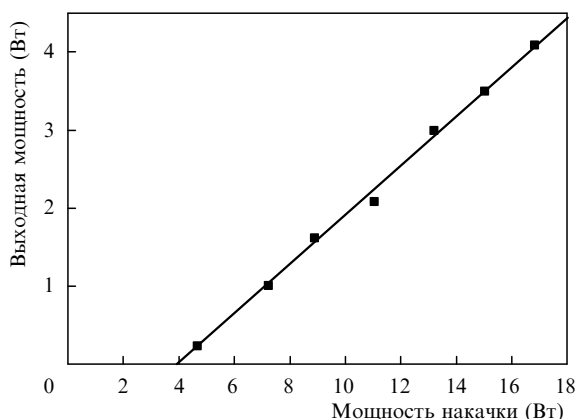


Рис.1. Выходная мощность лазера на длине волны 1600 нм в зависимости от введенной мощности накачки.

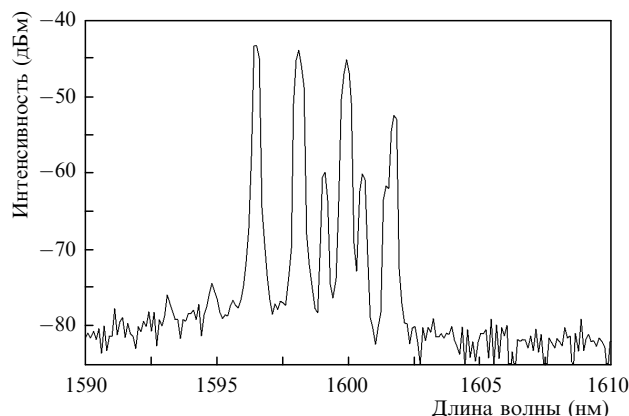


Рис.2. Спектр излучения волоконного лазера.

результатами работы [8] для использованной концентрации ионов эрбия максимальная квантовая эффективность составляет около 80 %. Снижение эффективности лазера объясняется неполным использованием излучения накачки. Так, при уровне введенной мощности 18 Вт примерно 2 Вт излучения накачки не поглотилось. Кроме того, сказывается влияние избыточных оптических потерь в оболочке, которые составили около 1 дБ на длине использованного отрезка активного световода.

Спектр излучения волоконного лазера представлен на рис.2. Он состоит из набора полос, расположенных в спектральном интервале 1597–1602 нм. Сложная структура выходного спектра объясняется тем, что различные группы мод имеют несколько разные длины волн отражения от многомодовой брэгговской решетки.

Таким образом, мы показали, что для достижения достаточно высоких мощностей в области 1600 мкм можно использовать эрбиевые волоконные световоды с накачкой в оболочку. При этом активный световод должен иметь достаточно большой диаметр сердцевины. Одним из возможных применений таких лазеров является их использование в лазерной медицине.

Авторы благодарят О.И.Медведкова за изготовление брэгговской решетки. Работа была поддержана РФФИ (проект 05-02-17434-а).

1. Gapontsev V.P., Samartsev I.E., Zayats A.A., Loryan R.R. *Proc. Conf. Adv. Solid State Lasers*, WC1-1, 214 (1991).
2. Курков А.С., Дианов Е.М. *Квантовая электроника*, **34**, 881 (2004).
3. 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).
4. Мелькумов М.А., Буфетов И.А., Кравцов К.С., Шубин А.В., Дианов Е.М. *Квантовая электроника*, **34**, 843 (2004).
5. Vienne G.G., Caplen J.E., Dong L., Minelly J.D., Nilsson J., Payne D.N. *J. Lightwave Techn.*, **16**, 1990 (1998).
6. Kurkov A.S., Gruk D.A., Medvedkov O.I., Paramonov V.M., Dianov E.M., Yashkov M.V., Vechkanov N.I., Guryanov A.N. *Laser Phys. Lett.*, **1**, 473 (2004).
7. Курков А.С., Грух Д.А., Медведков О.И., Парамонов В.М., Дианов Е.М. *Квантовая электроника*, **35**, 339 (2005).
8. Плоцкий А.Ю., Курков А.С., Яшков М.Ю., Бубнов М.М., Лихачев М.Е., Сысолятин А.А., Гурьянов А.Н., Дианов Е.М. *Квантовая электроника*, **35**, 559 (2005).