

## Непрерывный висмутовый волоконный лазер

Е.М.Дианов, В.В.Двойрин, В.М.Машинский, А.А.Умников, М.В.Яшков, А.Н.Гурьянов

*Впервые предложен и реализован новый волоконный лазер на основе световодов из алюмосиликатного стекла, активированного висмутом. Получена непрерывная лазерная генерация в спектральном диапазоне 1150–1300 нм. Световоды изготовлены методом химического осаждения из газовой фазы.*

**Ключевые слова:** телекоммуникации, активные световоды, волоконный лазер.

В связи с необходимостью расширения спектрального диапазона волоконно-оптических линий связи возрастает потребность в активном освоении второго телекоммуникационного окна прозрачности (1.20–1.35 мкм), которое характеризуется достаточно низкими оптическими потерями и малой хроматической дисперсией кварцевого стекла [1]. В то же время для этой области до сих пор не созданы эффективные лазеры и усилители на основе активных световодов из кварцевого стекла, совместимые со стандартными телекоммуникационными волокнами.

В последнее время появились сообщения о наблюдении широкополосной люминесценции в ближней ИК области спектра (1.1–1.7 мкм) в ряде стекол (силикатных, германатных, фосфатных, боратных), легированных висмутом и полученных наплавом шихты в тигле [2–6]. При этом природа люминесцирующих центров еще не вполне ясна.

Недавно мы впервые сообщили об изготовлении методом химического осаждения из газовой фазы (MCVD) волоконных световодов, легированных висмутом, и о результатах их спектроскопических исследований [7]. Спектральное положение (1050–1200 нм), ширина полосы (150–200 нм) и большое время жизни (около 1 мс) люминесценции делают такие световоды перспективными для создания перестраиваемых и фемтосекундных лазеров, а также широкополосных усилителей для второго телекоммуникационного окна. В данной работе мы сообщаем о первом получении лазерной генерации в световодах такого типа.

Заготовки для одномодовых волоконных световодов изготавливались методом MCVD с использованием опорной трубки из кварцевого стекла. Сердцевина заготовок формировалась осаждением оксидов алюминия и кремния из газовой фазы. Легирование оксидом висмута осуществлялось методом пропитки пористого слоя стек-

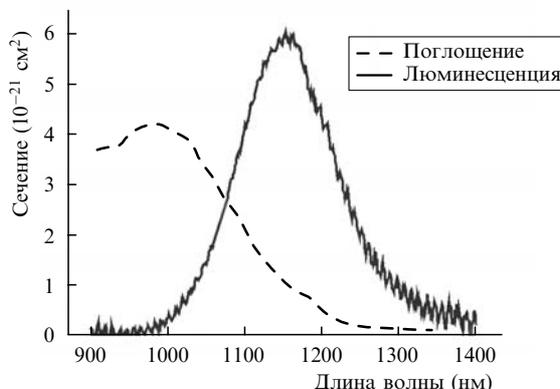


Рис.1. Спектры сечения поглощения и люминесценции в алюмосиликатном световоде, активированном висмутом.

ла сердцевины раствором солей висмута. Молярная концентрация оксида висмута в стекле сердцевины не превышала 0.1 %.

Световоды имеют характерные полосы поглощения в области 500, 700, 800 и 1000 нм. Люминесценция при возбуждении в области 1000 нм наблюдается в полосе шириной 150 нм с максимумом в районе 1150 нм и временем жизни около 1 мс. На рис.1 приведены сечения поглощения и люминесценции, рассчитанные из спектроскопических параметров. Максимальное сечение люминесценции на длине волны 1150 нм составляет  $6 \times 10^{-21} \text{ см}^2$ , что вполне сопоставимо с сечением люминесценции  $\text{Er}^{3+}$  в районе 1.5 мкм в волоконных световодах, легированных эрбием.

Схема волоконного висмутового лазера показана на рис.2. Непрерывная лазерная генерация была получена на длинах волн 1146, 1215, 1250 и 1300 нм при накачке на  $\lambda_p = 1064 \text{ нм}$ . Длина волны отсечки активного световода была равна  $\sim 1 \text{ мкм}$ , коэффициент поглощения на длине

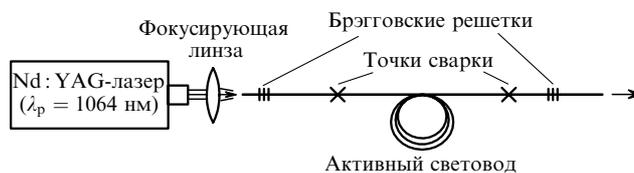


Рис.2. Лазерная схема с резонатором, образованным брэгговскими решетками.

Е.М.Дианов, В.В.Двойрин, В.М.Машинский. Научный центр волоконной оптики при Институте общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: dianov@fo.gpi.ru

А.А.Умников, М.В.Яшков, А.Н.Гурьянов. Институт химии высококачественных веществ РАН, Россия, 603600 Н.Новгород, ул. Тропинина, 49

Поступила в редакцию 24 ноября 2005 г.

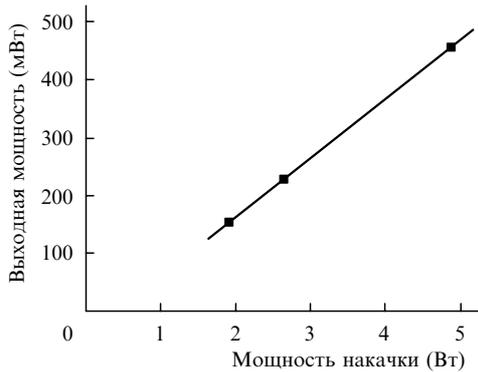


Рис. 3. Зависимость выходной мощности волоконного лазера на  $\lambda = 1146$  нм от мощности накачки на  $\lambda_p = 1064$  нм, введенной в световод.

волны накачки в использованном отрезке световода составлял 55 дБ. Пары брэгговских решеток с коэффициентами отражения 3 и 20 дБ для указанных длин волн были записаны в германо-силикатных световодах с длиной волны отсечки в области 1.1 мкм. Двухмодовый характер распространения излучения накачки в этих световодах приводил к частичным потерям излучения в точках сварки с активным волокном.

Генерационные характеристики измерялись на длинах волн 1146 нм (рис.3) и 1215 нм. Максимальная выходная мощность, полученная при мощности накачки около 5 Вт, была равна 460 мВт на длине волны 1146 нм и 400 мВт – на длине волны 1215 нм. Порог генерации на  $\lambda = 1146$  нм составил 420 мВт, а дифференциальная эффективность в пересчете на входную мощность была равна 10.2 %. Для длины волны 1215 нм порог генерации составил 890 мВт, дифференциальная эффективность – 14.3 %.

Несмотря на неоптимизированную схему лазера, полученные характеристики уже представляют несомненный практический интерес. Если оптимизировать оптические потери в лазерной схеме, то максимальная эффективность генерации для данного активного световода может достичь примерно 30 %.

Наряду с линейной схемой генерация была получена и в кольцевом лазере (рис.4). Ответвитель, использованный для формирования резонатора, был изготовлен на основе стандартного германо-силикатного волокна с от-

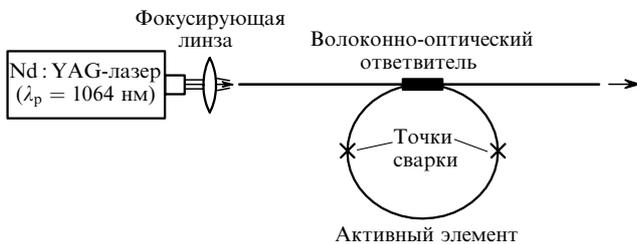


Рис. 4. Схема кольцевого лазера с использованием волоконно-оптического ответвителя для формирования резонатора.

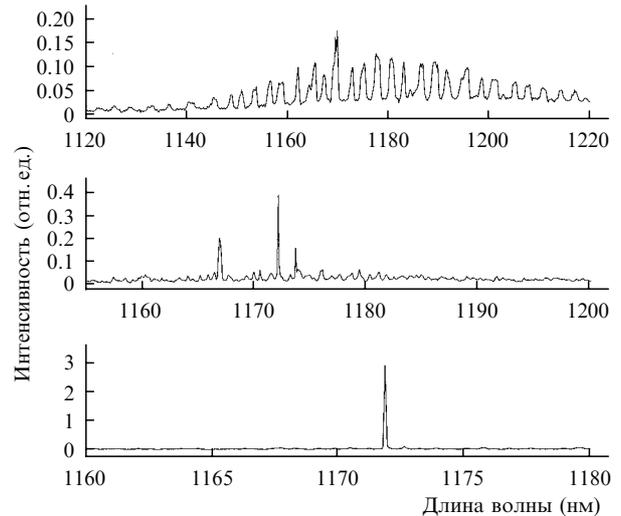


Рис. 5. Эволюция спектра генерации кольцевого лазера при увеличении мощности накачки (сверху вниз). Спектральное разрешение 0.5 нм.

сечкой в области 1.1 мкм. Коэффициент связи резонатора слабо зависел от длины волны в полосе 1.1–1.2 мкм и составлял менее 20 %. Спектры лазерной генерации, полученные в таком лазере при накачке на  $\lambda_p = 1064$  нм, показаны на рис.5. Ввиду слабой селективности резонатора генерация при малом превышении порога происходила сразу на многих продольных модах, причем спектральное положение пиков было нестабильно. При увеличении мощности накачки число пиков сокращалось, а при значительном превышении порога оставался практически один максимум (в области 1172 нм).

Как видно на рис.5, генерация наблюдается в широкой полосе (порядка 100 нм), которую можно использовать для перестройки длины волны лазерного излучения. При этом ширину полосы можно увеличить, снижая уровень паразитных потерь в резонаторе и оптимизируя схему лазера. Таким образом, есть надежда на осуществление лазерной генерации в световодах такого состава в диапазоне 1–1.35 мкм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05-02-16788) и Совета по грантам Президента РФ (грант НШ-962.2003.2).

1. Desurvire E. *Proc. 31st ECOC* (Glasgow, Scotland, 2005, vol. 1, p. 5).
2. Fujimoto Y., Nakatsuka M. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, L279 (2001).
3. Fujimoto Y., Nakatsuka M. *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 3325 (2003).
4. Peng M., Qiu J., Chen D., Meng X., Yang I., Jiang X., Zhu C. *Opt. Lett.*, **29**, 1998 (2004).
5. Meng X., Qiu J., Peng M., Chen D., Zhao Q., Jiang X., Zhu C. *Opt. Express*, **13**, 1628 (2005).
6. Meng X., Qiu J., Peng M., Chen D., Zhao Q., Jiang X., Zhu C. *Opt. Express*, **13**, 1635 (2005).
7. Dvoyrin V.V., Mashinsky V.M., Dianov E.M., Umnikov A.A., Yashkov M.V., Guryanov A.N. *Proc. 31st ECOC* (Glasgow, Scotland, 2005, vol. 4, p. 949).