

«Телекоммуникационные» световоды, активированные висмутом, для лазеров и усилителей в области 1400–1500 нм

В.В.Двойрин, В.М.Машинский, О.И.Медведков, А.А.Умников, А.Н.Гурьянов, Е.М.Дианов

Разработаны легированные висмутом волоконные световоды, полностью совместимые со стандартными телекоммуникационными световодами. На основе таких световодов созданы волоконные лазеры, генерирующие в спектральном диапазоне 1430–1500 нм с эффективностью до 7.6 % при комнатной температуре и до 10.5 % при температуре –65 °С.

Ключевые слова: волоконные световоды, волоконные лазеры.

Быстрое увеличение объема данных, передаваемых по телекоммуникационным линиям связи, требует расширения спектрального диапазона работы используемых в них усилителей. Созданные относительно недавно световоды, легированные висмутом, представляются достаточно перспективными для разработки подобных устройств. Со времени первого сообщения о получении в таких световодах лазерной генерации в области 1140–1300 нм [1] достигнут значительный прогресс в продвижении генерации в более длинноволновую спектральную область. Так, в [2–4] была продемонстрирована лазерная генерация в диапазоне 1300–1520 нм. В настоящей работе мы исследовали световоды с низкой концентрацией легирующих оксидов алюминия и германия, допускающие наиболее простую интеграцию в телекоммуникационные линии связи. А именно, исследовались активированные висмутом алюмосиликатный световод (АСС), характеризующийся низкой нелинейностью, и германосиликатный световод (ГСС), аналогичный наиболее широко используемому в линиях связи световоду SMF-28 (Corning Glass Inc.).

Световоды на основе кварцевого стекла были изготовлены методом MCVD с добавлением алюминия и германия из газовой фазы, а висмута – методом пропитки пористого слоя стекла сердцевин. Разность показателей преломления сердцевин и оболочки составила около 8×10^{-3} и 4×10^{-3} (что соответствует молярным концентрациям Al_2O_3 около 4 % и GeO_2 – 3 %), длины волн отсечки были равны 1.0 и 1.3 мкм для АСС и ГСС соответственно. Оптическое поглощение определялось путем сравнения спектров пропускания отрезков световода разной длины, а спектры люминесценции измерялись с боковой поверхности световодов при возбуждении их сердцевины рамановским волоконным лазером ($\lambda = 1350$ нм). Этот же лазер использовался для накачки волоконных лазеров на

основе АСС и ГСС. Резонаторы исследованных лазеров формировались путем сварки активных световодов с волоконными брэгговскими решетками, коэффициент отражения выходной решетки составлял 50 %.

Спектр полосы поглощения в области 1400 нм, ответственной за люминесценцию в диапазоне 1400–1500 нм в исследованных световодах, приведен на рис.1. Узкий пик поглощения на $\lambda = 1380$ нм обусловлен присутствием ОН-групп и отчетливо проявляется для АСС, в котором интенсивность полосы поглощения примерно в 200 раз меньше, чем в ГСС. В то же время в АСС уровень пассивных оптических потерь, оцененный в области длин волн более 1500 нм, на три порядка ниже (~ 10 дБ/км). Спектр люминесценции, наблюдаемой при возбуждении на длине волны 1350 нм, приведен на рис.2. Формы полос люминесценции в световодах полностью совпадают. Максимум люминесценции расположен на длине волны 1425 нм, полуширина полосы составляет около 100 нм.

В табл.1 приведены некоторые параметры семейства волоконных лазеров, созданных на основе АСС и ГСС. Поскольку нагрев лазеров ведет к уменьшению эффективности генерации, то для более эффективного теплоотвода световоды помещались в емкости с водой комнатной температуры. Тем не менее при превышении мощности накачки, составляющем ~ 3 и 2.5 Вт для лазеров на основе АСС и ГСС, их выходная мощность падала вследствие, по-видимому, нагрева волокна. Уменьше-

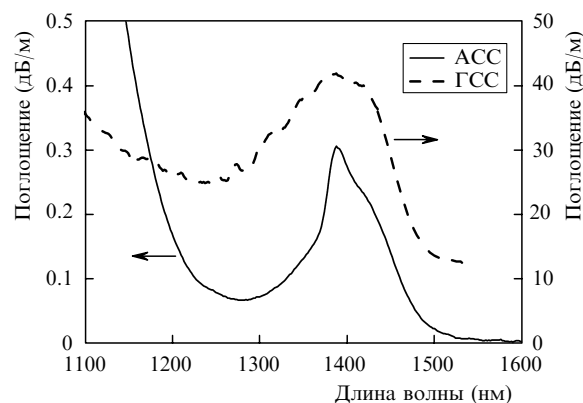


Рис.1. Спектры поглощения световодов.

В.В.Двойрин, В.М.Машинский, О.И.Медведков, Е.М.Дианов. Научный центр волоконной оптики РАН, Россия, 119333 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: vlad@fo.gpi.ru
А.А.Умников, А.Н.Гурьянов. Институт химии высококочистых веществ РАН, Россия, 603950 Н.Новгород, ул.Тропинина, 49

Поступило в редакцию 20 марта 2009 г.

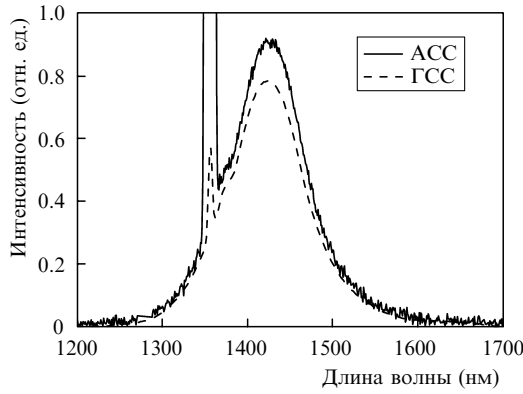


Рис.2. Спектры люминесценции световодов.

Табл.1. Основные характеристики волоконных лазеров.

Световод	L (м)	λ (нм)	η (%)	P_{th} (мВт)	P (мВт)
ACC	147	1430	2.4	250	40
		1450	7.6	200	120
		1450*	10.5	150	180
		1470	5.2	240	80
ACC	297	1500	2.4	1240	30
GSS	0.95	1430	0.2	1270	2

Примечание: L – длина активного световода; λ – длина волны генерации; η – дифференциальная эффективность; P_{th} – пороговая мощность накачки; P – выходная мощность, полученная при мощности накачки 3 Вт для волоконных лазеров на основе ACC и 2.5 Вт (GSS), работающих при комнатной температуре и -65°C (отмечено звездочкой).

ние температуры световода до -65°C приводило к росту эффективности генерации (см. табл.1).

Характерные спектры лазерной генерации и их типичные выходные характеристики представлены на рис.3 и 4. Ширина линии лазерной генерации лазеров не превышала 0.1 нм (предел экспериментального разрешения).

Отметим, что длины лазеров на основе ACC ввиду малости коэффициента поглощения излучения накачки составляют сотни метров, тогда как лазер на основе GSS

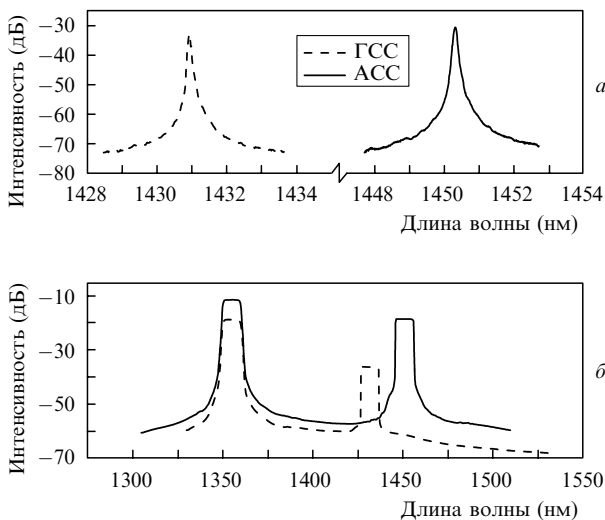


Рис.3. Спектры лазерной генерации на длинах волн 1430 (GSS) и 1450 нм (ACC), записанные с разрешением 0.1 нм (а) и в более широком спектральном диапазоне с разрешением 10 нм (б).

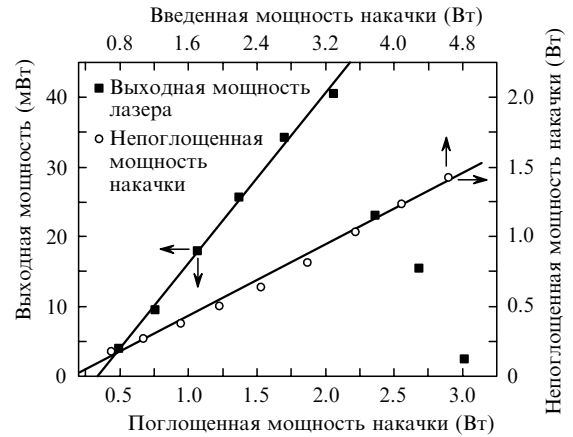


Рис.4. Выходные характеристики волоконного лазера на основе ACC, работающего на $\lambda = 1430$ нм.

имеет длину менее одного метра и на данный момент, по-видимому, является наиболее коротким висмутовым волоконным лазером. Однако его эффективность на порядок ниже по сравнению с лазером на основе ACC, что объясняется, по крайней мере частично, высоким уровнем пассивных потерь в данном волокне. Максимум ВКР для световодов данного состава приходится на длину волны 1435 нм (стоксов сдвиг равен 440 см^{-1}), поэтому максимального влияния ВКР следует ожидать для «длинного» лазера, генерирующего на $\lambda = 1430$ нм. Согласно оценке максимальный спектральный коэффициент рамановского усиления [5] составляет около $3.5\text{ дБ}\cdot\text{км}^{-1}\cdot\text{Вт}^{-1}$, или $\sim 0.5\text{ дБ}\cdot\text{Вт}^{-1}$ для длины 150 м, без учета затухания мощности накачки в световоде. Таким образом, на пороге генерации вклад этого фактора пренебрежимо мал. При максимальных мощностях накачки (~ 5 Вт) генерация излучения в лазере на основе ACC прекращается, хотя доля непоглощенной мощности накачки остается прежней (рис.4). Следовательно, на том же уровне остается и интенсивность накачки в световоде, поэтому ВКР, пропорциональное интенсивности излучения накачки, не может вносить существенного вклада в генерацию излучения.

Таким образом, с использованием метода MCVD нами созданы легированные висмутом германосиликатные световоды, аналогичные по основным параметрам стандартным телекоммуникационным световодам. Продемонстрирован волоконный лазер на основе такого активного световода длиной 95 см, генерирующий на $\lambda = 1430$ нм при накачке сердцевинки на $\lambda = 1353$ нм. Созданы также волоконные лазеры на основе легированного висмутом алюмосиликатного световода, генерирующие в диапазоне 1430 – 1500 нм с эффективностью до 7.6 % при комнатной температуре и до 10.5 % при температуре -65°C .

1. Дианов Е.М., Двойрин В.В., Машинский В.В., Умников А.А., Яшков М.В., Гурьянов А.Н. *Квантовая электроника*, **35**, 1083 (2005).
2. Bufetov I.A., Firstov S.V., Khopin V.F., Medvedkov O.I., Guryanov A.N., Dianov E.M. *Opt. Lett.*, **33**, 2227 (2008).
3. Dvoyrin V.V., Medvedkov O.I., Mashinsky V.M., Umnikov A.A., Guryanov A.N., Dianov E.M. *Opt. Express*, **16**, 16971 (2008).
4. Dianov E. M., Firstov S. V., Medvedkov O.I., Bufetov I.A., Khopin V. F., Guryanov A. N. *Proc. Opt. Fiber Commun. Conf. (OFC)* (San Diego, USA, 2009, paper OWT3).
5. Stolen R.H., Ippen E.P. *Appl. Phys. Lett.*, **22**, 276 (1976).