

ИК люминесценция волоконного световода на основе кварцевого стекла, легированного теллуром

Е.М.Дианов, С.В.Алышев, А.В.Шубин, В.Ф.Хопин, А.Н.Гурьянов

Методом MCVD изготовлен германо-силикатный световод, легированный теллуром, в котором обнаружена широкая (полуширина ~ 350 нм) полоса люминесценции с максимумом в районе 1500 нм и временем жизни ~ 2 мкс, не наблюдавшаяся ранее в других Те-содержащих стеклах. Проведено исследование люминесценции как в исходном световоде, так и в световоде, облученном источником ^{60}Co с дозами γ -излучения 309 и 992 кГр. После облучения в световоде появилась полоса люминесценции в районе 1100 нм с полушириной ~ 400 нм и временем жизни ~ 5 мкс.

Ключевые слова: теллур, теллуrowый волоконный световод.

Постоянно растущий объем информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи (30%–40% в год), требует кардинального увеличения их пропускной способности. В настоящее время в коммерческих системах волоконно-оптической связи скорость передачи информации по одному волоконному световоду составляет 10 Тбит/с. При этом используется узкая спектральная область 1530–1610 нм, определяемая полосой усиления эрбиевого волоконного усилителя. Одним из путей резкого увеличения пропускной способности волоконно-оптических систем связи является использование для передачи информации всего спектрального диапазона (1300–1700 нм), в котором телекоммуникационный волоконный световод на основе кварцевого стекла имеет малые потери (менее 0.4 дБ/км). Однако это требует разработки эффективных оптических усилителей для данной области спектра.

Более десяти лет назад было обнаружено, что кварцевое стекло, легированное висмутом, люминесцирует в спектральной области 1000–1600 нм [1, 2]. В 2005 г. на основе такого стекла были созданы волоконные световоды, с использованием которых была получена лазерная генерация [3]. В дальнейшем генерацию получили в широкой (1150–1550 нм) области [4], и был разработан волоконный усилитель на спектральный диапазон вблизи 1430 нм [5]. Однако структура люминесцирующего центра, связанного с висмутом, по-прежнему остается невыясненной, что мешает оптимизации параметров висмутовых волоконных световодов.

Исследование оптических свойств стекол и световодов, активированных соседними с висмутом р-элементами со схожей в определенных зарядовых состояниях электронной конфигурацией, может, с одной стороны, пролить свет на структуру оптически активного центра, связанного с висмутом, а с другой – открыть оптически активные

среды с новыми, полезными для практического применения свойствами.

Так, люминесцентные свойства германатных стекол, легированных рядом постпереходных элементов (Bi, Pb, Sb, Sn, Te и In) при накачке в видимой области спектра, были исследованы в работе [6]. Установлено, что Bi, Pb, Sb и Sn формируют оптические центры с очень близкими по положению (в районе 1100–1200 нм) и форме спектрами люминесценции, лежащими в ближнем ИК диапазоне. В случае Bi и Pb люминесценция наблюдалась при синтезе стекла как в воздушной атмосфере, так и в атмосфере азота. Для Sb и Sn люминесценция имела место при варке стекла только в атмосфере азота, т. е. в восстановительных условиях. При легировании In и Te люминесценция в ближней ИК области спектра отсутствовала. Не удалось обнаружить ее и в легированных теллуром боратных стеклах [7].

Однако проведенное в [8, 9] исследование люминесцентных свойств натриево-кальциево-силикатных стекол, легированных теллуром, показало, что в случае солегиrowания теллура углеродом (оно также создает восстановительные условия) в них может наблюдаться люминесценция в районе 1200 нм при накачке на 974 нм.

Следует отметить, что, помимо синтеза в кислородно-дефицитной атмосфере и солегиrowания углеродом, восстановительные условия можно создать под действием рентгеновского или γ -облучения.

Настоящая работа посвящена исследованию люминесцентных свойств германо-силикатного световода, легированного Те, и влиянию на них больших доз радиации. Использовался многомодовый световод с составом сердцевины $\text{Te} : 94\text{SiO}_2 - 6\text{GeO}_2$, изготовленный по MCVD-технологии. Теллур вводился методом пропитки, остекловывание пористого слоя осуществлялось в атмосфере кислорода. Концентрация Те была ниже чувствительности нашей аппаратуры (0.02 ат.%), вытяжка осуществлялась при температуре 2000 °С.

Оптические потери измерялись стандартным методом сравнения пропускания отрезков световода различной длины. При измерении люминесценции накачка производилась лазерными диодами с длинами волн 808, 975 и 1240 нм, а также иттербиевым волоконным лазером с $\lambda = 1058$ нм. Для регистрации спектров использовались два спектро-

Е.М.Дианов, С.В.Алышев, А.В.Шубин. Научный Центр волоконной оптики РАН, Россия, 119333 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: dianov@fo.gpi.ru

В.Ф.Хопин, А.Н.Гурьянов. Институт химии высококичистых веществ РАН, Россия, 603600 Н.Новгород, ул. Тропинина, 49

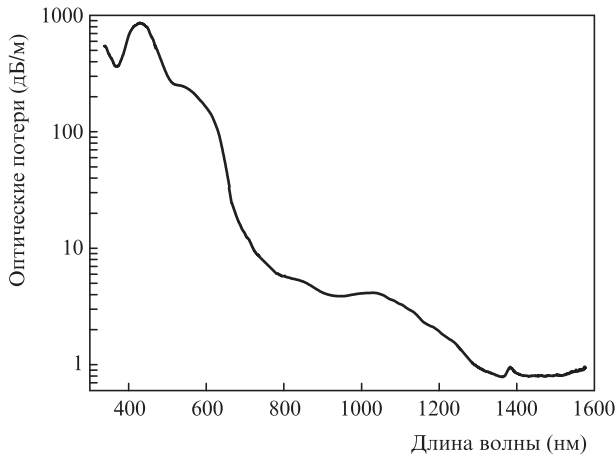


Рис.1. Спектр оптических потерь германо-силикатного световода, легированного теллуром.

метра – QE6500 для видимого диапазона и NIRQuest512 для ближнего ИК диапазона (оба Ocean Optics). Чтобы исключить влияние перепоглощения, люминесцентный сигнал собирался из оболочки подобно тому, как это было сделано в работе [10]. Полученные данные корректировались на спектральную чувствительность измерительной системы. Время жизни люминесценции измерялось фотоприемником с преусилителем PDA10CS на основе InGaAs (ThorLabs, Inc.), сигнал с которого подавался на осциллограф WavePro 7100 (LeCroy).

Образцы световодов подвергались облучению источником ^{60}Co с дозами γ -излучения около 309 и 992 кГр.

Спектр оптических потерь необлученного световода представлен на рис.1. Спектр имеет полосу поглощения в районе 430 нм (~ 850 дБ/м) со сложным «плечом» в диапазоне 520–670 нм (~ 200 дБ/м), полосу в районе 850 нм (~ 5 дБ/м) и сложную полосу в диапазоне 950–1300 нм (~ 4 дБ/м). Присутствует небольшой пик на 1380 нм, по видимому, относящийся к поглощению ОН-групп.

Спектр люминесценции необлученного образца при возбуждении на различных длинах волн представлен на рис.2. При накачке на 975, 1058 и 1240 нм световод дает широкую полосу люминесценции с максимумом в районе 1500 нм, форма которой практически не изменяется при переходе от одной длины волны накачки к другой. Время

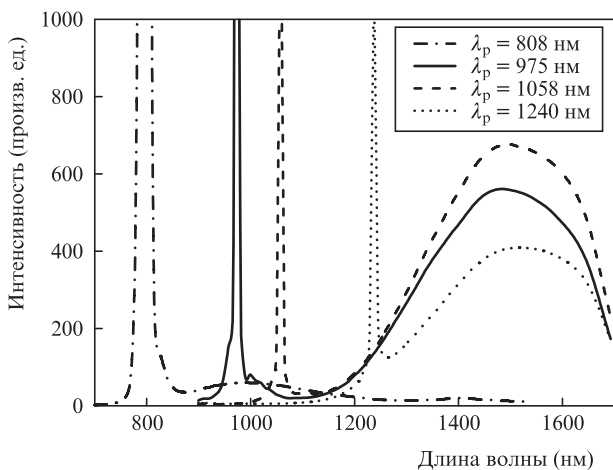


Рис.2. Спектры люминесценции германо-силикатного световода, легированного теллуром, при возбуждении на различных длинах волн λ_p .

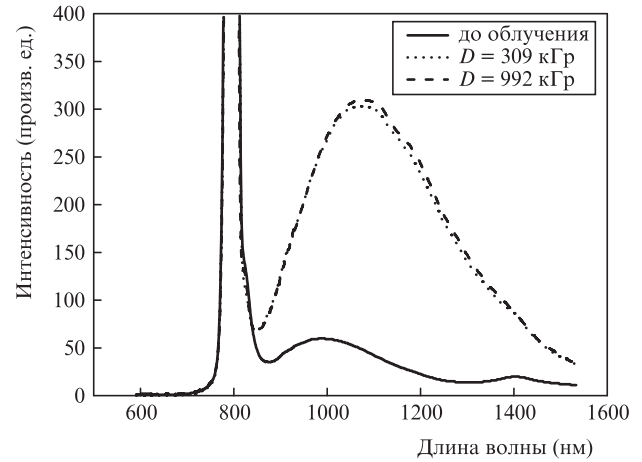


Рис.3. Спектры люминесценции германо-силикатного световода, легированного теллуром, при различных дозах γ -облучения D . Длина волны возбуждения 808 нм.

жизни люминесценции в этом случае, однако, не слишком велико и составляет приблизительно 2 мкс.

Спектры люминесценции при накачке на 808 нм необлученного германо-силикатного световода, легированного теллуром, и отрезков этого световода, облученных разными дозами, представлены на рис.3. До облучения люминесценция имеет две относительно слабые полосы в районе 1000 и 1400 нм. После облучения появляется более сильная полоса примерно на 1100 нм с временем жизни люминесценции ~ 5 мкс.

Спектры люминесценции тех же образцов при накачке на 975 нм представлены на рис.4. После облучения спектр становится очень широким, 1000–1650 нм, и перекрывает практически весь ближний ИК диапазон. Время жизни люминесценции, как и до облучения, составляет ~ 2 мкс. Сложную структуру спектра люминесценции облученных образцов можно объяснить, по крайней мере частично, недостаточной корректной нормировкой, в результате которой линии поглощения ОН-групп проявляются на 1380 нм, полимерного покрытия световода – на 1180 нм.

Сопоставляя полученные нами результаты с результатами работ других авторов, необходимо отметить, что ранее исследовались люминесцентные свойства легированных теллуром стекол существенно другого состава.

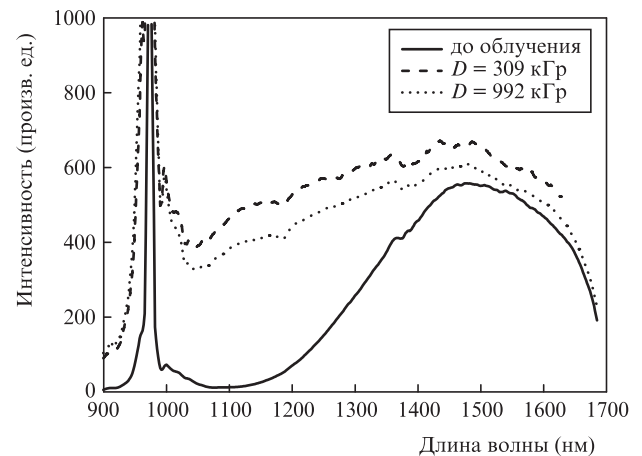


Рис.4. Спектры люминесценции германо-силикатного световода, легированного теллуром, при различных дозах γ -облучения D . Длина волны возбуждения 975 нм.

Еще более важно то, что люминесцентные свойства объемного образца и световода могут различаться даже в случае стекол одинакового состава [4]. Это связано с различными технологическими условиями изготовления объемного стекла и волоконного световода, прежде всего с температурными режимами и составом окружающей атмосферы, определяющими процесс восстановления активного элемента и, как следствие, его зарядовое состояние. Указанные факторы могут объяснить, почему ИК люминесценция легированных теллуром световодов на основе кварцевого стекла наблюдается в нашем эксперименте на длине волны 1500 нм, тогда как люминесценция легированных теллуром объемных стекол – на 1100 нм [8, 9].

Таким образом, в настоящей работе впервые изготовлен волоконный световод, легированный теллуром. При возбуждении на длинах волн накачки от 975 до 1240 нм в нем обнаружена широкополосная люминесценция с максимумом на ~ 1500 нм, шириной на полувысоте $\Delta\lambda \approx 350$ нм и временем жизни $\tau \approx 2$ мкс. Исследовано влияние γ -облучения на люминесцентные свойства данного световода. Обнаружено, что в результате облучения дозами от 309 кГр возникает дополнительная полоса люминесценции с $\lambda_{\max} = 1100$ нм, $\Delta\lambda \approx 400$ нм и $\tau \approx 5$ мкс.

Полученные результаты показывают, что волоконные световоды, легированные теллуром, могут быть использованы в качестве активного лазерного материала для спектральной области 1300–1600 нм.

Авторы выражают благодарность И.А.Буфетову за обсуждение работы и ценные замечания.

1. Murata K., Fujimoto Y., Kanabe T., Fujita H., Nakatsuka M. *Fusion Eng. Des.*, **44**, 437 (1999).
2. Fujimoto Y., Nakatsuka M. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, L279 (2001).
3. Дианов Е.М., Двойрин В.В., Машинский В.М., Умников А.А., Яшков М.В., Гурьянов А.Н. *Квантовая электроника*, **35**, 1083 (2005).
4. Bufetov I.A., Dianov E.M. *Laser Phys. Lett.*, **6**, 487 (2009).
5. Melkumov M.A., Bufetov I.A., Shubin A.V., Firstov S.V., Khopin V.F., Guryanov A.N., Dianov E.M. *Opt. Lett.*, **36**, 2408 (2011).
6. Sharonov M.Yu., Bykov A.B., Petricevich V., Alfano R.R. *Opt. Lett.*, **33**, 2131 (2008).
7. Khonthon S., Punpai P., Morimoto S., Arai Y., Suzuki T., Ohishi Y. *J. Ceram. Soc. Japan*, **116**, 829 (2008).
8. Khonthon S., Morimoto S., Arai Y., Ohishi Y. *J. Ceram. Soc. Japan*, **115**, 259 (2007).
9. Punpai P., Morimoto S., Khonthon S., Arai Y., Suzuki T., Ohishi Y. *J. Non-Cryst. Solids*, **354**, 5529 (2008).
10. Mattsson K.E., *Opt. Express*, **19**, 19797 (2011).