

СНИЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ВЫСОКОПРОЧНЫХ КВАРЦЕВЫХ СВЕТОВОДАХ

© 2016 г. А. Ю. Кулеш*, аспирант; И. К. Мешковский*, доктор техн. наук; А. А. Реуцкий*;
А. А. Щеглов*; А. В. Токарев*; М. А. Ероньян**, доктор техн. наук

*Университет ИТМО, Санкт-Петербург

**АО «Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения ВНИЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург

E-mail: parkur89@yandex.ru

Исследовано влияние температуры вытяжки кварцевых световодов с германосиликатной сердцевиной и наружной боросиликатной оболочкой на их прочность и оптические потери. Низковязкая оболочка световода позволяет снизить температуру его вытягивания до 1950 °С, обеспечивая устранение избыточных оптических потерь и повышенный уровень прочности.

Ключевые слова: германосиликатные световоды, избыточные оптические потери, боросиликатная оболочка, упрочнение.

Коды OCIS: 060.2280, 060.2270, 060.2260.

Поступила в редакцию 29.04.2016.

Световоды из кварцевого стекла с сердцевиной, легированной GeO_2 , широко используются в средствах современной техники. Повышенное содержание германия в сердцевине германосиликатных световодов (ГС) позволяет повысить их световедущие и фоторефрактивные характеристики, обеспечивая решение ряда задач (нанесение брэгговских решёток, создание рамановских лазеров и усилителей). Для изготовления таких световодов широко используется модифицированный метод химического парофазного осаждения (MCVD). Однако такой способ изготовления ГС приводит к возникновению избыточных оптических потерь, которые уменьшаются при снижении температуры вытягивания волокна [1]. В этом случае наряду с улучшением пропускания ГС падают его прочностные свойства.

Одним из способов повышения прочности кварцевых световодов является нанесение на поверхность исходной заготовки оболочки с пониженной вязкостью и повышение усилия вытягивания волокна [2]. При этом растягивающие усилия вытягивания трансформируются в сжимающие напряжения в поверхностном слое. Эффект такого упрочнения наблюдался для кварцевых световодов с оболочкой, легированной V_2O_5 [3]. Результатов исследований по

использованию такой оболочки для снижения оптических потерь германосиликатных световодов не опубликовано.

Целью настоящей работы является исследование влияния температуры вытягивания на оптические и прочностные свойства германосиликатных световодов с оболочкой, легированной V_2O_5 .

Традиционным MCVD методом на основе трубы из кварцевого стекла марки F-300 изготовлена заготовка. Её радиальный профиль показателя преломления (рис. 1) свидетельствует о содержании GeO_2 в сердцевине на уровне 8 мол. %. Методом наружного парофазного осаждения на заготовку наносили пористый слой из SiO_2 и V_2O_5 и спекали его при нагреве газовой горелкой. Толщина этого слоя, обладающего пониженным показателем преломления (рис. 1), равна 0,5 мм.

Из такой заготовки со скоростью 30 м/мин вытягивали волокно диаметром 125 мкм с одновременным нанесением двухслойного УФ отверждаемого эпоксиакрилатного покрытия толщиной 60 мкм. Заготовку нагревали в печи с графитовым нагревателем, который экранировали от стекла потоком высокочистого аргона. Вытягивание отрезков ГС по 500 м проводили при разных температурах нагревателя.

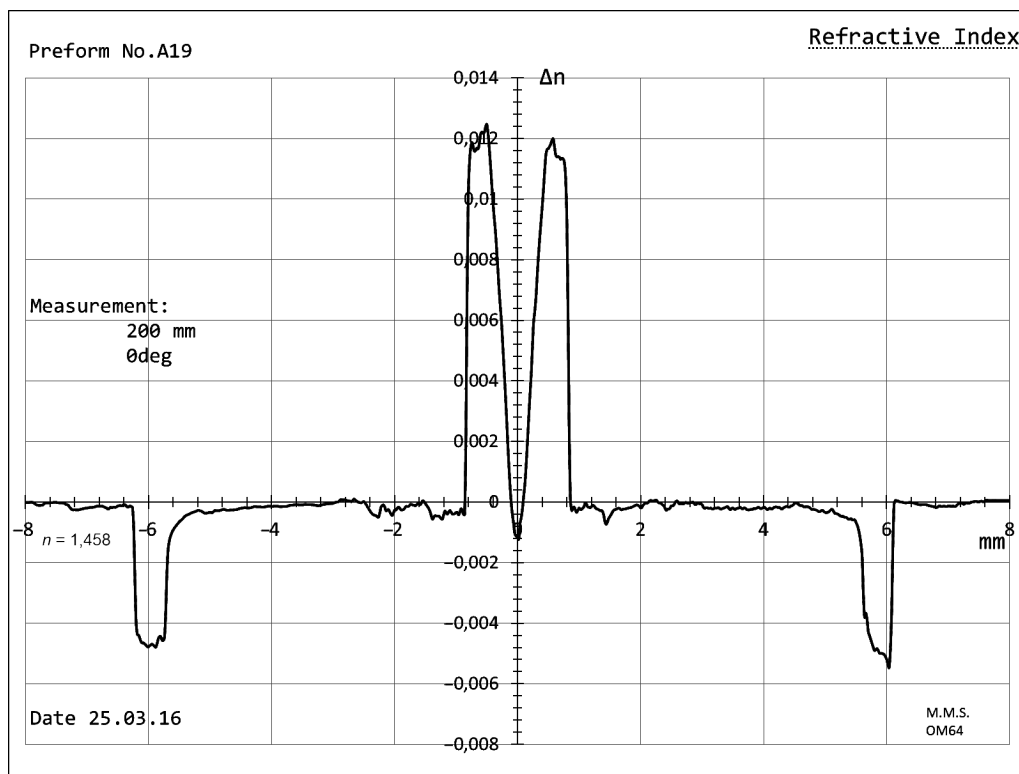


Рис. 1. Радиальный профиль показателя преломления заготовки, измеренный на рефрактометре P-101.

Прочность световодов измеряли методом двухточечного изгиба при скорости изменения диаметра волоконной петли 0,5 мм/с. Величину разрушающего световод напряжения σ оценивали по формуле, учитывающей зависимость модуля упругости кварцевого стекла от степени его деформации, [4]

$$\sigma = E_0 [1 + 6,9/2(1,219d/D - 1,137(d/D)^2)] \times (1,219d/D - 1,137(d/D)^2),$$

где E_0 – модуль упругости кварцевого стекла, равный 73,5 ГПа, d – диаметр стекловолокна, D – диаметр нейтральной оси изогнутого волокна.

Оптические потери световодов на длине волны 1,55 мкм измеряли на рефрактометре марки Yokogawa AQ7275.

Результаты измерения прочности (рис. 2) свидетельствуют о повышении средней прочности световодов с 6,66 до 7,16 ГПа при снижении температуры вытягивания с 2200 °С до 1950 °С. Усилие вытягивания волокна при этом увеличивалось с 0,25 до 2,8 Н. Одновременно с повышением прочности оптические потери световодов снижаются с 8,48 до 0,2 дБ/км (таблица). Достигнутый минимальный уровень оптиче-

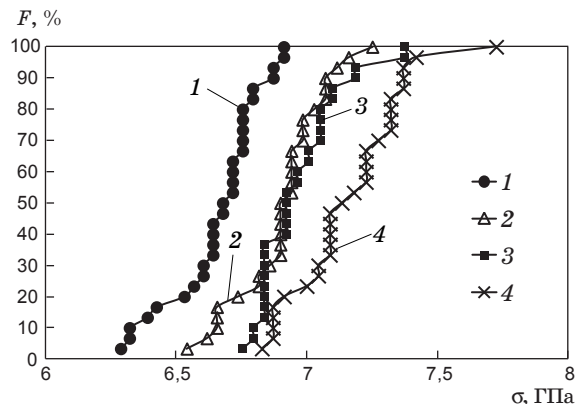


Рис. 2. Вероятность разрушения (F) световодов, вытянутых при разных температурах, от приложенного напряжения (σ). Температура вытяжки 2200 °С (1), 2100 °С (2), 2000 °С (3) и 1950 °С (4).

Влияние температуры вытягивания (T , °С) ГС на их оптические потери (α)

(T , °С)	2200	2100	2000	1950
α , дБ/км	8,48	2,65	0,62	0,2

ских потерь (0,2 дБ/км) соответствует величине рэлеевского рассеяния для ГС, содержащих в сердцевине 8 мол. % GeO_2 [5].

Таким образом, боросиликатная оболочка на заготовке с сердцевинной, легированной 8 мол. % GeO_2 , позволяет при температуре 1950 °С вытягивать световоды с повышенными прочностными характеристиками и с величиной оптических потерь, соответствующих релеевскому рассеянию.

Настоящая работа выполнена в Университете ИТМО при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Уникальный идентификатор проекта: RFMEFI57815X0109, Соглашение № 14.578.21.0109).

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьянов А.Н., Салганский М.Ю., Хопин В.Ф., Бубнов М.М., Лихачёв М.Е. Разработка и исследование одномодовых волоконных световодов с высоким содержанием GeO_2 и малыми оптическими потерями // Неорганические материалы. 2008. Т. 44. № 3. С. 331–338.
2. Yablon A.D. Optical and mechanical effects of Frozen-in Stresses and Strains in optical fibers // IEEE Journal of selected topics in quantum electronics. 2004. V. 10. № 2. P. 300–311.
3. Rongved L., Kurjian C.R., Geyling F.T. Mechanical tempering of optical fibers // Journal of Non-Crystalline Solids. 1980. V. 42. P. 579–584.
4. Bogatyrjov V.A., Bubnov M.M., Dianov E.M., Makarenko A.Y., Rumyantsev S.D., Semjonov S.L., Sysoljatin A.A. Highstrength hermetically tin-coated optical fibers // Technical Digest. Optical Fiber Communication. San Diego (CA). 1991. P. 115–118.
5. Shiraki K., Ohashi M. Scattering property of fluorin-doped silica // Electronics letters. 1992. V. 28. № 17. P. 1565–1566.