

УДК 681.7.068

**М.К. Цибиногина^{1,2*}, Я.М. Шарипов^{1,3}, М.К. Осипчук^{1,2},
К.Д. Пищальников¹, К.И. Гагарина², И.А. Перетрухина¹**

¹Пермская научно-производственная
приборостроительная компания, Пермь
²Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь
³Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь

ПОВЫШЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ АКТИВНОГО КВАРЦЕВОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА

Известно, что на уровень «серых» оптических потерь в активных кварцевых волоконных световодах в значительной степени влияет кристаллизация материала сердцевины, в то же время явление кристаллизации в поверхностных слоях волоконных световодов приводит и к снижению их прочности. Повышение температуры вытяжки волокна может благоприятно отразиться на ослаблении указанных процессов кристаллизации.

Ключевые слова: оптические потери, прочность, активные волоконные световоды. MCVD-процесс.

**M.K. Tsibinogina^{1,2*}, Ya.M. Sharipov^{1,3}, M.K. Osipchuk^{1,2},
K.D. Pishchalnikov¹, K.I. Gagarina², I.A. Peretruxhina¹**

¹Perm Scientific and Production Instrument Making Company, Perm
²Perm National Research Polytechnic University, Perm
³Perm State National Research University, Perm

IMPROVING OPTICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE ACTIVE OPTICAL FIBER

It is known, that the level of “gray” optical losses in the active optical fibers is significantly affected by the crystallization of the core material, at the same time, the phenomenon of crystallization in the surface layers of the optical fiber leads to a decrease in their strength. The temperature of the drawn fiber can have a positive impact in terms of weakening of the processes of crystallization.

Keyword: optical losses, strength, active optical fibers, MCVD process.

Введение

Кристаллизация материала сердцевины влияет на уровень «серых» оптических потерь в активных волоконных световодах на основе кварцевого стекла [1]. Мощность и ширина спектра излучения усилителя волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) определяются степенью однородности распределения ионов редкоземельных элементов (эрбия) в материале сердцевины ВС. Для снижения уровня кластеризации ионов эрбия в матрицу стекла сердцевины вводят оксид алюминия, который обладает самым низким уровнем затухания [2], позволяя тем самым повышать температуру вытяжки [3]. Увеличение температуры вытягивания ВС также целесообразно для повышения их механической изгибоустойчивости [4, 5], а дополнительное легирование сердцевины GeO_2 увеличит оптическую изгибоустойчивость ВС в многовитковом контуре усилителя ВОГ.

Цель настоящей работы заключается в снижении уровня «серых» потерь и увеличении прочности активных ВС, применяемых в широкополосном источнике излучения ВОГ – усилителе спонтанной эмиссии.

Эксперимент

Заготовки для вытягивания активных ВС изготавливали MCVD-хелатной технологией [6] на основе труб из кварцевого стекла марки Suprasil F-300. Сердцевина легирована 6 моль % Al_2O_3 , 0,1 моль % Er_2O_3 , 4 моль % GeO_2 . Элементный состав в поперечном сечении заготовок ВС определяли методом рентгеновского микроанализа (РМА) с помощью сканирующего электронного микроскопа «Tescan Vega 3». Расчетный профиль показателя преломления сердцевины заготовок через измеренные концентрации элементного состава совпал с измеренным в заготовке с помощью анализатора заготовок РК-2600 фирмы «Photon Kinetics» (рис. 1).

Вытягивание световодов производили с одновременным нанесением двухслойного акрилатного покрытия при температуре нагревателя печи вытяжной установки 1900 и 2000 °С.

Оптические потери измеряли на анализаторе оптического спектра AQ6370D фирмы «Yokogawa» с точностью $\pm 0,2$ дБ/км методом обрыва согласно ГОСТ Р МЭК 793-1 -С 1. В качестве источника белого света выбрали излучатель «Thorlabs SLS201». Сравнивали мощности оптического излучения, измеренные при неизменных условиях ввода излучения на выходе измеряемого образца активного ВС и входе. Вычис-

ленное значение мощности выбирали на длине волны «серых» оптических потерь для активных световодов – 1200 нм.

Прочность световодов определяли методом разрыва с помощью разрывной машины AVE2 Extensometer фирмы Instron согласно ГОСТ Р МЭК 60793-1-31.

При увеличении температуры вытяжки волокна «серые» оптические потери ВС снизились с 6 до 5 дБ/км на длине волны 1200 нм (рис. 2), и исчезла низкопрочная ветвь статистики разрушения волокна (рис. 3).

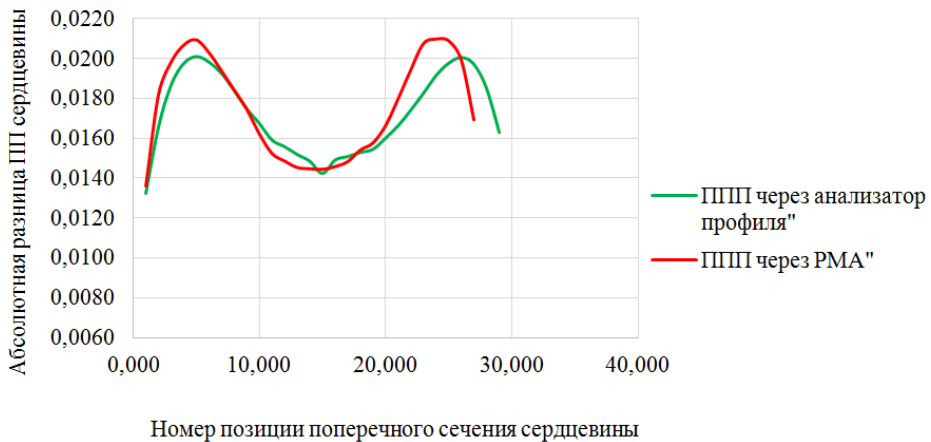


Рис. 1. ППП сердцевин заготовки активного ВС для образца 2

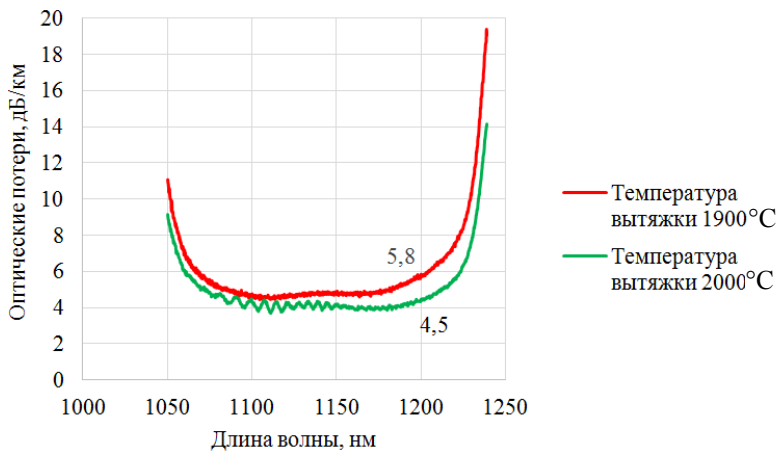


Рис. 2. Оптические потери ВС, полученных при температурах вытяжки 1900 и 2000 °С

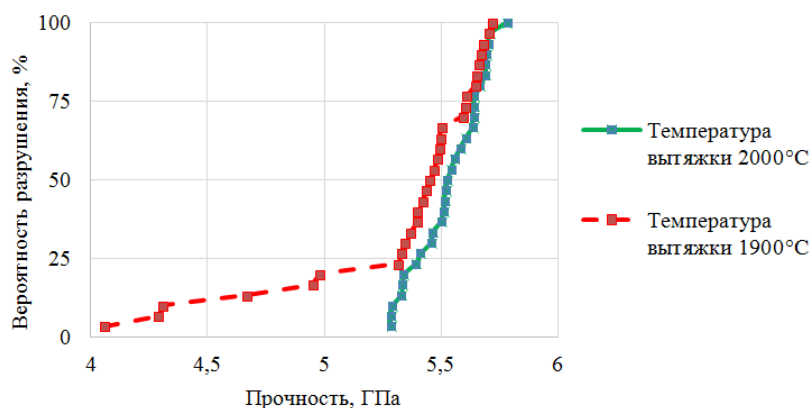


Рис. 3. Статистика прочности ВС, полученных при температурах вытяжки 1900 и 2000 °С

Заключение

Результаты исследований свидетельствуют о благотворном влиянии повышения температуры вытягивания активированных эрбием ВС как на их оптические, так и на механические свойства. Предположительно, снижение оптических потерь при увеличении температуры вытягивания обусловлено уменьшением рассеяния света на кристаллизованных частицах алюмосиликатного стекла сердцевины [3]. Увеличению механической прочности способствует уменьшение ликвации, кристаллизации в поверхностных областях кварцевого стекла при увеличении температуры или усилия вытягивания кварцевого волокна [4, 5]. Стекло является аморфным материалом, где атомы расположены беспорядочно. Кристаллизация происходит при температурах между температурой плавления и температурой затвердевания стекла. Выше температуры плавления присутствует только жидкая фаза. Когда температура падает ниже температуры плавления, начинает кристаллизоваться твердая фаза. Если скорость охлаждения медленная, атомы успевают выстраиваться в кристаллическую форму. Кристаллизации можно избежать при быстром охлаждении материала, что соответствует большей температуре вытяжки или скорости вытяжки.

Активный ВС, полученный при температуре 2000 °С, отличающийся низкими потерями и стабильной механической прочностью, испытан в составе широкополосного источника ВОГ в диапазоне температур от минус 50 до +60 °С. Ширина оптического спектра его излучения соответ-

вовала требуемому значению – не менее 7,3 нм по уровню 0,5 выходной мощности во всем температурном диапазоне (рис. 4).

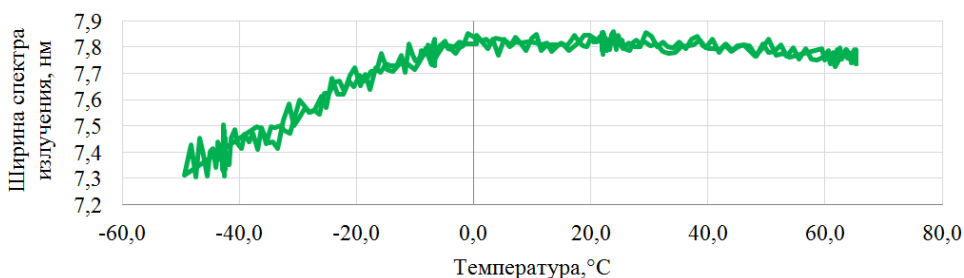


Рис. 4. Зависимость ширины оптического спектра излучения усилителя от температуры

Список литературы

1. Dopant interactions in high-power laser fibers / J. Kirchhof [et al.] // Proc. SPIE – 2005. – № 5723.
2. Бурков В.Д., Иванов Г.А. Физико-технологические основы волоконно-оптической техники: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУЛ, 2007. – С. 126–132.
3. Влияние условий вытяжки на уровень серых потерь в алюмосиликатных волокнах, полученных по технологии парофазного легирования / С. Чампель [и др.] // Фотон-экспресс. – 2015. – № 6 (126). – С. 131–132.
4. Влияние физико-химического состояния примесей на прочность кварцевого волокна / М.А. Ероньян [и др.] // Физика и химия стекла. – 2006. – № 32. – С. 855–862.
5. Влияние ликвационного распада кварцевого стекла, содержащего примесь на прочность световодов / М.К. Цибиногина [и др.] // Прикладная оптика – 2006: сб. тр. VII Междунар. конф. – 2006. – С. 43–45.
6. Lenardich B. Vapor phase deposition process for fabrication of sensor for fabrication of sensor and specialty optical fiber preforms // Informacije MIDEM. – 2010. – № 40. – С. 300–306.

References

1. Kirchhof J. et al. Dopant interactions in high-power laser fibers. Proc. SPIE, 2005, no. 5723.

2. Burkov V.D., Ivanov G.A. Fiziko-tekhnologicheskie osnovy volokonno-opticheskoi tekhniki [Physical and technological fundamentals of fiber-optic technology]. Moscow.: Moskovskii gosudarstvennyi universitet lesa, 2007, pp. 126–132.

3. Champel' S. et al. Vliianie uslovii vytiashki na uroven' serykh poter' v aliumosilikatnykh voloknakh, poluchennykh po tekhnologii parofaznogo legirovaniia [Influence of drawing conditions on the level of gray losses in aluminosilicate fibers obtained by vapor-phase alloying technology]. *Foton-ekspress*, 2015, no. 6(126), pp. 131–132.

4. Eron'ian M.A. et al. Vliianie fiziko-khimicheskogo sostoianiia primesei na prochnost' kvartseвого volokna [Influence of the physicochemical state of impurities on the strength of quartz fiber]. *Fizika i khimii stekla*, 2006, no. 32, pp. 855-862.

5. Tsibinogina M.K. et al. Vliianie likvatsionnogo raspada kvartseвого stekla, sodержashchego primes' na prochnost' svetovodov [Effect of liquation decomposition of quartz glass containing impurities on the strength of optical fibers]. *Prikladnaia optika - 2006. Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoi konferentsii*, 2006, pp. 43-45.

6. Lenardich B. Vapor phase deposition process for fabrication of sensor for fabrication of sensor and specialty optical fiber preforms. *Informacije MIDE M*, 2010, no. 40, pp. 300-306.

Получено 20 марта 2020