

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА С ПОКРЫТИЕМ ИЗ МЕТАЛЛА

С.М. Попов, И.Л. Воробьев, Г.А. Иванов,
В.А. Исаев, Ю.К. Чаморовский

Фрязинский Институт Радиотехники и Электроники
им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино

Температурный диапазон работы телекоммуникационных оптических волокон (ОВ) составляет величину $-60...85^{\circ}\text{C}$. Развитие волоконно-оптических датчиков работающих при более высоких температурах, потребовало разработку ОВ с металлическим покрытием [1]. При измерении температуры металлизированные ОВ могут быть использованы как в качестве транспортных линий, так и в качестве чувствительных элементов (эффект ВРМБ). В работах [2-5] нами было исследовано влияние различных металлов покрытий (алюминия и меди) на величину оптических потерь при нагреве металлизированных ОВ до 400°C и показано, что медное покрытие обеспечивает существенно меньший рост дополнительных потерь, чем алюминий. Кроме того, ранее нами было установлено [4], что ОВ с покрытием из медного сплава, изготовленные на основе кварцевых труб с высоким начальным содержанием ОН групп, по технологии MCVD, характеризуются значительным ростом потерь на ОН группах (более 250 дВ/км на $\lambda=1389\text{ нм}$), при температурах около 600°C , вследствие процесса диффузии. Для сравнения, при тех же условиях отжига, металлизированные ОВ, изготовленные на основе опорной трубы Heraeus F-300 методом MCVD, с заменой кислородно-водородной горелки электропечью показывают относительно небольшой рост потерь на ОН-группах ($\sim 12\text{ дВ/км}$ на $\lambda=1389\text{ нм}$). **Целью** настоящей работы являлось исследование характера изменения оптических потерь при нагреве ОВ с покрытием из медного сплава изготовленных на основе опорных труб с низким ($<0.3\text{ ppm}$) содержанием ОН-групп при более высоких температурах ($\sim 700^{\circ}\text{C}$).

Для изготовления волокна использовалась заготовка, при получении которой использовалось опорная трубка из стекла "Heraeus F-300", содержание ОН-групп которой по паспортным данным составляет величину $0.2...0.5\text{ ppm}$ [6], что соответствует дополнительным потерям на $\alpha = 10...25\text{ дБ/км}$ на $\lambda=1.39\text{ мкм}$ [7]. Германатно-силикатная сердцевина была сформирована методом MCVD посредством электропечи. Из этой заготовки, было вытянуто металлизированное ОВ со следующими параметрами: диаметр сердцевины 50 мкм , оболочки – 230 мкм , толщина металлического покрытия 20 мкм . Начальные потери составляли $\sim 1\text{ дБ/км}$ на

$\lambda=1300$ нм и дополнительные потери, обусловленные количеством гидроксильных ионов ~ 1 дБ/км на $\lambda = 1389$ нм, числовая апертура $NA=0.3$. Нагрев производился до температуры 700 °С в течение 1 часа. После достижения температуры 700 °С ОВ выдерживалось в течение 6.5 часов, при этом оптические потери контролировались каждые 15 минут. Оптические потери измерялись как с помощью спектр-анализатора S15 (York Technology) в области длин волн $600\dots 1650$ нм, так и с помощью оптического рефлектометра Anritsu MW98A.

При нагреве металлизированного ОВ микроизгибные потери изменялись на постоянную величину в области длин волн $600\dots 1650$ нм. В области температур $20\dots 400$ °С потери увеличивались с 1 до 4 дБ/км, а в области температур $400\dots 700$ °С уменьшались с 4 до 0.36 дБ/км. Изменение микроизгибных потерь осуществлялось с помощью рефлектометра на $\lambda=1300$ нм. По нашему мнению, причина уменьшения потерь при температурах более 400 °С – рекристаллизационный отжиг медного покрытия [8], который приводит к образованию новой структуры металлического покрытия, лишенной дефектов.

Результаты отжига при температуре 700 °С показаны на рис. 1.

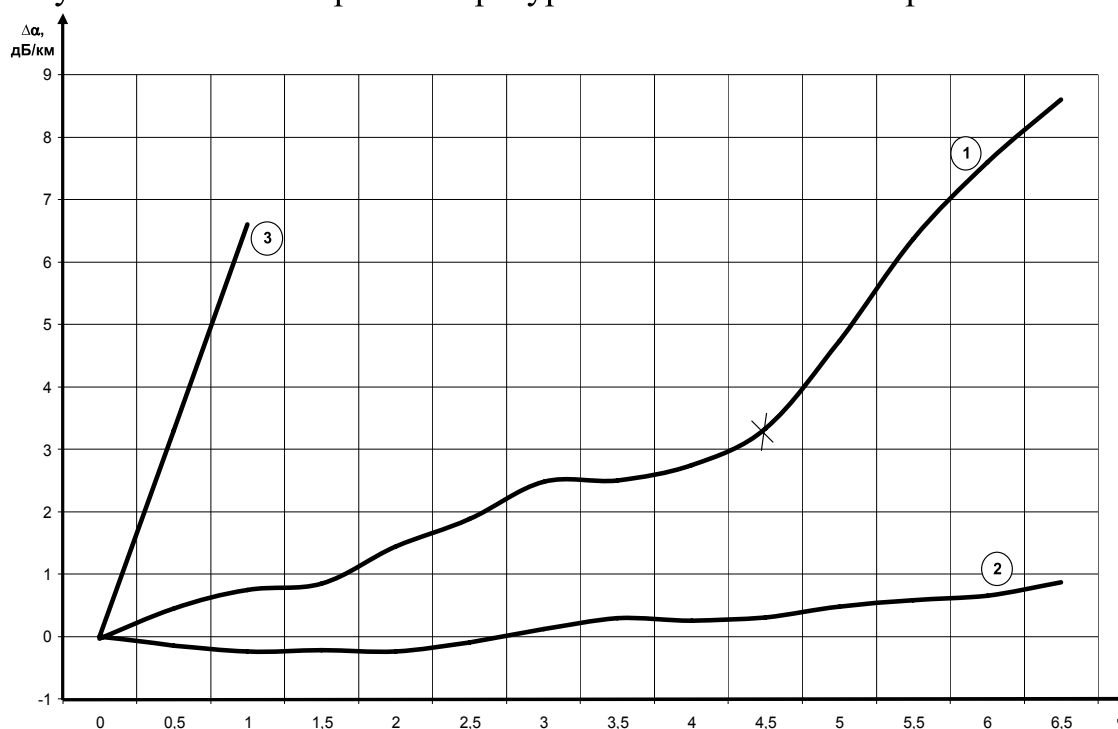


Рис. 1. Изменение оптических потерь в ОВ с покрытием на основе меди на $\lambda=1300$ нм (измерения проводились посредством рефлектометра) (1) – диаметр 230 мкм (2) – диаметр 300 мкм. (3) - диаметр 200 мкм

Полученное нами металлизированное (рисунок, кривая 1) ОВ проработало при температуре 700 °С в течение 4.5 часов без значительного

увеличения потерь на $\lambda = 1389$ нм (рисунок, кривая 1, область до отметки “X”). При увеличении времени экспозиции ОВ до 6.5 часов, при 700°C , потери увеличились до 9 дБ/км на $\lambda = 1300$ нм, а так же до 120 дБ/км на $\lambda = 1389$ нм.

Дальнейшее снижение оптических потерь и увеличение времени работы оптического волокна с покрытием из металла при экстремально высоких температурах стало возможно за счёт нанесения более жаропрочного покрытия на основе медного сплава и увеличения диаметра оптического волокна. С помощью этого удалось достичь продолжительности работы ОВ с покрытием из металла в течение 7 часов, при этом оптические потери изменились с 2 до 3 дБ/км на $\lambda = 1300$ нм (рисунок, кривая 2). Кроме того, представлены результаты (рисунок, кривая 3) для металлизированного ОВ диаметром 200 мкм.

Для сравнения, одномодовое металлизированное ОВ диаметром 300 мкм изготовленное в НЦВО при ИОФ РАН [8], работало при температуре 700°C лишь в течение нескольких минут, при этом оптические потери достигли величины ~ 50 дБ/км на $\lambda = 1300$ и 1550 нм.

Полученные нами результаты показывают, что металлизированные ОВ, изготовленные в ФИРЭ РАН, можно эксплуатировать в течение нескольких часов при температурах 700°C с приемлемым уровнем оптических потерь. Для дальнейшего уменьшения величины оптических потерь требуются дополнительные исследования с целью получения оптимальной волноводной структуры металлизированного ОВ.

1. R. W. Filas // Proc. Materials Research Society Symposium, 1998, Vol. 531. pp. 263
2. В.В. Волошин, И.Л. Воробьев, Г.А. Иванов и др. // Письма в ЖТФ, 2009, Т35, № 8, С. 41-47.
3. Попов С.М. // Нелинейный мир, 2009, Т7, №7, С. 184-185
4. Попов С.М. // Нелинейный мир, 2010, Т8, №2, С. 87-88
5. В.В. Волошин, И.Л. Воробьев, Г.А. Иванов и др. // Спецвыпуск “Фотон-экспресс наука”, 2009, стр. 15-16
6. http://www.heraeus-quarzglas.com/media/webmedia_local/downloads/broschren_tf/2008_10_Factsheet_SubstrateTubes_EN.pdf
7. O. Humbach, H. Fabian, U. Grzesik et al. // Journal of Non-Crystalline Solids. 1996. V. 203., P 19-26
8. Р. Хоникомб Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972, 408 с.
9. V.A.; Dianov, E.M.; Biriukov, A.S.; Sysoliatin et. al. // Optical Fiber Communication. OFC 97. 16-21 Feb 1997. P. 182 – 183