

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА С ПОКРЫТИЕМ ИЗ МЕДИ

Волошин В.В., Воробьев И.Л., Иванов Г.А., Исаев В.А.,
Колосовский А.О., Ленардич Б.¹, Попов С.М.*¹, Чаморовский Ю.К.

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

¹Optacore, Любляна, Словения

*E-mail: sergei@popov.eu.org

Интерес к металлизированным оптическим волокнам (ОВ) вызван ограниченностью использования телекоммуникационных световодов в ряде специальных применений [1-2]:

- Волокна с покрытием их металла позволяют достичь более высоких рабочих температур (до 1000⁰С), чем обычные волокна (до 85⁰С), что необходимо для построения соединительных линий для волоконно-оптических датчиков температуры;
- Волокна с покрытием из металла обладают большей герметичностью, чем обычные волокна с полимерным покрытием, что позволяет достичь теоретической прочности кварцевого стекла (до 13 ГПа) и позволяет использовать волокна в средах с агрессивными газами;
- Передача большой мощности излучения (для волоконных лазеров), которая часто приводит к нагреву волокна.

В работах [3-6] нами было исследовано влияние различных металлов покрытий (алюминия и меди) на величину оптических потерь при нагреве металлизированных ОВ до 400⁰С 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 меди, 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 $\lambda=1389$ нм), при температурах более 600⁰С, вследствие процесса диффузии. Для сравнения, при тех же условиях нагрева, 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 (~12 дВ/км на $\lambda=1389$ нм).

Цель настоящей работы являлось исследование характера изменения оптических потерь при нагреве ОВ с медным покрытием изготовленных на основе опорных труб с низким (<0.3 ppm) содержанием ОН-групп в области температур 20...800⁰С.

Необходимость работы вызвана отсутствием подробной информации о величине оптических потерь у волокон с покрытием из металла, при высоких температурах более 400⁰С. Было известно, что у металлизированных ОВ, при температурах 300-1000⁰С, имеет место необратимый рост оптических потерь. Но причины этого не были исследованы полностью [2].

В литературных источниках информация об оптических потерях излучения у металлизированных ОВ, при температурах более 400⁰С, были представлены лишь двумя работами. Работа [7] касалась оптических потерь излучения в металлизированных ОВ с покрытием из алюминия при температурах до 650⁰С, была сделана в 1986 г., с применением доступных в то время технологий изготовления заготовок и кварцевых стекол. В другой работе [8] сделанной в 1997 г., экспериментально было показано, что ОВ с покрытием из меди при температурах 700...800⁰С могут работать лишь в течение нескольких минут, ввиду быстрого роста оптических потерь, однако объяснения причин такого роста оптических потерь излучения не было представлено.

Оптические потери в металлизированных ОВ измерялись как спектральным методом, в диапазоне длин волн 800-1600 нм, так и методом обратного рассеяния на длине волны 1300 нм.

В результате исследований были получены следующие результаты:

- При нагреве металлизированных ОВ с покрытием из меди микроизгибные оптических потери изменяются. Обнаружено, что у оптических волокон с покрытием из меди имеет место значительное снижение микроизгибных оптических потерь при температурах более 450⁰С, которые достигают

минимальной величины при температурах 600-700⁰С. Предполагается, что причиной этого является гомогенизационный отжиг металла покрывающего ОВ [5], [9];

- У оптических волокон с покрытием из металла при его нагреве до 700⁰С наблюдается рост потерь в коротковолновой области спектра (менее 800 нм), потери на микроизгибах, а так же рост потерь на ОН группах (1.389 нм) [10];

- Предполагается, что рост потерь в коротковолновой области частично вызван ростом оптических потерь излучения на рассеянии Рэлея, вследствие молекулярного рассеяния света в световедущей сердцевине металлизированного ОВ при высоких температурах [11]. Это подтверждается увеличением сигнала обратного рассеяния у металлизированного ОВ при его нагреве;

- Величина прироста сигнала обратного рассеяния у металлизированного ОВ зависит, как от температуры, так и концентрации легирующей примеси в сердцевине световода. Так у металлизированного ОВ с NA=0.27, в области нагрева при температуре t=950⁰С, наблюдается увеличение сигнала обратного рассеяния величиной 0.45 дБ на λ=1300 нм, по сравнению с областью, которая не подвергается нагреву, что эквивалентно увеличению коэффициента рассеяния Рэлея на 0.15 дБ * мкм⁴ / км ;

- У оптического волокна находящегося при постоянной температуре при постоянной температуре (700⁰С) наблюдается рост микроизгибных потерь излучения и увеличение потерь на ОН-группах, что является следствием окисления оболочки, и соответственно нарушение герметичности покрытия;

- На работоспособность металлизированных ОВ, при высоких температурах, влияет как диаметр металлизированного ОВ, так и толщина металлического покрытия. Увеличение диаметра световода, а следовательно и внешнего диаметра металлического покрытия приводит к увеличению жаростойкости световода, что позволило создать металлизированное ОВ с покрытием из меди, способное работать при температуре 700⁰С в течение 7 часов, при этом оптические потери изменились с 2 до 3 дБ/км на λ=1300 нм [12];

- Металлизированные ОВ могут эксплуатироваться при температурах t=700...800⁰С. При этом продолжительность эксплуатации ограничивается скоростью окислением металлического покрытия, которое приводит к росту микроизгибных оптических потерь при более высоких температурах;

- У металлизированных ОВ, при температуре 800⁰С отсутствует рост потерь на ОН-группах (предполагается вследствие обратимости химической реакции образования ОН-групп);

Полученные нами результаты показывают, что металлизированные ОВ, изготовленные в ФИРЭ РАН, можно эксплуатировать в течение нескольких часов при температурах 700⁰С с приемлемым уровнем оптических потерь.

Окисление металлического покрытия ОВ – основная причина, приводящая к увеличению оптических потерь в металлизированных ОВ при высоких температурах. Для дальнейшего уменьшения величины оптических потерь требуются дополнительные исследования с целью получения оптимальной волноводной структуры металлизированного ОВ, а так же использования более жаростойкого материала в качестве покрытия металлизированного ОВ.

Литература

- [1] Filas R, *Materials Research Society Symposium Proceedings* **531**, 263-272 (1998)
- [2] Bogatyrev V. A., Semjonov S.L., *Chapter 15 in Specialty Optical Fibres Handbook*, 491-512 (2007)
- [3] Волошин В.В. и др., *Письма в ЖТФ* **35**, 41-47 (2009)
- [4] Попов С.М., *Нелинейный мир* **7**, 184-185 (2009)
- [5] Попов С.М., *Нелинейный мир* **2**, 87-88 (2010)
- [6] Волошин В.В. и др., *Радиотехника и Электроника* **56**, 103-110 (2011)
- [7] Takao Shiota, Hiroshi Hidaka et al., *Lightwave Technology* **4**, (1986)
- [8] Dianov V.A., Biriukov E.M., et al, *Optical Fiber Communication OFC 97*, 182-184 (1998)
- [9] Р. Хоникомб “Пластическая деформация металлов”, М.: Мир (1972)
- [10] В.В. Волошин и др., Москва: Труды РНТОРЭС им. А.С. Попова, 152-154 (2010)
- [11] Фабелинский И.Л. “Молекулярное рассеяние света”, М: Наука (1965)
- [12] Попов С.М. и др. Минск: Материалы 8 Международной научно-технической конференции Квантовая Электроника, 122-124 (2010)