

ВОЛОКОННЫЕ РЕШЕТКИ В АКТИВНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ФОСФОСИЛИКАТНЫХ СВЕТОВОДАХ

Рыбалтовский А.А.^{1,2*}, Егорова О.Н.³, Васильев С.А.¹, Журавлев С.Г.², Бутов О.В.², Семенов С.Л.¹, Галаган Б.И.³, Сверчков С.Е.³, Денкер Б.И.³

¹ – Научный центр волоконной оптики РАН, г. Москва

² – Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва

³ – Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

*E-mail: rybaltovsky@yandex.ru

DOI 10.24411/2308-6920-2019-16080

Одночастотные волоконные лазеры привлекательны для многих фотонных приложений. Узкополосное излучение лазеров этого типа обычно обеспечивается относительно короткой (10 – 30 мм) структурой Фабри-Перо или сдвинутой по фазе волоконной брэгговской решеткой (ВБР), записанной в сердцевине активного световода. Для создания эффективных лазеров с коротким резонатором, ключевое значение имеют два фактора: большой коэффициент усиления на единицу длины и фоточувствительность, которая необходима для записи брэгговских структур непосредственно в сердцевине активного световода. Последний фактор обеспечивает компактность и эффективность лазерного резонатора, а также отсутствие сварных соединений, вносящих дополнительные внутррезонаторные потери.

Относительно недавно в НЦВО РАН совместно с ИОФ РАН был разработан новый композитный одномодовый фосфосиликатный световод с высокой концентрацией оксида эрбия в сердцевине. Было показано, что световод, изготовленный при помощи метода «стержень в трубке» [1], обладает хорошими генерационными характеристиками при достаточно высокой фоточувствительности к излучению ArF-лазера (193 нм), что позволило изготовить целиком на коротком отрезке (21 мм) этого световода высокодобротный резонатор Фабри-Перо, и, как следствие, получить стабильную одночастотную генерацию на длине волны 1565 нм с использованием оптической накачки с длиной волны 976 нм [2].

В настоящей работе исследовалась фоточувствительность этого композитного световода. В частности, были получены дозные зависимости амплитуды модуляции и среднего изменения показателя преломления как для исходного световода, так и для световода, подвергнутого низкотемпературной водородной обработке. Световод имел диаметр сердцевины 5 мкм, разность показателей преломления между сердцевиной и оболочкой составляла 0.025, длина волны отсечки первой высшей моды сердцевины ~ 1,43 мкм. Для записи ВБР использовался эксимерный ArF-лазер с длиной волны генерации 193 нм (Coherent COMPEXPro), с длительностью импульса 20 нс и частотой повторения 10 Гц. Плотность энергии облучения в импульсе составляла 200 мДж/см². Водородная обработка образцов световода осуществлялась в камере при давлении H₂ - 120 атм при температуре 90°C в течение 24 часов. ВБР записывались с помощью фазовой маски длиной 10 мм, имеющей период 1064 нм.

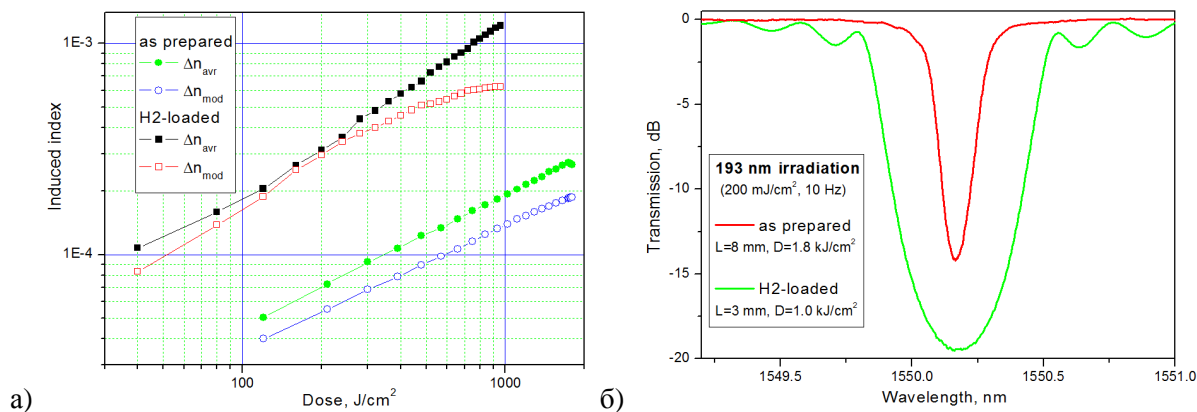


Рис. 1. а) Дозные зависимости компонентов наведенного показателя преломления, полученные для исходного композитного световода, а также для световода, прошедшего водородную обработку; б) спектры пропускания ВБР, измеренные в конце УФ-облучения этих образцов

На основе спектров ВБР, записанных как в исходных, так и в предварительно насыщенных водородом образцах, были получены зависимости амплитуды модуляции и среднего значения наведенного показателя преломления (НПП) от дозы УФ-излучения (рис.1а). Было обнаружено, что молекулярный водород, присутствующий в сетке стекла сердцевины композитного световода, значительно (почти на порядок) увеличивает его фоточувствительность – аналогично известному эффекту в германосиликатных световодах. На рис.1б представлены спектры пропускания ВБР, измеренные сразу после облучения.

Термическая стойкость НПП исследовалась при нагреве записанных ВБР с постоянной скоростью 0.25 К/сек с использованием автоматизированной установки, описанной в работе [3]. На рис.2а приведено относительное изменение амплитуды модуляции НПП, измеренное при отжиге исследованных нами ВБР. Как видно, значение НПП монотонно уменьшается с повышением температуры, однако некоторая его часть (~ 5 % от начальной величины) сохраняется вплоть до температуры плавления материала сердцевины (900 ÷ 950К).

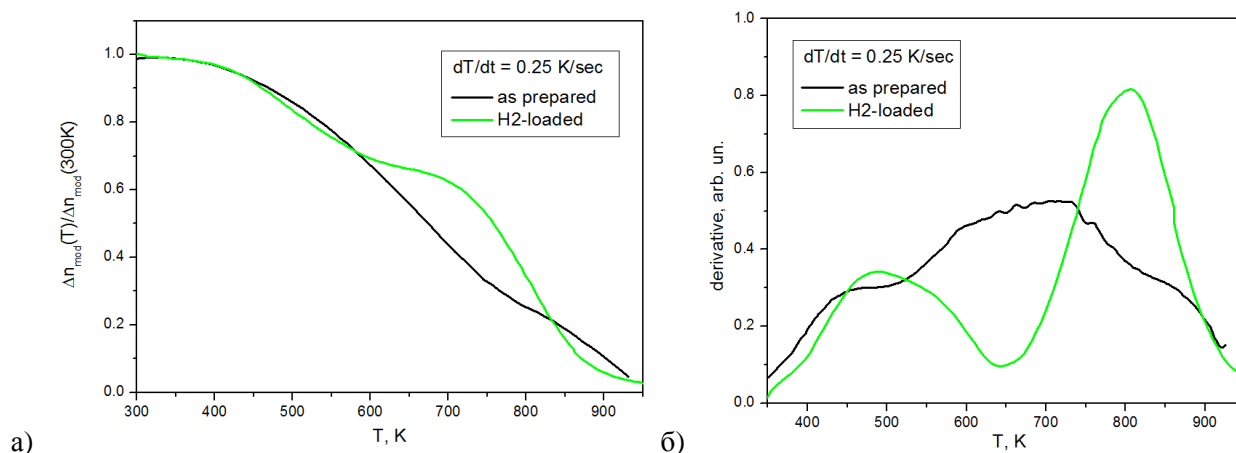


Рис. 2. а) Относительное изменение амплитуды модуляции наведенного показателя преломления для исходного композитного световода, а также для световода, прошедшего водородную обработку; б) Модуль производных этих указанных зависимостей по температуре

Отметим, что скорость уменьшения НПП изменяется при отжиге, а характер изменения скорости отжига ВБР зависит от присутствия растворенного молекулярного водорода в сетке стекла при записи ВБР. Изменение скорости с увеличением температуры хорошо иллюстрируется производной зависимостей отжига НПП по температуре (рис. 2б). Согласно [4], именно этот параметр характеризует распределение энергии активации отжига фотоиндуцированных изменений в сетке стекла. Несмотря на то, что погрешность при вычислении производных достаточно велика (~ 0.1 в единицах шкалы ординат на рис. 2б), анализ приведенных зависимостей позволяет сделать важное заключение: динамики формирования и отжига НПП в световодах, насыщенных молекулярным водородом, обусловлены участием двух механизмов, характеризующихся существенно различной температурной стойкостью (различной энергией активации обратных термоиндуцированных процессов). Природа этих механизмов в настоящее время не известна и требует дополнительных исследований.

Другие результаты, полученные нами при исследовании фоточувствительности активного композитного фосфосиликатного световода будут представлены на конференции.

Литература

1. O.N. Egorova, S.L. Semjonov, V.V. Velmiskin, Yu. P. Yatsenko, S.E. Sverchkov, B. I. Galagan, B.I. Denker, E.M. Dianov. "Phosphate-core silica-clad Er/Yb-doped optical fiber and cladding pumped laser", *Optics Express*, Vol. 22, p. 7632 (2014)
2. A.A. Rybaltovsky, O.N. Egorova, S.G. Zhuravlev, S.L. Semjonov, B. I. Galagan, S.E. Sverchkov, B.I. Denker, to be published in *Optics Letters*
3. Божков А.С., Васильев С.А., Медведков О.И., Греков М.В., Королев И.Г. «Установка для исследования изменения наведенного преломления в волоконных световодах при высоких температурах», *Приборы и техника эксперимента*, №4, с.76-83 (2005)
4. Erdogan T, Mizrahi V, Lemaire PJ, Monroe D. "Decay of ultraviolet-induced fiber Bragg gratings", *Journal of applied physics*, Vol. 76, N 1, p. 73 (1994)