

07

## Механизмы поглощения света в гамма-облученных заготовках для волоконных световодов на основе высокочистого кварцевого стекла

© М.О. Забейайлов, А.Л. Томашук, И.В. Николин,  
В.Г. Плотноченко, Е.Б. Крюкова, В.В. Колташев

Научный центр волоконной оптики при Институте общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
E-mail: post@fo.gpi.ru

Поступило в Редакцию 24 января 2005 г.

Исследованы спектры поглощения в инфракрасном диапазоне и спектры комбинационного рассеяния в стержнях из высокочистого кварцевого стекла марок КУ-1 и КС-4В и заготовках на их основе, полученных по технологии внешнего плазменного осаждения фторсиликатного стекла на опорный стержень. В свете полученных результатов обсуждаются наиболее вероятные механизмы увеличения радиационно наведенного поглощения в высокочистых кварцевых стеклах в результате их обработки при изготовлении волоконных световодов.

**Введение.** Радиационно стойкие волоконные световоды с сердцевинной из высокочистого кварцевого стекла могут применяться в атомной энергетике для спектроскопии и передачи изображения [1], а также в медицине для передачи мощного лазерного излучения ультрафиолетового (УФ) диапазона [2].

Световоды для указанных применений в процессе эксплуатации подвержены воздействию ядерного или УФ-излучения, в результате которого в сетке стекла световода создаются дефекты (центры окраски — ЦО), приводящие к появлению, как правило, по технологии внешнего плазменного осаждения фторсиликатной светоотражающей оболочки на опорный стержень из нелегированного кварцевого стекла (Plasma Outside Deposition — POD) [3]. Ранее [4] было обнаружено, что при использовании POD-технологии в световоде появляются дефекты, являющиеся „предшественниками“ радиационных центров окраски (РЦО).

Нами в работе [5] было показано, что образование таких дефектов происходит в процессе изготовления заготовки по технологии POD и не связано с диффузией атомов фтора в опорный стержень, как считалось ранее [6]. В [5] было сделано предположение, что к увеличению количества „предшественников“ РЦО в процессе изготовления заготовки приводит вхождение примесей ( $H_2O$ ,  $HCl$ ) в сетку стекла и/или появление напряженных связей в результате высокотемпературной обработки опорного стержня в пламени плазменной горелки, но не было получено экспериментального подтверждения этих предположений.

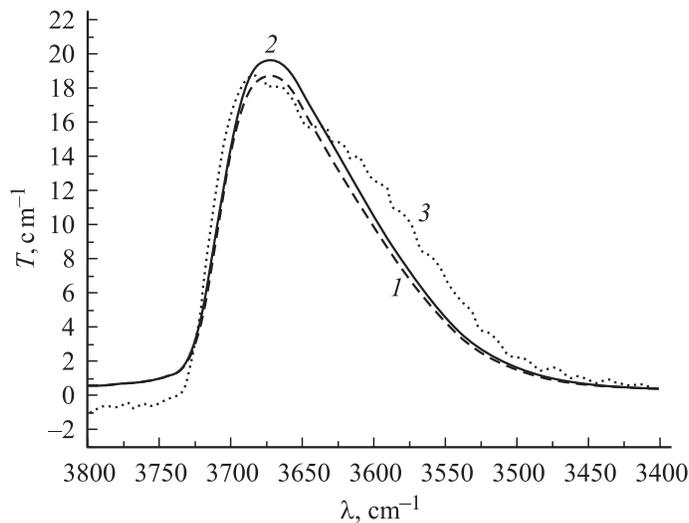
Целью настоящей работы являлось получение экспериментальных данных, подтверждающих выдвинутые в работе [5] предположения о причинах образования „предшественников“ РЦО в стекле опорного стержня в процессе изготовления заготовки.

**Экспериментальная часть.** Настоящая работа включала в себя исследование спектров поглощения и комбинационного рассеяния в срезах стержней из стекол КУ-1 (с содержанием ОН-групп  $\sim 800$  ppm и содержанием Cl  $\sim 80$  ppm) и стекол КС-4В (с содержанием ОН-групп  $< 1$  ppm и содержанием Cl  $\sim 40$  ppm) и заготовок на их основе, полученных при стандартных технологических режимах POD процесса (температуре и длительности обработки) [5].

Спектры поглощения в инфракрасном (ИК) диапазоне измерялись на вакуумном Фурье-спектрометре IFS-113 V с уровнем шума не более 0.1% от величины пропускания и разрешением  $1\text{ cm}^{-1}$ . Толщины срезов для спектральных измерений в ИК-диапазоне составляли около 0.5 mm.

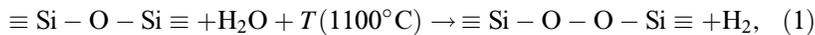
Спектры комбинационного рассеяния были получены на установке Triple Raman Spectrograph с разрешением  $1\text{ cm}^{-1}$  при возбуждении от аргонового лазера на длине волны 514.5 nm. На установке измерялись срезы стержней и заготовок толщиной 1 mm.

**Результаты и их обсуждение.** Спектр ИК-поглощения образца стекла КУ-1, прошедшего обработку в POD-установке (срез заготовки), демонстрирует увеличение амплитуды полосы поглощения основного колебания ОН-групп в районе  $3670\text{ cm}^{-1}$  (рис. 1) в результате обработки. В стекле КС-4В такого увеличения не зафиксировано. Полученные результаты могут свидетельствовать в пользу гипотезы, изложенной нами в [5], о вхождении водородосодержащих примесей (например,  $H_2O$ ,  $HCl$ ) в сетку стекла при обработке в POD-установке с образованием пероксидных и Si–Cl связей, являющихся соответственно



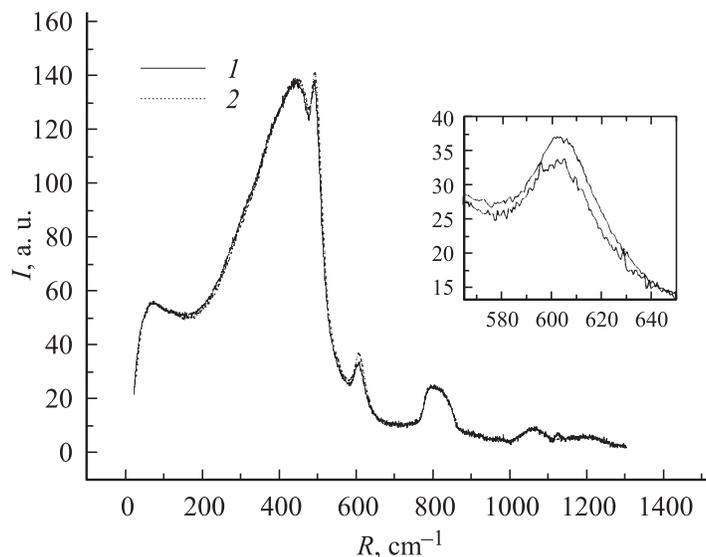
**Рис. 1.** Спектры поглощения в ИК-диапазоне в срезах стержня из стекла КУ-1 (спектр 1) и РОД-заготовки на его основе (спектр 2). Спектр 3 — нормированная разница между спектрами в срезах заготовки и опорного стержня, коэффициент нормировки  $\sim 20$ .

предшественниками РЦО немостикового кислорода и  $E'$ -центра:



Количество образовавшихся таким образом предшественников РЦО может составлять вплоть до  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  (вычислено по увеличению амплитуды полосы ОН-групп), что не противоречит оценкам концентрации РЦО, образовавшихся в заготовке из стекла КУ-1 при  $\gamma$ -облучении ( $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  [5]).

В спектре комбинационного рассеяния в образце стекла КУ-1 при обработке в РОД-установке наблюдается увеличение амплитуд пиков на  $495$  и  $606 \text{ cm}^{-1}$  (рис. 2), соответствующих структурам типа трехзвенных и четырехзвенных колец, что, согласно [7], приводит к увеличению количества напряженных связей в стекле. В спектре комбинационного



**Рис. 2.** Спектры комбинационного рассеяния в срезах стержня из стекла КУ-1 (спектр 1) и POD-заготовки на его основе (спектр 2). На вставке более подробно показан участок спектра в районе максимума полосы на  $606\text{ см}^{-1}$ .

рассеяния в образце из стекла КС-4В при обработке в POD-установке указанных выше изменений не наблюдается.

**Заключение.** Были получены экспериментальные подтверждения выдвинутых в [5] предположений о механизмах образования „предшественников“ РЦО в процессе изготовления заготовки волоконного световода по технологии POD. В частности, было установлено, что при изготовлении заготовки из стекла КУ-1 по технологии POD может происходить:

— образование трехзвенных и четырехзвенных колец в структуре стекла, которое приводит к образованию напряженных связей — предшественников РЦО немоستикового кислорода,  $E'$ -центра;

— вхождение водородосодержащих примесей (например,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ) в сетку стекла, которое сопровождается образованием  $\text{OH}$ -групп, а также пероксидных связей и  $\text{Si}-\text{Cl}$  связей — предшественников РЦО немостикового кислорода и  $E'$ -центра.

Отсутствие заметного количества предшественников РЦО немостикового кислорода и  $E'$ -центра, появившихся в процессе изготовления заготовки из стекла КС-4В, может быть объяснено наличием значительно меньшего количества водородосодержащих примесей в стекле КС-4В и большей жесткостью его сетки в сравнении со стеклом КУ-1, что препятствует протеканию рассмотренных выше процессов.

## Список литературы

- [1] *Tomashuk A.L., Golant K.M.* // Advances in Fiber Optics. Proceedings of SPIE. 2000. V. 4083. P. 188–201.
- [2] *Prochorov A.M., Kuz'min G.P., Kisletsov A.V.* et al. // ALT '98 Selected Papers on Novel Laser Methods in Medicine and Biology. Proceedings of SPIE. 1999. V. 3829. P. 18–28.
- [3] *Biriukov A.S., Dianov E.M., Golant K.M.* et al. // Soviet Lightwave Communications. 1993. V. 3. P. 1–12.
- [4] *Nagasawa K., Tohmon R., Ohki Y.* // Jpn. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. P. 148–151.
- [5] *Забейайлов М.О., Томашук А.Л., Николин И.В.* и др. // Неорганические материалы. 2004. Т. 41. № 3. С. 377–384.
- [6] *Griscom D.L.* // J. Appl. Phys. 1995. V. 77. P. 5008–5013.
- [7] *Awazu K., Kawazoe H.* // J. Appl. Phys. 2003. V. 94. (10). P. 6243–6262.