

СТОЙКОСТЬ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ К ИМПУЛЬСНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

OPTICAL FIBERS STRENGTH AT PULSED IONIZING RADIATION EFFECT

Филиппов А. В.², Томашук А. Л.¹, Моисеенко А. Н.², Бычкова Е. А.², Таценко О. М.²,
Батова Е. Т.², Викторов И. В.², Салганский М. Ю.³, Кашайкин П. Ф.¹

Гурьянов А. Н.³, Дианов Е. М.¹

V. Filippov², A. L. Tomashuk¹, A. N. Moiseenko², E. A. Bychkova², O. M. Tatsenko², E. T. Batova²,
I. V. Victorov², M. Yu. Salgansky³, A. N. Guryanov³, Kashaikin P. F.¹, E. M. Dianov¹

¹ Научный центр волоконной оптики РАН

² Научно-технический центр физики Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (НТЦФ «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)

³ Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Девярых РАН

¹Fiber optics research center, Russian Academy of Sciences, Moscow

²Scientific and Technical Center of Physics – RFNC-VNIIEF, Sarov, Russia

³G. G. Devyatykh Institute of Chemistry of High-Purity Substances,
Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod

Цель данной работы – сравнительное исследование эволюции радиационно наведенного затухания после импульсного воздействия γ -излучения в различных световодах. Исследовалось несколько световодов с сердцевиной из нелегированного SiO₂, два световода с германосиликатной сердцевиной и оболочкой из нелегированного SiO₂ (стандартный световод для оптической связи SMF-28), а также коммерческий радиационно-стойкий световод MIL-PRF-49291/7-01.

The goal of this work is comparative investigation of evolution of radiation-induced damping after pulsed effect of γ -radiation in different optical fibers. The authors studied several optical fibers with unalloyed SiO₂ core, two optical fibers with germanosilicate core and unalloyed SiO₂ shell, and commercial radiation-stable optical fiber MIL-PRF-49291/7-01.

Под действием импульса ионизирующего излучения в волоконном световоде возникает радиационно-наведенное затухание света (РНЗ), которое быстро уменьшается со временем, прошедшим после воздействия [1]. РНЗ вызвано поглощением света радиационно-индуцированными центрами окраски. Практическое значение имеет то, как велико РНЗ после импульса и как быстро оно спадает.

Опубликованных исследований РНЗ при импульсном воздействии не так много и все они носят достаточно фрагментарный характер (не полностью известна технологическая предыстория исследованных образцов световодов, и практически отсутствуют сравнительные исследования различных световодов при одинаковых условиях импульсного воздействия). В предыдущих работах, тем не менее, удалось установить, что величина РНЗ и время его спада («время восстановления») зависят, прежде всего, от хими-

ческого состава кварцевого стекла световода. При этом оказалось, что стойкость различных световодов к импульсному воздействию антикоррелирует со стойкостью к непрерывному воздействию, которое имеет место при облучении световода от источника Co₆₀ с мощностью дозы <100 Гр/с. Так, наименьшее РНЗ и наименьшее время восстановления при импульсном воздействии оказалось у световодов, легированных фосфором [2]. В то же время, такие световоды демонстрируют наибольшее РНЗ из всех типов световодов при непрерывном воздействии [3]. Световоды с сердцевиной из нелегированного кварцевого стекла и фторсиликатной оболочкой демонстрируют наибольшее РНЗ и наиболее продолжительное время восстановления при импульсном воздействии [2], но, при этом имеют наименьшее РНЗ при непрерывном воздействии [4]. Германосиликатные световоды по стойкости к обоим типам воздействия занимают промежуточное место между нелегированными

световодами и световодами, содержащими фосфор [2].

Известны световоды с сердцевиной из кварцевого стекла, легированного азотом [5], которые не проявляют вышеописанного свойства антикорреляции. При импульсном воздействии по стойкости такие световоды не уступают световодам с фосфором [2], а при непрерывном воздействии они лишь немного хуже, чем световоды из нелегированного SiO_2 [2,6,7]. По данным работы [2], РНЗ на $\lambda = 1,55$ мкм, нормированное на дозу в импульсе, в световоде с фосфором и в световоде с азотом, составило $\sim 0,5\text{--}0,8$ дБ/(км·Гр) через 10^{-3} с после импульса и $0,1\text{--}0,2$ дБ/(км·Гр) через 10^{-2} с, а при непрерывном облучении с мощностью дозы $0,1$ Гр/с при дозе 100 Гр РНЗ оказалось ~ 12 и $1,9$ дБ/км соответственно.

Цель данной работы – сравнительное исследование эволюции РНЗ после импульсного воздействия γ -излучения в различных световодах. Исследовалось несколько световодов с сердцевиной из нелегированного SiO_2 , изготовленных совместно в ИХВВ и НЦВО РАН и отличающихся режимами MCVD-процесса и вытяжки, два световода с германосиликатной сердцевиной и оболочкой из нелегированного SiO_2 (стандартный световод для оптической связи SMF-28 с разницей показателей преломления сердцевины и оболочки $\Delta n = 0,005$ и световод с повышенным содержанием оксида германия в сердцевине – $\Delta n = 0,01$), а также коммерческий радиационно-стойкий световод MIL-PRF-49291/7-01 фирмы «J-fiber» (Германия), аттестованный в вооруженных силах США как удовлетворяющий по радиационной стойкости требованиям военного стандарта MIL-PRF-49291.

Облучения проводились на двух линейных ускорителях электронов с выводом на образцы тормозного γ -излучения. Экспозиционные дозы составили $30\text{--}450$ Р для первого ускорителя и $2 \cdot 10^3\text{--}1,2 \cdot 10^4$ Р для второго. Средняя энергия γ -квантов первого ускорителя – 800 кэВ, второго ускорителя – 5 МэВ. Длительность импульсов были соответственно 50 и 20 нс. Сигнал полупроводникового лазера на выходе световода регистрировался фотоприемником NewFocus 1801, сопряженным с осциллографом Lecroy 4096 HD (рис. 1).

При импульсном воздействии РНЗ световодов с сердцевиной из нелегированного SiO_2 оказалось тем больше, чем больше РНЗ в первые минуты их непрерывного облучения от источника Co_{60} при мощности дозы $\sim 1\text{--}10$ Гр/с. Из этого сделан вывод, что в обоих случаях РНЗ определяется поглощением автолокализованных дырочных

состояний («self-trapped holes, STH_2 ») [4], которые являются короткоживущими и сильно зависят от мощности дозы. Из-за поглощения STH_2 у всех световодов с сердцевиной из нелегированного SiO_2 РНЗ оказалось выше, чем у радиационно-стойкого световода фирмы «J-fiber» и германосиликатного световода с $\Delta n = 0,01$, который продемонстрировал наименьшее из всех световодов РНЗ в интервале времен $10^{-6}\text{--}10^{-1}$ с (рис. 2). Отметим, что наименьшее РНЗ через 5 часов после завершения непрерывного облучения до дозы 1 кГр показал световод с сердцевиной из нелегированного SiO_2 (рис. 2).

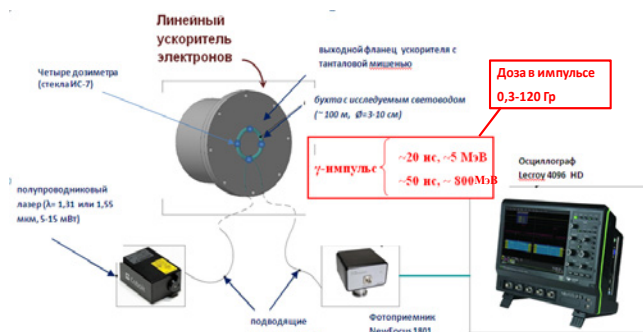


Рис.1 Схема эксперимента по определению РНЗ в световодах

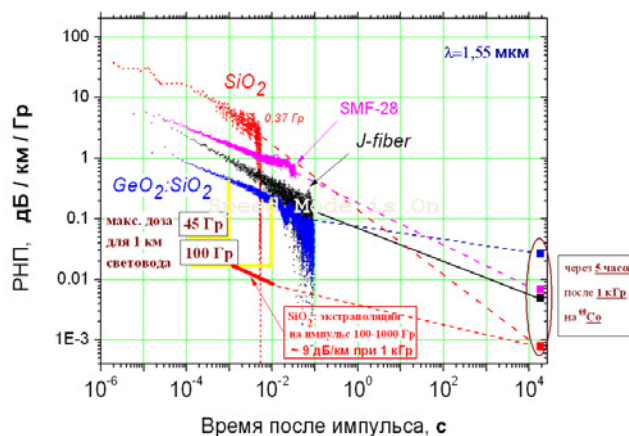


Рис. 2. Изменение во времени нормированного на дозу РНЗ в четырех световодах после воздействия на них γ -импульса: « SiO_2 » – световод с сердцевиной из нелегированного SiO_2 и фтор-силикатной оболочкой, «J-fiber» – коммерческий радиационно-стойкий световод MIL-PRF-49291/7-01 фирмы «J-fiber», « $\text{GeO}_2\text{:SiO}_2$ » – световод с высоко-легированной германосиликатной сердцевиной и оболочкой из нелегированного SiO_2 ($\Delta n = 0,01$). Символы \square и \blacksquare – нормированное на дозу РНЗ, измеренное через 5 часов после завершения непрерывного γ -облучения от источника Co_{60} до дозы 1 кГр

РНЗ германосиликатного световода с $\Delta n = 0,01$ составило $\sim 0,2-0,3$ дБ/(км·Гр) через 10^{-3} с и $\sim 0,05$ дБ/(км·Гр) через 10^{-2} с, что, насколько нам известно, является лучшим из опубликованных результатов. Тем не менее, такое РНЗ все еще слишком велико для применений больших длин световода в условиях импульсного воздействия. Интересно, что РНЗ у этого световода практически перестает падать после 10^{-1} с. Об этом свидетельствуют измерения РНЗ через 5 часов после завершения непрерывного облучения (рис. 2). Известно, что примерно так же ведут себя и световоды, содержащие фосфор [2].

Таким образом, ни один из исследованных типов световодов не проявил достаточно высокой радиационной стойкости при импульсном воздействии γ -излучения, необходимой для применений больших длин. Это относится и к немецкому коммерческому радиационно-стойкому световоду MIL-PRF-49291/7-01. Можно предположить, что в световоде с сердцевиной из нелегированного SiO_2 при условии более полного подавления STH_2 за счет оптимизации технологических режимов может быть достигнуто достаточно быстрое восстановление после импульсного воздействия в сочетании с уже продемонстрированным низким уровнем долгоживущего РНЗ. На оптимизации

таких световодов и будут сфокусированы дальнейшие исследования.

Работа была финансово поддержана РФФИ, Пермским краем и Пермской научно-производственной приборостроительной компанией в рамках проекта РФФИ № 14-42-08005 p_офи_м.

Список литературы

1. Долгов И. И. и др., Фотон-Экспресс № 6 (46), 4–10 (2005).
2. Girard S. et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 215, 187–195(2004).
3. Brichard B. et al., Proc. SPIE 3872, 36–42 (1999).
4. Tomashuk A. L. and Golant K.M., Proc. SPIE 4083, 188-201 (2000).
5. Golant K. M. et al., Proc. SPIE 4083, 2–11 (2000).
6. Dianov E. M. et al., Electron. Lett. 31, 1490–1491 (1995).
7. Tomashuk A. L. et al., IEEE Trans. on Nucl. Sci. 45, 1566–1569 (1998).