

05;07;12

Переходные оптические явления в кварцевых волокнах при мощном импульсном реакторном облучении

© П.В. Деменков, О.А. Плаксин, В.А. Степанов,
П.А. Степанов, В.М. Чернов

Физико-энергетический институт, Обнинск

Поступило в Редакцию 11 ноября 1999 г.

Проведены измерения интенсивности свечения и наведенного оптического поглощения при 400–750 nm в кварцевых волокнах КУ-1 в процессе импульсного облучения на реакторе БАРС-6 (длительность импульса 80 μ s, доза за импульс до $5 \cdot 10^{12}$ n/cm² ($E > 0.2$ MeV), мощность дозы до 10^5 Gy/s). Безынерционная компонента обусловлена Черенковским излучением, слабая релаксационная компонента свечения имеет время релаксации $\sim 150 \pm 50$ μ s, радиационно-индуцированное оптическое поглощение достигает $2.5 \cdot 10^{-4}$ cm⁻¹ (время релаксации 600–1200 μ s). Нелинейную зависимость Черенковского излучения от мощности дозы, наличие релаксационной компоненты свечения и переходного оптического поглощения можно связывать с возникновением оптической неоднородности стекла в условиях мощного реакторного облучения.

При использовании оптических волокон в радиационных полях возникает проблема разделения и оценки вкладов в оптические сигналы радиационно-индуцированной люминесценции (РИЛ), Черенковского излучения, радиационно-индуцированного (в том числе переходного) оптического поглощения (РИОП). При стационарном облучении надежное разделение вкладов РИЛ и Черенковского излучения в свечение волокна невозможно. Кроме того, конструктивные особенности используемых радиационных устройств (реакторы деления, ускорители, гамма-источники), как правило, ограничивают длину испытываемых волокон (до 1 m), что не позволяет регистрировать изменения коэффициента поглощения менее 10^{-3} cm⁻¹ (см., например, [1]). Поэтому большинство известных данных по РИОП связано с необратимыми изменениями в волокнах, а не с более слабым переходным поглощением. В связи с этим были проведены исследования кинетики свечения и оптического

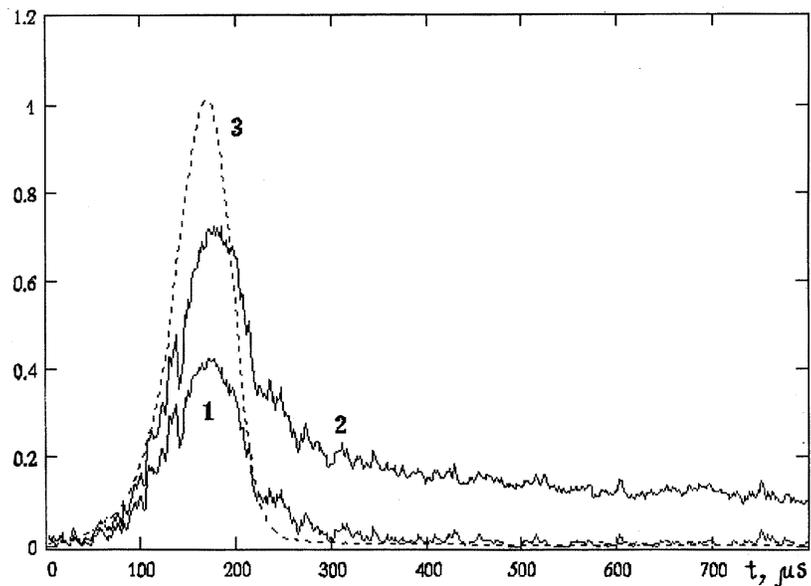


Рис. 1. Временные зависимости: 1 — интенсивность свечения при 630–636 нм в относительных единицах; 2 — оптическая плотность; 3 — нормированная на единицу плотность потока быстрых нейтронов.

поглощения кварцевых волокон КУ-1 в процессе импульсного облучения на реакторе БАРС-6 (длительность импульса $80 \mu\text{s}$, доза за импульс до $5 \cdot 10^{12} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.2 \text{ MeV}$), мощность дозы до 10^5 Gy/s).

Измерения проводились с использованием оптических волокон с сердцевиной из стекла КУ-1 и фтор-силикатной светоотражающей оболочкой в акрилатном защитном покрытии (производство Научного центра волоконной оптики при ИОФАН) диаметром $100 \mu\text{m}$ и 1 mm , намотанных на катушки (длина 20 и 3 м соответственно).

Чтобы разделить свечение РИОП, проводили регистрацию оптических сигналов (длина волны 488 и 630–635 нм, временное разрешение до 100 ns), обусловленных свечением тонкого волокна и свечением при зондировании этого волокна светом лампы накаливания. На временной зависимости свечения (рис. 1) наиболее интенсивно проявля-

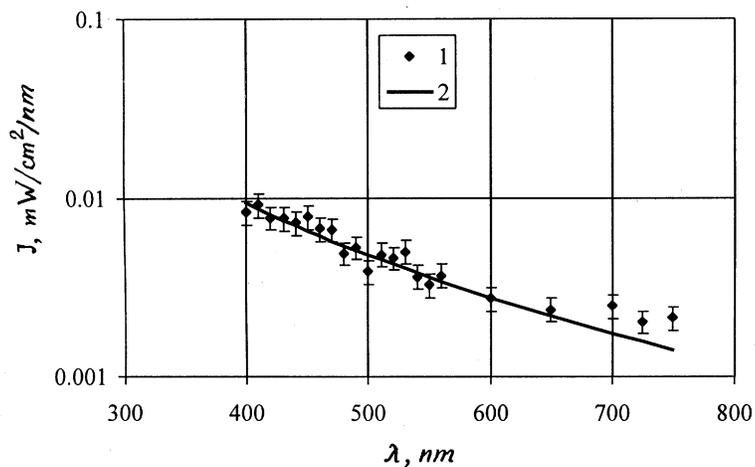


Рис. 2. Спектральная интенсивность свечения J на выходе волокна при мощности ионизирующей дозы $8 \cdot 10^4$ Gy/s (1) и форма спектра Черенковского излучения (2).

ется безынерционная компонента: максимум свечения соответствует максимуму нейтронного импульса (максимуму интенсивности гамма-излучения, сопровождающего импульс нейтронов). За безынерционной компонентой свечения, на временах более $50 \mu\text{s}$ от максимума, проявляется релаксационная компонента, которая здесь отождествляется с РИЛ. Измерения интенсивности свечения волокна с диаметром сердцевины 1 mm показали, что спектральная эффективность преобразования энергии поглощенного ионизирующего излучения в оптическое излучение волокна не превышает 10^{-6} nm^{-1} . В диапазоне $400\text{--}750 \text{ nm}$ интегральная эффективность составляет $\sim 10^{-4}$. Время релаксации РИЛ в толстом волокне составило $\sim 150 \pm 50 \mu\text{s}$ и не изменилось в течение 100 импульсов облучения (суммарная доза $5 \cdot 10^{14} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ keV}$)).

При $630\text{--}636 \text{ nm}$ удалось зарегистрировать переходное поглощение, которое в максимуме достигает величины $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ (580 dB/km). Это значение в два раза превышает исходное и соответствует эффективности ионизирующего воздействия $\sim 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^{-1}/\text{Gy}\cdot\text{s}$. Релаксация

РИОП характеризуется временами 600–1200 μs , запаздывание РИОП относительно максимума нейтронного импульса составляет 20 μs . При 488 nm РИОП не превышает 10^{-4} cm^{-1} .

Природа релаксационной составляющей свечения (РИЛ) не ясна. Она не связана с процессом релаксации кислородно-дефицитных центров, для которого постоянная времени много больше ($\sim 30 \text{ ms}$)[2]. Поскольку релаксационная составляющая проявляется во всем спектральном диапазоне измерений (400–750 nm), ее также невозможно связать с любыми другими центрами в стекле.

Безынерционная компонента свечения, по-видимому, связана с Черенковским излучением [1,3]. Спектральная интенсивность этой компоненты свечения при фиксированной мощности ионизирующей дозы уменьшается с увеличением длины волны (λ) в соответствии с зависимостью $1/\lambda^3$ (рис. 2). Однако эта интенсивность не пропорциональна мощности дозы, как это следует ожидать для Черенковского излучения, а имеет степенную зависимость с показателем 0.7 ± 0.05 (расчет показателя проведен для фронтов импульсов свечения и нейтронов). Отклонение от линейной зависимости не связано с оптическими потерями, поскольку зависимость установлена после разделения вкладов свечения и РИОП (рис. 1). Можно предположить, что эта нелинейность обусловлена изменением условий возникновения Черенковского излучения с увеличением мощности дозы. С ростом плотности электронных возбуждений увеличивается оптическая неоднородность среды (стекла). При этом уменьшение когерентного излучения приводит к уменьшению выхода Черенковского излучения. Одновременно с этим в результате рассеяния на неоднородностях среды происходит уменьшение оптического пропускания волокна, что проявляется в импульсе РИОП.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 98-02-03571).

Список литературы

- [1] *Shikma T., Kakuta T., Narui M. et al. // J. Nucl. Mat. 1994. V. 212–215. P. 421.*
- [2] *Tohmon R., Shimogaichi Y., Mizuno H., Ohki Y., Nagasawa K., Hama Y. // Phys. Rev. Lett. 1989. V. 62. N 12. P. 1388.*
- [3] *Scneider W., Babst U. // Proc. SPIE. 1984. V. 506. P. 189.*