ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЙ РАСПАД РАДИАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В ПРОТЯЖЕННЫХ ОБРАЗЦАХ СТЕКОЛ

А.Г. Бедрин, В.Г. Докучаев, С.В. Лаврентюк
НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем,
188540, г. Сосновый Бор, Ленинградская область,
тел. (81369)23978, e-mail: contact@niiki.ru

Исследован фотостимулированный распад радиационных центров окраски в протяженных образцах стекол, моделирующих блоки, используемые в крупногабаритных смотровых окнах "горячих" камер.

Известно, что смотровые окна "горячих" камер под воздействием ионизирующих излучений веществ, работа с которыми ведется в камерах, могут терять свое светопропускание вплоть до величин, неприемлемых с точки зрения их дальнейшей эксплуатации. Ускоренное восстановление светопропускания окон принципиально возможно путем воздействия на них светом, разрушающим содержащиеся в материале окон радиационные центры окраски (РЦО). Смотровые окна так называемой "тяжелой серии" представляют собой крупногабаритные системы, состоящие из отдельных блоков стекол различных марок толщиной 100 мм каждый. Ясно, что решение задачи восстановления светопропускания таких систем путем воздействия на них света требует проведения экспериментальных исследований на образцах стекол такой же протяженности в направлении наблюдения и воздействия света.

В настоящей работе исследован фотостимулированный распада РЦО в образцах стекла ТФ5 толщиной 100 мм. Выбор данного стекла был обусловлен тем, что суммарная толщина изготовленных из него блоков в окнах обсуждаемого типа доходит до 500 мм и вследствие этого оно вносит наибольший вклад в общее радиационно-индуцированное поглощение. Образцы имели кубическую форму.

Геометрия гамма-облучения образцов стекол выбиралась таким образом, чтобы, во-первых, обеспечить максимальную однородность распределения излучения на входных поверхностях образцов и, во-вторых, получить в области пространства, занимаемой образцом, пучок лучей гамма-излучения, по возможности близких к параллельным. Для достижения данных целей облучение образцов стекол гамма-излучением производилось с помощью двух источников Co^{60} цилиндрической формы, расположенных параллельно друг другу. При этом входные для гамма-излучения поверхности образцов также были ориентированы параллельно осям источников. На поверхностях образцов экспозиционные дозы гамма-излучения, использовавшиеся в работе, составляли 10^5 и $2{\cdot}10^5$ Р. Расчеты показали, что при использованной геометрии облучения неоднородность дозы на входной поверхности образца и в сечениях, параллельных ей, т.е. относительный перепад дозы от центра к периферии каждой поверхности, составлял не более 2,5 %.

Ослабление гамма-излучения стеклом, происходящее по мере распространения его вглубь образцов, приводило к уменьшению его интенсивности, поэтому в результате произведенных таким образом облучений в образцах стекла формировались неоднородно распределенные по их объему РЦО.

Для измерения светопропускания облученных образцов и последующего определения пространственных распределений поглощения РЦО в них использовалась специально созданная установка, в основных чертах совпадающая с описанной в [1].

В качестве источника зондирующего излучения в установке использовался стабилизированный по питанию полупроводниковый лазер с длиной волны излучения 655

нм. Интенсивность излучения лазера регистрировалась с помощью фотоприемника и цифрового вольтметра. Определение коэффициента пропускания производилось обычным способом – по результатам измерений сигнала при прохождении излучения через исследуемый образец и без него. Определение метрологических характеристик использованной в работе установки показало, что значение абсолютной погрешности измерений коэффициентов пропускания не превосходит 1,2 %.

Активирующее оптическое излучение для воздействия на РЦО направлялось на образец в том же направлении, что и гамма-излучение. Зондирующее излучение направлялось в направлении, перпендикулярном направлению распространения гамма-излучения. Источником активирующего излучения служила ртутная лампа ДРТ-240.

На рис.1. представлены результаты измерений пространственных распределений показателя поглощения РЦО на λ=655 нм, формирующихся в гамма-облученном образце стекла ТФ5 под воздействием спектрально селектированного оптического излучения ртутной лампы ДРТ-240 с λ=546 нм. Длительности воздействия света указаны на рисунке.

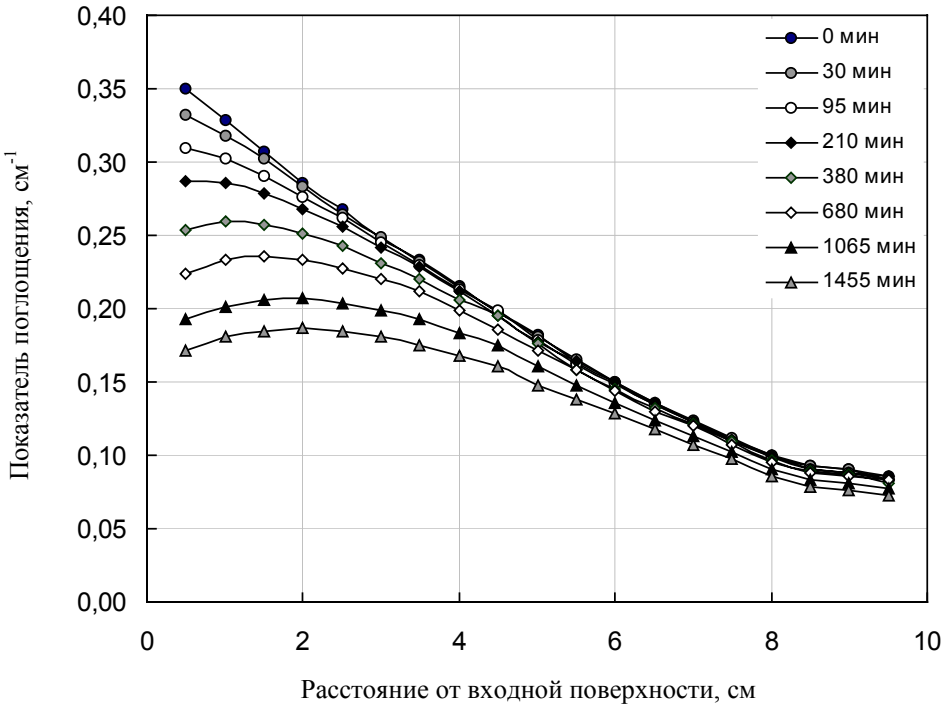

Рис.1. Распределения показателя поглощения РЦО на λ=655 нм, формирующиеся в гамма-облученном образце стекла ТФ5 под воздействием селектированного оптического излучения ртутной лампы ДРТ-240 с λ=546 нм. Доза гамма-излучения – $2\cdot10^5$ Р.

Видно, что распределения поглощения в процессе воздействия света приобретают характерный вид кривых с максимумами, положения максимумов при этом с увеличением экспозиции смещаются вглубь образца.

Результаты, приведенные на рис.1, и им подобные представляют собой достаточно подробную пространственно-временную картину фотостимулированного распада РЦО, что позволяет выявлять детали происходящих при этом процессов. В частности такие данные позволяют рассчитывать энергетические экспозиции для различных длительностей воздействия света и различных расстояний от входных поверхностей образ-

цов. На рис.2 приведены результаты таких расчетов для тех же условий эксперимента, в которых были получены данные рис.1.

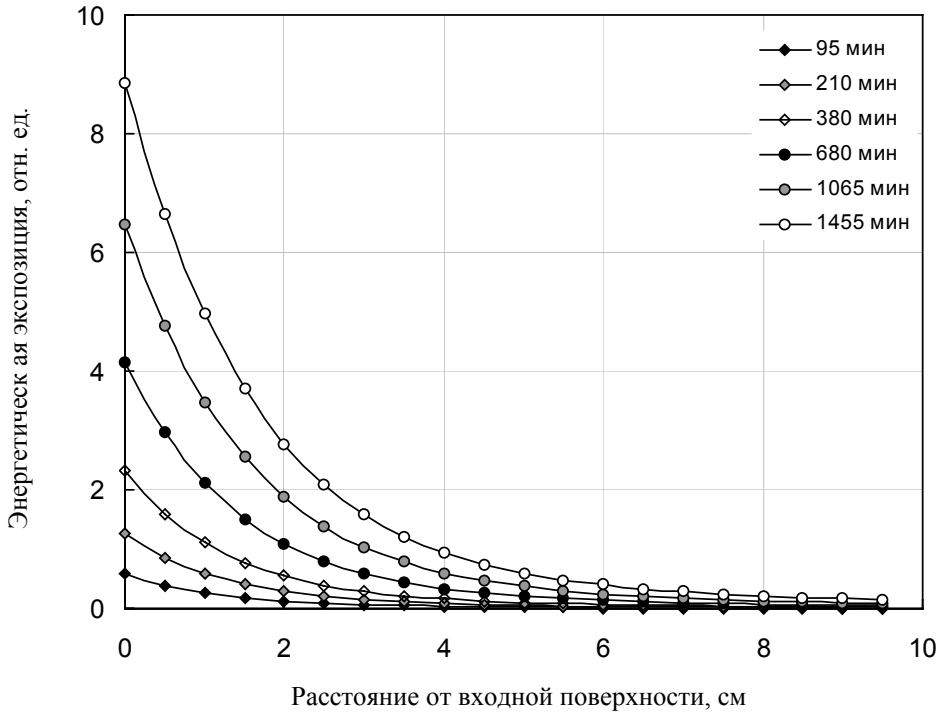

Рис.2. Распределения энергетических экспозиций по глубине гамма-облученного образца стекла ТФ5 для различных длительностей воздействия селектированного излучения ртутной лампы ДРТ-240 с λ=546 нм.

Отметим, что ход зависимостей рис.2 обусловлен достаточно сложным и изменяющимся во времени распределением поглощения по глубине образца (см. рис.1), поэтому их поведение имеет существенно неэкспоненциальный характер.

Одной из основных задач, решение которой необходимо для практического использования фотостимулированного распада РЦО, является определение экспозиционных зависимостей поглощения РЦО. Действительно, без знания таких зависимостей невозможно выполнение ни точных расчетов, ни даже оценок эффективности воздействия света на такие сложные объекты, какими являются смотровые окна "горячих" камер с РЦО в них.

Значительная трудность, возникающая при решении сформулированной задачи, заключается в том, что в общем случае параметры экспозиционных зависимостей являются функциями дозы ионизирующего излучения, соответственно и определение данных параметров должно производиться для всего интересующего диапазона доз гамма-излучения и, тем самым, значений начального поглощения РЦО.

Начальные, сформированные до воздействия света, распределения поглощения РЦО, подобные приведенному на рис.1, обусловлены различием экспозиционных доз гамма-излучения на различных глубинах образца. Таким образом, пространственные распределения начального поглощения РЦО в протяженных образцах отражают дозовые зависимости этого поглощения.

Сказанное, а также использование остальных данных рис.1 и зависимостей рис.2 позволяет определить интересующие нас экспозиционные зависимости поглощения РЦО. Полученные результаты, соответствующие данным рис.1 и 2, приведены на рис.3.

Зависимости рис.3 получены для РЦО, эволюционирующих на различных расстояниях от входной поверхности образца, т.е. в областях образца стекла, подвергнутых облучению различными дозами гамма-излучения. Расчет показал, что диапазон экспозиционных доз гамма-излучения для всей совокупности данных, представленных на рис.3, составляет $6{,}6\cdot10^4 \div 2\cdot10^5$ Р.

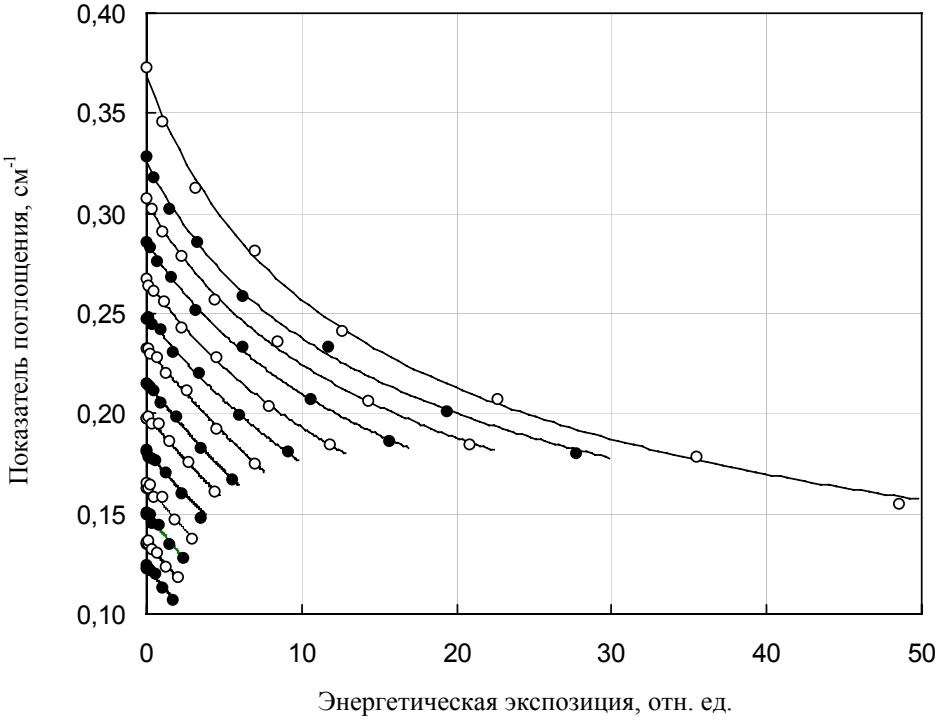

Рис.3. Экспозиционные зависимости поглощения РЦО на различных расстояниях от входной поверхности образца. Верхняя кривая относится к приповерхностному слою стекла, следующая – соответствует расстоянию 1 см, далее для каждой кривой расстояние увеличивается на 0,5 см. Точки – эксперимент, сплошные линии – результаты использования аппроксимации функцией Беккереля.

Из рис.3 видно, что использованный подход позволяет получать достаточно детальные данные. Поясним при этом, что количество точек на каждой из зависимостей рис.3 соответствует количеству измеренных распределений поглощения (см. рис.1), а шаг по расстоянию и, соответственно, по дозе - пространственному разрешению, использованному при измерениях распределений рис.1.

Полученные экспериментальные данные хорошо аппрокисимируются функцией Беккереля, имеющей вид $\boldsymbol{B}(\boldsymbol{E}) = \dfrac{\boldsymbol{a}_0}{(1+\boldsymbol{E}/\boldsymbol{E}_0)^{\alpha}}$, где $\boldsymbol{E}$ – энергетическая экспозиция, а $\boldsymbol{E_0}$, $\boldsymbol{a}_0$, и α - параметры, значения которых определялись нами с помощью метода наименьших квадратов. Ранее в [2] было показано, что данная функция адекватно описывает кинетики фотостимулированного распада РЦО в стеклах различного состава, полученные в результате измерений, выполненных при использовании тонких однородно облученных гамма-излучением образцов стекол.

Анализ данных рис.3 и параметров соответствующих функций Беккереля показывает, что в исследуемом случае форма экспозиционных кривых при изменении дозы гамма-излучения изменяется незначительно. Это обстоятельство дает возможность упростить описание поведения РЦО при воздействии на них света и использовать одну функцию для случаев с различными начальными концентрациями РЦО.

На рис.4 для примера представлены нормированные значения показателя поглощения РЦО на тех же расстояниях от входной поверхности образца, что и приведенные на рис.3, и соответствующие им энергетические экспозиции.

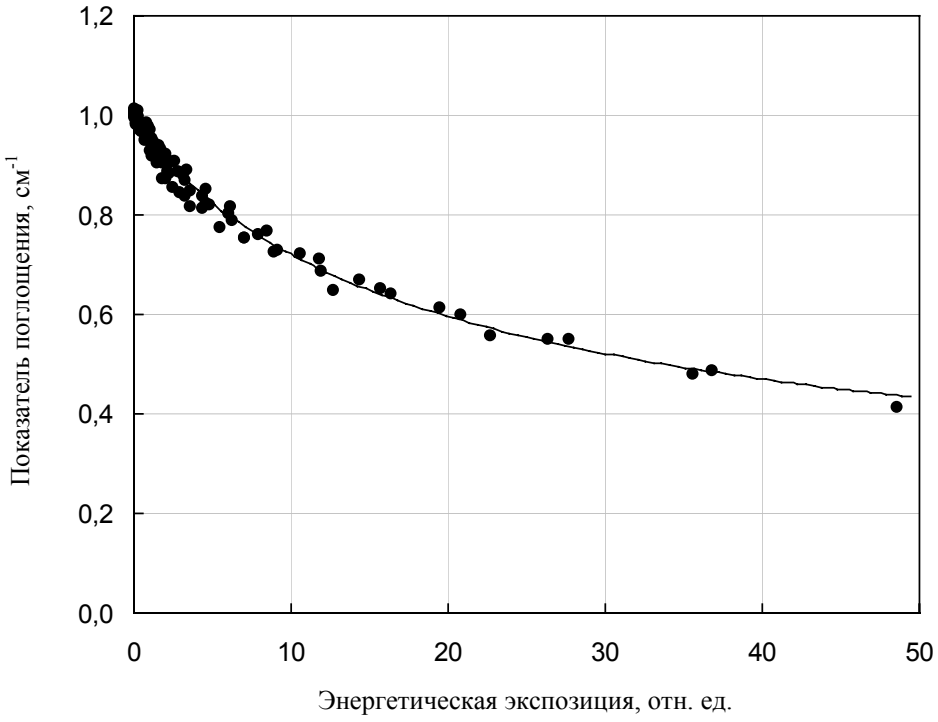

Рис.4. Нормированная зависимость показателя поглощения РЦО от энергетической экспозиции. Точки – эксперимент, сплошная линия – результат аппроксимации функцией Беккереля.

Видно, что точность аппроксимации экспериментальных данных в представленном случае достаточно велика: среднее квадратическое отклонение для данных рис.4 составляет $1{,}6\cdot10^{-2}$ см$^{-1}$.

Таким образом, в результате выполненной работы разработаны экспериментальные и расчетные методики исследования фотостимулированного распада РЦО в протяженных образцах стекол. Для стекла ТФ5 получены экспозиционные зависимости поглощения РЦО, формирующиеся при воздействии на них света с λ=546 нм.

Литература

1. Бедрин А.Г., Горбунов Е.К., Докучаев В.Г., Еперин П.А., Лаврентюк С.В. Определение кинетических и дозовых параметров функций пострадиационной релаксации поглощения в стеклах// Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 1. С. 77-82.

2. Бедрин А.Г., Докучаев В.Г., Лаврентюк С.В. Кинетика фотостимулированного распада радиационных центров окраски в оптических стеклах // Сб. трудов YI Международной конференции "Прикладная оптика-2004". Санкт-Петербург, 2004. Т. 2. С. 27-31.