

ЭКСПОЗИЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОСТИМУЛИРОВАННОГО РАСПАДА РАДИАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В СТЕКЛАХ

© 2008 г. А. Г. Бедрин, канд. физ.-мат. наук; В. Г. Докучаев, канд. физ.-мат. наук; С. В. Лаврентюк

ФГУП Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская область

E-mail: contact@niiki.ru

Исследованы пространственные распределения поглощения радиационных центров окраски, образующиеся в протяженных образцах стекол в результате последовательного действия на них направленных потоков гамма- и оптического излучений. Разработана экспериментальная методика, позволяющая определять экспозиционные зависимости поглощения центров окраски, распадающихся под действием света, и связь параметров этих зависимостей со значениями дозы гамма-излучения. Показано, что по сравнению с традиционно используемыми вновь разработанная методика позволяет существенно сократить количество облучений образцов и повысить точность и детальность получаемых результатов. Полученные в работе новые экспериментальные возможности использованы для исследования свинцово-силикатного стекла ТФ5.

Коды OCIS: 160.2220, 160.2750, 300.1030.

Поступила в редакцию 06.05.2008.

Введение

Известно, что вследствие воздействия ионизирующего излучения на стекла в них образуются локальные дефекты, поглощающие в области прозрачности стекол, – радиационные центры окраски (РЦО). Образованные в элементах оптических систем, они одновременно оказываются подвержены и воздействию рабочего оптического излучения, используемого в системе. Следствием такого воздействия в общем случае является фотостимулированный распад РЦО. Подобные процессы происходят, в частности, в оптических системах, эксплуатируемых в космическом пространстве; окнах эксимерных лазеров, смотровых окнах “горячих камер”, используемых при работе с радиоактивными веществами, и т. д. Фотостимулированный распад РЦО может быть вызван и принудительно, например, для ускоренного восстановления прозрачности радиационно-окрашенных элементов оптических систем [1] или записи голограмм [2]. Сказанное стимулирует развитие исследований воздействия оптического излучения на РЦО различной природы в стеклах (см., например, [3, 4]).

При исследовании фотостимулированного распада РЦО так же, как и в случае других инициируемых светом явлений, одной из наиболее важных эмпирических закономерностей, интересующей исследователя в первую очередь, является зависимость изменяющегося под действием света свойства, т. е. поглощения РЦО, от величины воздействия, в качестве меры которой естественно исполь-

зовать энергетическую экспозицию активирующего оптического излучения.

Обычно для определения таких зависимостей используются образцы стекол с малой толщиной в направлении распространения ионизирующего и активирующего оптического излучения. Ограничения на размеры образцов накладываются, во-первых, для достижения однородности распределения ионизирующего излучения по объему образцов в процессе создания РЦО, а во-вторых, – для получения однородного распределения световой энергии по объему образцов, содержащих РЦО, в процессе воздействия на них света. То и другое необходимо для того, чтобы при измерениях как доза ионизирующего излучения, так и интенсивность (энергетическая экспозиция) оптического излучения были бы однозначно определены. В то же время при спектрофотометрических измерениях поглощения РЦО возникают свои требования к толщине образцов, вытекающие из необходимости достижения достаточной точности результатов. Удовлетворить всем упомянутым требованиям одновременно обычно затруднительно, а в ряде случаев и невозможно.

С другой стороны, при использовании традиционного подхода получение необходимого объема информации затрудняется тем, что с помощью одного образца возможно получить данные только для одной дозы – той, которой он был облучен. Поэтому для получения зависящих от дозы облучения характеристик фотостимулированного распада РЦО требуются многократные облучения образцов ионизирующим излучением и соответствующие много-

кратные измерения. В результате получение дозовых характеристик превращается в объемную и дорогостоящую работу.

Целью настоящей работы являлась разработка метода определения параметров экспозиционных зависимостей поглощения РЦО и их дозовых зависимостей, свободных от указанных выше недостатков. Подход к достижению сформулированной цели, использованный в настоящей работе, опирается на результаты [5], где было исследовано воздействие направленных потоков гамма-излучения на образцы стекол, протяженные в направлении распространения излучения, и на основе полученных результатов разработана методика определения дозовых параметров функций пострадиационной релаксации поглощения в стеклах. При этом использовались способность стекла ослаблять ионизирующее излучение и вытекающая из этого обстоятельства возможность получать пространственные распределения поглощенной дозы излучения по исследуемому образцу.

Методика эксперимента

При выполнении настоящей работы использовались элементы экспериментальной процедуры, ранее подробно описанной в [5], поэтому часть деталей мы опускаем, отсылая читателя к [5].

Объектом исследования являлось оптическое стекло ТФ5. Образцы для проведения измерений имели кубическую форму с размером ребра куба 100 мм.

Геометрия гамма-облучения образцов стекол выбиралась таким образом, чтобы обеспечить максимальную однородность распределения излучения в плоскостях, параллельных входным поверхностям образцов. Облучение проводилось с помощью двух источников Co^{60} цилиндрической формы таким же образом, как и ранее [5]. Как сообщалось в [5], при использованной геометрии облучения неоднородность дозы на входной поверхности образца и в сечениях, параллельных ей, т. е. перепад дозы от центра к периферии каждой поверхности, составлял не более 2,5%. Таким образом, пространственные распределения РЦО, формировавшиеся в образцах, с высокой точностью были одномерными, т. е. объемная концентрация РЦО изменялась только вдоль одной пространственной координаты. Экспозиционные дозы гамма-излучения, использовавшиеся в работе, составляли 10^5 и 2×10^5 Р.

Для измерений спектров поглощения РЦО в стекле использовался спектрофотометр СФ-2000. Образцы для измерений спектров представляли собой плоскопараллельные пластинки толщиной 1–30 мм.

РЦО в гамма-облученных образцах стекла подвергались воздействию оптического излучения, которое падало на образцы в том же направлении, что и гамма-излучение. В качестве активирующего использовалось спектрально-селективное излучение ртутной лампы ДРТ-240 с длиной волны 546 нм. Данная линия выделялась из общего спектра излучения лампы с помощью комбинации светофильтров ЖС-18 и ПС-7 из набора образцов оптического цветного стекла.

В каждой серии экспериментов оптическое излучение направлялось только на часть входной поверхности образца, выбранную так, чтобы плотность мощности излучения на ней была постоянна. Излучение при этом специально ослаблялось, для того чтобы исключить влияние нагрева излучением стекла на распад РЦО. Вследствие этого длительности облучения образцов светом были относительно велики, достигая 25 ч.

Для измерения светопропускания облученных гамма- и оптическим излучением образцов и последующего определения пространственных распределений поглощения РЦО использовалась созданная ранее установка [5]. Измерения производились на $\lambda = 655$ нм, значение абсолютной погрешности определения коэффициентов пропускания не превосходило 1,2% [5].

Результаты эксперимента и обсуждение

По результатам измерений светопропускания для различных длительностей воздействия света определялись соответствующие этим длительностям распределения показателя поглощения (ПП) РЦО по глубине исследуемых образцов. Пример серии таких распределений для образца стекла ТФ5, облученного гамма-излучением с дозой 2×10^5 Р, представлен на рис. 1.

Видно (кривая 1), что интенсивность окраски, созданная гамма-излучением, спадает вместе с увеличением расстояния z от входной поверхности. Поскольку значение ПП РЦО в каждой точке образца однозначно определяется дозой гамма-излучения в этой точке, то ясно, что данный спад обусловлен уменьшением дозы. В нашем случае уменьшение дозы по глубине образца происходило главным образом в результате ослабления гамма-излучения материалом стекла, а также из-за уменьшения интенсивности гамма-излучения при увеличении расстояния от источников.

На вид обсуждаемой кривой влияет также степень отклонения дозовой зависимости ПП стекла от линейной. Однако для стекла ТФ5 при дозе 2×10^5 Р такое отклонение, как показано в [5], невелико, поэто-

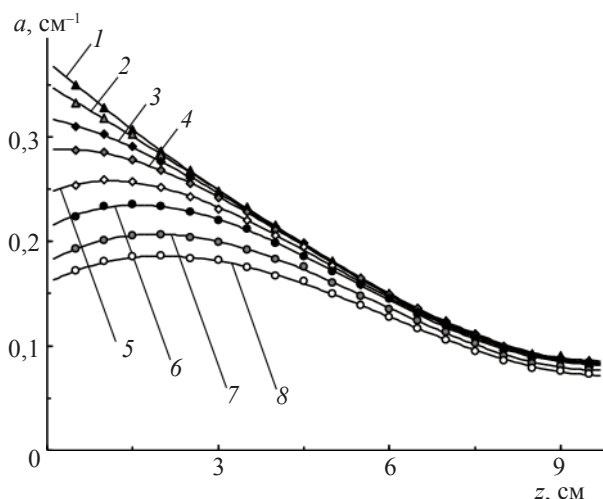


Рис. 1. Распределения показателя поглощения a РЦО ($\lambda = 655$ нм) по глубине z образца стекла ТФ5, подвергнутого воздействию гамма-излучения (1) и последующему воздействию оптического ($\lambda = 546$ нм) излучения (2–8). Доза гамма-излучения 2×10^5 Р, длительность воздействия оптического излучения $t = 0,5$ (2), 1,6 (3), 3,5 (4), 6,3 (5), 11,3 (6), 17,8 (7) и 24,3 ч (8).

му распределение ПП РЦО по глубине образца до воздействия на него света и пространственное распределение дозы по своей форме близки.

Далее, в процессе воздействия света происходят распад РЦО и соответствующее уменьшение их поглощения. Как видно из рис. 1, распределения поглощения РЦО по образцу при этом изменяют свою форму, приобретая характерный вид кривых с максимумами. Видно также, что положения максимумов распределений с увеличением экспозиции смещаются в глубь образца.

Понятно, что общей причиной изменения вида распределений поглощения и образования на них максимумов является различие скоростей распада РЦО на различных расстояниях от входной поверхности образца. Такое различие обуславливается падением интенсивности активирующего излучения, происходящим по мере распространения его в стекле, из-за поглощения, вносимого центрами окраски. Поясним здесь, что в стекле ТФ5 поглощение РЦО на длине волны активирующего излучения (546 нм) существенно больше, чем поглощение РЦО на длине волны измерения светопропускания исследуемых образцов кубической формы (655 нм). Как показали исследования спектров светопропускания гамма-окрашенных стекол ТФ5, соответствующие ПП при изменении дозы гамма-излучения изменяются пропорционально друг другу с коэффициентом пропорциональности $k = 2,35$. В результате ослабление активирующего излучения в образце

достигает значительных величин. Так, в случае, которому соответствует кривая 1 на рис. 1, интенсивность света с $\lambda = 546$ нм после прохождения через образец падает на два порядка.

Из сказанного следует, что фотостимулированная эволюция распределений ПП РЦО представляет собой сложный процесс, при котором имеет место не только воздействие активирующего излучения на РЦО, но и воздействие самих РЦО на это излучение.

Поскольку формирование поглощения РЦО в какой-либо точке образца z физически обусловлено поступлением в эту точку гамма- и оптического излучения, действие которых определяется экспозиционной дозой D и энергетической экспозицией E соответственно, то для зависимости ПП РЦО a от координаты z можно записать $a(z) = a(D, E)$, имея при этом в виду, что величины D и E сами являются функциями z .

Для дальнейшего анализа распределений ПП РЦО введем в рассмотрение нормированный ПП РЦО $a_n(E)$, который определим как отношение значения ПП РЦО $a(D, E)$, полученного после воздействия света с энергетической экспозицией E , к начальному значению ПП РЦО $a(D, 0)$. Тогда зависимость $a(z)$ можно представить в виде $a(D, 0)a_n(E)$.

Строго говоря, в общем случае нормированный ПП $a(D, 0)a_n(E)$ может зависеть не только от экспозиции, но и от начального по отношению к процессу воздействия света значения ПП РЦО $a(D, 0)$, а значит, и от дозы. Однако, как будет показано ниже, в наших экспериментах такая зависимость не проявляется. Поэтому, чтобы не загромождать изложение излишними выкладками, ограничимся только этим случаем.

После введения $a_n(E)$ и несложных преобразований производная от зависимости ПП РЦО по координате z принимает вид

$$\frac{da(z)}{dz} = a(D, 0)a_n(E) \left[\frac{d \ln a(D, 0)}{dz} + \frac{d \ln a_n(E)}{dz} \right]. \quad (1)$$

Видно, что первое слагаемое в скобках правой части (1) описывает поведение пространственных распределений ПП РЦО, образованных гамма-излучением, и никак не связано с процессом дальнейшего фотораспада РЦО. Соответственно, величина этого слагаемого в течение фотораспада не изменяется. Если поток гамма-излучения сформирован лучами, близкими к параллельным, а нелинейность дозовой зависимости ПП РЦО для используемых доз невелика, то первое слагаемое перестает зависеть и от z . Нетрудно получить, что в этом случае оно равно $-\gamma$, где γ – показатель ослабления гамма-излучения материалом стекла.

В противоположность сказанному о первом слагаемом, второе слагаемое в (1) описывает только те изменения распределений ПП РЦО, что происходят под действием света, а в отсутствие воздействия света оно равно нулю. Тем самым влияние воздействия гамма- и оптического излучения на распределение ПП РЦО учитывается в различных слагаемых, входящих в (1), что упрощает дальнейший анализ.

Логарифм является монотонной функцией, поэтому характер поведения первого слагаемого в скобках правой части (1) качественно понятен из вида кривой рис. 1, соответствующей распределению ПП, которое наблюдается до воздействия света. Ясно, в частности, что первое слагаемое отрицательно при всех z .

Семейство экспериментальных распределений величины по координате z приведено на рис. 2. Данные распределения соответствуют тем же длительностям воздействия света, что и приведенные на рис. 1. Для лучшего восприятия диапазон значений координаты z на рис. 2 ограничен той наиболее интересной для целей настоящего обсуждения областью, где формируются максимумы распределений ПП РЦО рис. 1.

Из рис. 2 видно, что поведение пространственных распределений $\ln a_n$, а значит, и a_n существенно проще, чем поведение распределений ПП РЦО, приведенных на рис. 1. Действительно, в отличие от

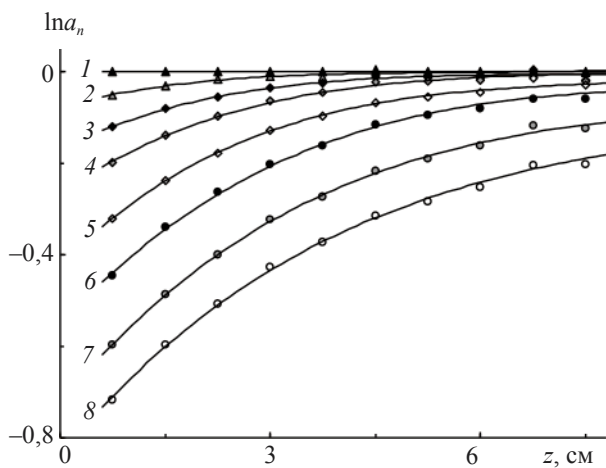


Рис. 2. Зависимости логарифма нормированного показателя поглощения РЦО от расстояния z до входной поверхности образца стекла ТФ5, подвергнутого воздействию гамма-излучения (1) и последующему действию оптического ($\lambda = 546$ нм) излучения (2–8). Доза гамма-излучения 2×10^5 Р, длительность воздействия оптического излучения $t = 0,5$ (2), 1,6 (3), 3,5 (4), 6,3 (5), 11,3 (6), 17,8 (7) и 24,3 ч (8).

распределений ПП, распределения a_n монотонно изменяются как при изменении координаты, так и при изменении длительности облучения светом. Более того, производная зависимости $a_n(z)$ по координате также ведет себя монотонно по отношению к этим обоим переменным. Такие свойства нормированного ПП упрощают анализ экспериментальных данных, относящихся как к нему самому, так и к другим связанным с ним характеристикам процесса фотораспада. Понятно также, что указанные свойства определяются не особенностями данных, полученных в конкретном эксперименте, а отражают общие закономерности фотостимулированного распада РЦО.

Уточним теперь, что, как следует из данных рис. 2, с увеличением времени воздействия света скорость роста функции $\ln a_n(z)$ по z , т. е. ее производная по z , монотонно возрастает во всей облучаемой светом области. В то же время при каждой фиксированной длительности воздействия скорость роста этой функции по z , т. е. ее производная по z , монотонно убывает с ростом z . Соответственно, максимальное значение производная принимает при $z = 0$.

Рост обсуждаемой производной в точке $z = 0$ при увеличении времени воздействия света приводит к тому, что при некоторой экспозиции она достигает значения, равного производной $\frac{d \ln a(D, 0)}{dz}$ в той же точке $z = 0$. Вследствие этого правая часть (1), а значит, и производная $\frac{da(z)}{dz}$ становятся равными нулю.

Таким образом, при некотором времени воздействия света на пространственном распределении ПП РЦО в точке $z = 0$ возникает максимум.

Как видно из рис. 2, в дальнейшем, при увеличении длительности облучения светом, точка, в которой правая часть (1) обращается в ноль, смещается в глубь образца, что приводит и к соответствующему смещению максимума на распределении ПП РЦО.

Таким образом, образование максимумов на распределениях ПП РЦО и общий характер эволюции этих распределений в процессе воздействия на РЦО света качественно объясняются поведением нормированного ПП РЦО. В свою очередь понятно, что это поведение в значительной степени определяется зависимостью нормированного ПП от энергетической экспозиции активирующего оптического излучения.

К настоящему времени решение задачи о теоретическом описании экспозиционных зависимостей поглощения РЦО, формирующихся в процессе их фотостимулированного распада, в литературе отсутствует, а приводятся только сведения об аппроксимации эмпирических зависимостей различными

функциями (см., например, [3, 4, 6]). Из используемых в литературе функций, на наш взгляд, наиболее адекватно и для наибольшего числа стекол экспериментальные данные описывает функция Беккереля, которая для нормированных зависимостей $a_n(E)$ имеет вид $B(E) = (1 + E/E_0)^{-\beta}$ с показателем степени β , лежащим в пределах от 0 до 1 [6]. Как будет показано далее, функция Беккереля удовлетворительно описывает данные, полученные и в настоящей работе.

Использование функции Беккереля позволяет в общем виде получить оценку экспозиции, при которой на распределении РЦО возникает максимум. Опуская детали относительно простых, но громоздких вычислений, приведем конечный результат, заключающийся в том, что максимум возникает по достижении экспозицией значения E_m , при котором выполняется соотношение

$$\gamma = \beta \frac{(1 + E_m/E_0)^{1-\beta} - 1}{(1-\beta)(1 + E_m/E_0)} ka(D, 0). \quad (2)$$

Отметим, что правая часть (2), как функция E_m , также имеет свой максимум. Нетрудно показать, что этот максимум достигается при выполнении условия $E_m/E_0 = \beta^{1/(\beta-1)}$, а максимум правой части при этом составляет $\beta^{1/(\beta-1)} ka(D, 0)$. Отсюда следует вывод, что формирование максимумов распределений ПП РЦО в стеклах при оговоренных выше условиях возможно только в тех случаях, когда выполняется соотношение $ka(D, 0) \geq \gamma \beta^{1/(\beta-1)}$.

Для определения экспозиционных зависимостей ПП РЦО по данным, приведенным на рис. 1, было необходимо определить значения энергетических экспозиций, соответствующие этим данным. Определение экспозиций основывалось на следующих соображениях.

Если на образец стекла падает параллельный пучок света с постоянной во времени плотностью мощности P_0 на входной поверхности, то на расстоянии z от этой поверхности и в момент времени t после начала воздействия его плотность мощности будет равна $P_0 T(t, z)$, где $T(t, z)$ – светопропускание слоя стекла толщиной z в этот же момент времени. Связь $T(t, z)$ с распределением ПП РЦО $a_A(t, z)$ на длине волны активирующего излучения определяется выражением

$$T(t, z) = \exp \left[- \int_0^z a_A(t, z') dz' \right]. \quad (3)$$

Как упоминалось выше, $a_A(t, z) = ka(t, z)$, где $k = 2,35$. Учитывая это, а также то, что энергетическая экспозиция $E(t, z)$ представляет собой интеграл

от плотности мощности излучения по времени, для $E(t, z)$ в результате получаем

$$E(t, z) = P_0 \int_0^t \exp \left[-k \int_0^z a(t', z') dz' \right] dt'. \quad (4)$$

Из (4) ясно, что для определения $E(t, z)$ в относительных единицах достаточно знать пространственно-временное поведение ПП РЦО при $z' \leq z$ и $t' \leq t$. При определении $E(t, z)$ нами использовались данные рис. 1 и соотношение (4). Для выполнения численных расчетов в соответствии с (4) предварительно выполнялась интерполяция данных рис. 1. Зависимости ПП РЦО от координаты z не имеют никаких локальных особенностей, а зависимости ПП от времени, кроме того, еще и монотонны, поэтому интерполяция данных рис. 1 относительно проста и существенных погрешностей вносить не может.

Результаты расчетов пространственных распределений энергетических экспозиций для нескольких длительностей воздействия света представлены на рис. 3. Отметим, что поведение зависимостей рис. 3 имеет существенно неэкспоненциальный характер, что обусловлено сложным и изменяющимся во времени распределением поглощения по глубине образца.

На рис. 1 отражено соответствие между пространственно-временными точками (z, t) и значениями ПП РЦО для них. Значения энергетических экспозиций, приведенные на рис. 3, относятся к тем

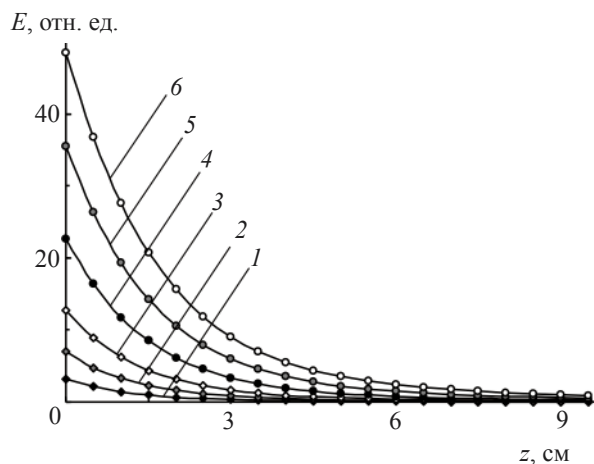


Рис. 3. Распределения энергетических экспозиций по глубине z гамма-облученного образца стекла ТФ5 для различных длительностей воздействия оптического излучения с $\lambda = 546$ нм. Длительность воздействия $t = 1,6$ (1), 3,5 (2), 6,3 (3), 11,3 (4), 17,8 (5) и 24,3 ч (6).

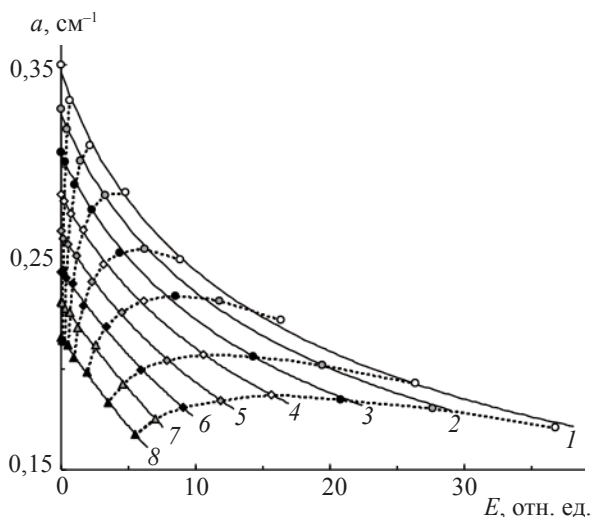


Рис. 4. Зависимости поглощения РЦО от энергетической экспозиции E оптического излучения с $\lambda = 546$ нм. Точки – эксперимент, сплошные линии – результаты аппроксимации с использованием функции Беккереля, пунктирные линии соединяют точки с одинаковой длительностью облучения светом (изохроны). Расстояние от входной поверхности образца $z = 0,5$ (1), 1 (2), 1,5 (3), 2 (4), 2,5 (5), 3 (6), 3,5 (7) и 4 см (8).

же точкам (z, t). Поэтому совместное использование данных рис. 1 и рис. 3 позволяет установить соответствие между энергетическими экспозициями и ПП РЦО для них, т. е. получить экспозиционные зависимости ПП. Часть полученных таким образом результатов приведена на рис. 4.

Поскольку значения ПП РЦО и экспозиций на рис. 4 соответствуют набору различных значений пар (z, t), то на рис. 4 возможно выделить два семейства экспозиционных зависимостей ПП. К первому из них принадлежат зависимости, каждая из которых получена при $z = \text{const}$, т. е. для одной фиксированной точки образца, ко второму – зависимости, полученные при $t = \text{const}$, т. е. для постоянных длительностей облучения светом (изохроны). На рис. 4 зависимости первого семейства изображены сплошными линиями, а второго – пунктирными.

Ясно, что первое семейство образовано теми экспозиционными зависимостями, о которых шла речь ранее, поэтому далее будут обсуждаться именно они. Существенно, что их поведение определяется только характером взаимодействия света с РЦО и не зависит от геометрии используемого образца и опыта в целом.

В то же время вид изохран связан с условиями проведения эксперимента и отражает поведение ПП во всем исследуемом образце. Так, в нашем случае

возникновение максимумов на изохронах обусловлено образованием максимумов на пространственных распределениях ПП РЦО (рис. 1). Соответственно, изучение изохран может быть полезно в тех случаях, когда в первую очередь интересует не взаимодействие света с оптическим материалом самим по себе, а результаты воздействия света на конкретное изделие.

Зависимости рис. 4 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, полученных в работе, составляет $6,6 \times 10^4 - 1,8 \times 10^5$ Р.

Из рис. 4 видно, что использованный подход позволяет получать достаточно детальные результаты. Поясним при этом, что количество точек на каждой из зависимостей рис. 4 соответствует количеству измеренных распределений поглощения (рис. 1), а шаг по расстоянию и, соответственно, по дозе – пространственному разрешению, использованному при измерениях распределений рис. 1.

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 4, аппроксимировались нами с использованием функции Беккереля, соответствующие параметры определялись с помощью метода наименьших квадратов (см., например, [7]). Результаты выполненных таким образом аппроксимаций показаны на рис. 4 сплошными линиями. Видно, что достигнутая точность вполне удовлетворительна.

Анализ полученных результатов показал, что параметры E_0 и β -функций Беккереля для экспозиционных зависимостей, соответствующих различным значениям z , близки друг к другу, т. е. близки нормированные на единицу при $E = 0$ экспозиционные зависимости. Для иллюстрации сказанного на рис. 5 приведена сведенная воедино совокупность нормированных значений ПП и экспозиций, относящихся к различным точкам образца, и график аппроксимирующей их функции Беккереля. Нормировка, как и ранее, осуществлялась путем деления всех значений ПП, относящихся к одному z , на начальное (при $E = 0$), значение ПП для этого z . Полученные значения параметров функции Беккереля E_0 и β составили 8,16 и 0,41 соответственно, среднеквадратическое отклонение экспериментальных данных от расчетной кривой – $1,1 \times 10^{-2}$.

Видно, что вся совокупность данных вполне удовлетворительно описывается единой зависимостью, представляющей собой функцию Беккереля. Это означает, что закономерности фотостимулированного распада РЦО от дозы гамма-облучения,

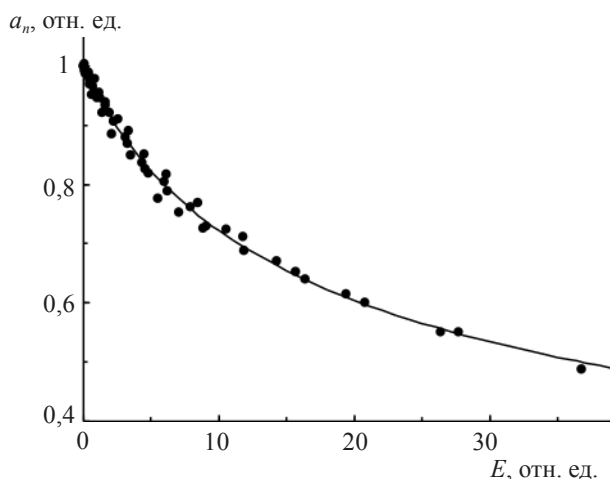


Рис. 5. Зависимость нормированного показателя поглощения РЦО в стекле ТФ5 от энергетической экспозиции E оптического излучения с $\lambda = 546$ нм. Точки – эксперимент, сплошная линия – результат аппроксимации функцией Беккереля.

использованной при их создании, в исследованном диапазоне доз не зависят. Данное обстоятельство должно существенно упрощать выполнение расчетов по определению поведения элементов оптических систем, изготовленных из стекла ТФ5 и используемых в условиях совместного действия ионизирующего и оптического излучений.

Отметим также, что полученные данные являются экспериментальным подтверждением использованного выше предположения о независимости в нашем случае параметров функции $a_n(E)$ от начальных для процесса воздействия света значений ПП РЦО.

После определения параметров экспозиционных зависимостей появилась дополнительная возможность сравнения результатов теоретического анализа и экспериментальных данных. В частности, нами в соответствии с (2) были выполнены расчеты значений экспозиций E_m , при которых на распределениях ПП возникают максимумы, а затем и соответствующих им значений ПП на поверхности образца. Определенные таким образом значения сравнивались с результатами, полученными непосредственно из данных рис. 1 и других, им подобных. Во всех случаях достигнуто удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных результатов.

Заключение

Исследовано последовательное воздействие направленных потоков гамма- и оптического излучения на образцы стекол, протяженные в направлении распространения излучения, и изучены закономер-

ности фотостимулированной эволюции пространственных распределений поглощения радиационных центров окраски по объему образцов. На основе полученных результатов разработана экспериментальная методика определения зависимостей поглощения РЦО от энергетической экспозиции воздействующего на них света. Методика позволяет получать набор экспозиционных зависимостей, соответствующих различным дозам гамма-излучения и начальным концентрациям РЦО, используя при этом один образец, однократное облучение его гамма-излучением и производя одну серию измерений при воздействии света. По сравнению с традиционно используемыми вновь разработанная методика дает возможность существенно сократить количество облучений образцов и повысить точность и детальность получаемых результатов.

Для стекла ТФ5 получены экспозиционные зависимости ПП РЦО, формирующиеся при фотостимулированном распаде РЦО, для диапазона доз гамма-излучения $6,6 \times 10^4 - 1,8 \times 10^5$ Р. Показано, что для указанного диапазона доз гамма-излучения экспозиционные зависимости удовлетворительно аппроксимируются функцией Беккереля, при этом параметры нормированных зависимостей остаются постоянными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бедрин А.Г., Докучаев В.Г. Фотостимулированное восстановление светопропускания крупногабаритных окон “горячих” камер // Сб. тр. V Междунар. конф. “Прикладная оптика”. СПб, 2002. Т. 2. С. 14.
2. Бреховских С.М., Тюльнин В.А. Радиационные центры в неорганических стеклах. М.: Энергоатомиздат, 1988. 187 с.
3. Боргман В.А. Кинетика фотостимулированной рекомбинации дырочных центров окраски в силикатных стеклах // Физ. и хим. стекла. 2006. Т. 32. № 3. С. 386–394.
4. Wang R.P., Saito K., Ikushima A.J. Photo-bleaching of self-trapped holes in SiO₂ glass // J. Non-Cryst. Solids. 2005. V. 351. Issues 19–20. P. 1569–1572.
5. 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.
6. Бедрин А.Г., Докучаев В.Г., Лаврентюк С.В. Кинетика фотостимулированного распада радиационных центров окраски в оптических стеклах // Сб. Тр. VI Междунар. конф. “Прикладная оптика”. СПб., 2004. Т. 2. С. 27–31.
7. Hudson D.J. Statistics. Geneva. 1964. Перевод: Хадсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1967. 242 с.