

05;07

## Влияние $\gamma$ -излучения на оптические свойства натриево-силикатных стекол

© Е.А. Ванина, М.А. Чибисова, А.Н. Чибисов

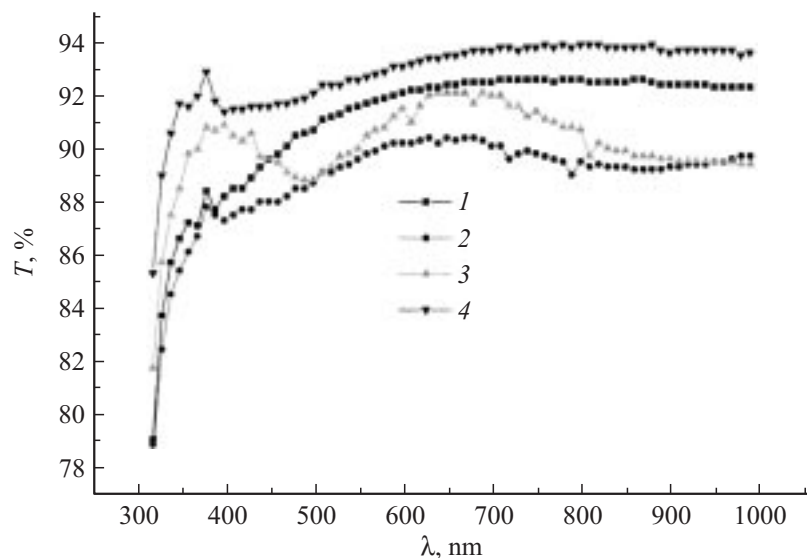
Амурский государственный университет, Благовещенск  
Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск  
E-mail: evanina@yandex.ru

Поступило в Редакцию 16 февраля 2007 г.

Исследовано влияние  $\gamma$ -облучения на оптические постоянные натриево-кальциевых силикатных стекол. Показано, что в интервале доз  $3.7 \div 3.7 \cdot 10^2$  Gy наблюдается рост коэффициента преломления  $n$ , ширина оптической запрещенной зоны  $E_g$  уменьшается от 3.13 до 3.05 eV.

PACS: 78.20.Ci

**Введение.** Большое количество приборов и элементов, применяемых в космических аппаратах (иллюминаторы, призмы, линзы), изготовлено из оптических или кварцевых стекол. Радиационные дефекты, генерируемые в стеклах под действием ионизирующего излучения, оказывают существенное влияние на оптические свойства [1]. Натриево-кальциевые силикатные стекла широко используют в оптике [2], в промышленности [3]. Легирующие добавки [4], воздействие высокоэнергетических излучений [3] применяются для эффективного изменения оптических свойств стекол. В работе [5] были изучены оптические константы стекол в области  $0.29 \div 4000 \text{ cm}^{-1}$  при 293 K, используя микроволновый метод. В работе [6] приведены значения оптической ширины запрещенной зоны натриево-кальциевых силикатных стекол, показано, что она составляет порядка 3.5 eV. Однако отсутствует информация о влиянии  $\gamma$ -облучения на ширину оптической зоны и на значения оптических постоянных (постоянной поглощения  $k$ , показателя преломления  $n$ , действительной  $\epsilon_1$  и мнимой  $\epsilon_2$  диэлектрических постоянных) натриево-кальциевых силикатных стекол. В связи с этим целью настоящей работы является исследование воздействия потока  $\gamma$ -квантов на оптические свойства натриево-кальциевых силикатных стекол.



**Рис. 1.** Спектр пропускания натриево-кальциевого силикатного стекла: 1 — до облучения; после облучения дозами: 2 — 3.7 Gy, 3 —  $3.7 \cdot 10^1$  Gy, 4 —  $3.7 \cdot 10^2$  Gy.

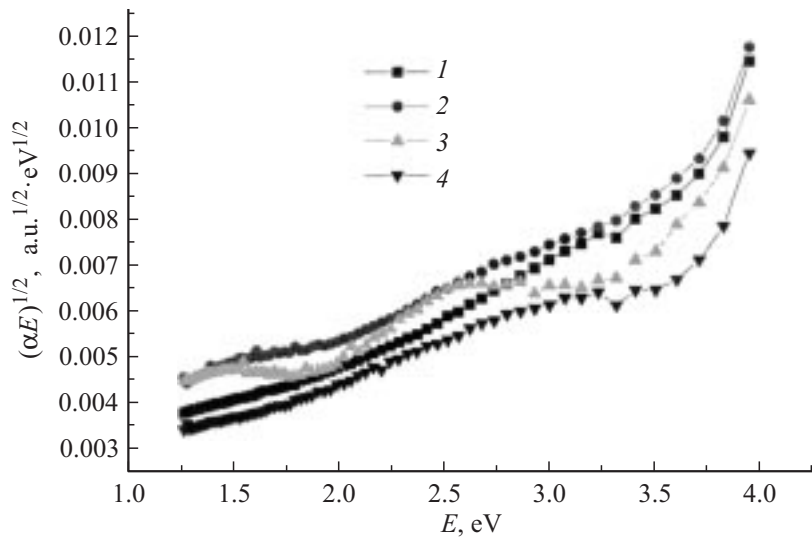
**Эксперимент.** В работе исследовано многокомпонентное натриево-кальциевое силикатное стекло следующего состава (в wt.%):  $\text{SiO}_2 \approx 73.80$ ;  $\text{TiO}_2 \approx 0.180$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 1.90$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \approx 0.88$ ;  $\text{CaO} \approx 4.87$ ;  $\text{MgO} \approx 3.93$ ;  $\text{Na}_2\text{O} \approx 12.65$ ;  $\text{K}_2\text{O} \approx 0.72$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 \approx 0.028$  и 0.06 примеси (Pb, Ni, Sb).

Облучение проводилось источником  $^{60}\text{Co}$  при комнатной температуре. Энергия  $\gamma$ -квантов 1.25 MeV, интервал доз  $3.7 \div 3.7 \cdot 10^2$  Gy.

Спектры пропускания образцов регистрировались с помощью двухлучевого фотометра в области спектра 315  $\div$  990 nm ( $3.9 \div 1.25$  eV).

**Результаты и обсуждение.** Экспериментальные зависимости пропускания необлученного и облученного  $\gamma$ -квантами стекла от длины волны  $T = T(\lambda)$  представлены на рис. 1.

До облучения (рис. 1) в области 375 nm ( $\approx 3.3$  eV) наблюдается „скачок“, соответствующий собственному фундаментальному поглоще-



**Рис. 2.** Зависимость  $(\alpha E)^{1/2} = f(E)$  для натриево-кальциевого силикатного стекла: 1 — до облучения; после облучения дозами: 2 — 3.7 Gy, 3 —  $3.7 \cdot 10^1$  Gy, 4 —  $3.7 \cdot 10^2$  Gy.

нию натриево-кальциевого силикатного стекла, что хорошо согласуется с работой [6]. Зависимость коэффициента поглощения  $\alpha = \alpha(\lambda)$  определяется выражением

$$\alpha(\lambda) = -\frac{\lg(T(\lambda))}{d}, \quad (1)$$

где  $d$  — толщина образца.

Согласно [7,8], значение ширины запрещенной зоны  $E_g$  находится из экстраполяции „линейной“ части зависимости  $(\alpha E)^{1/2} = f(E)$ . На рис. 2 представлены зависимости  $(\alpha E)^{1/2} = f(E)$  для исследованного натриево-кальциевого силикатного стекла. В таблице приведены полученные из графиков значения  $E_g^{\text{exp}}$ . Для необлученного стекла ширина зоны  $E_g^{\text{exp}}$  составляет порядка  $\approx 3.13$  eV, что хорошо согласуется с работой [6].

Значения постоянных  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $E_g$  для каждой дозы облучения

Доза облучения, Gy	$A$	$B$ , eV	$C$ , eV <sup>2</sup>	$E_g$ , eV	$E_g^{\text{exp}}$ , eV
0	$1.06 \cdot 10^{-4}$	6.744	11.371	3.21	3.13
3.7	$1.591 \cdot 10^{-4}$	6.727	11.314	3.15	3.05
$3.7 \cdot 10^1$	$1.565 \cdot 10^{-4}$	6.727	11.314	3.12	3.09
$3.7 \cdot 10^2$	$8.602 \cdot 10^{-5}$	6.727	11.314	3.20	3.23

Коэффициент поглощения  $\alpha$  будет иметь размерность а. у., а энергия  $E$  — eV, тогда показатель поглощения  $k(E)$  равен

$$k(E) = \frac{\alpha(E)c}{2E}. \quad (2)$$

Согласно методу Форухи–Блумера (Forouhi–Bloomer) [7,8], выражением (3) проводилась регрессия экспериментальных зависимостей  $k(E)$ , для чего необходимо методом наименьших квадратов решить систему уравнений

$$k_i = \frac{A(E_i - E_g)^2}{(E_i)^2 - BE_i + C}, \quad (3)$$

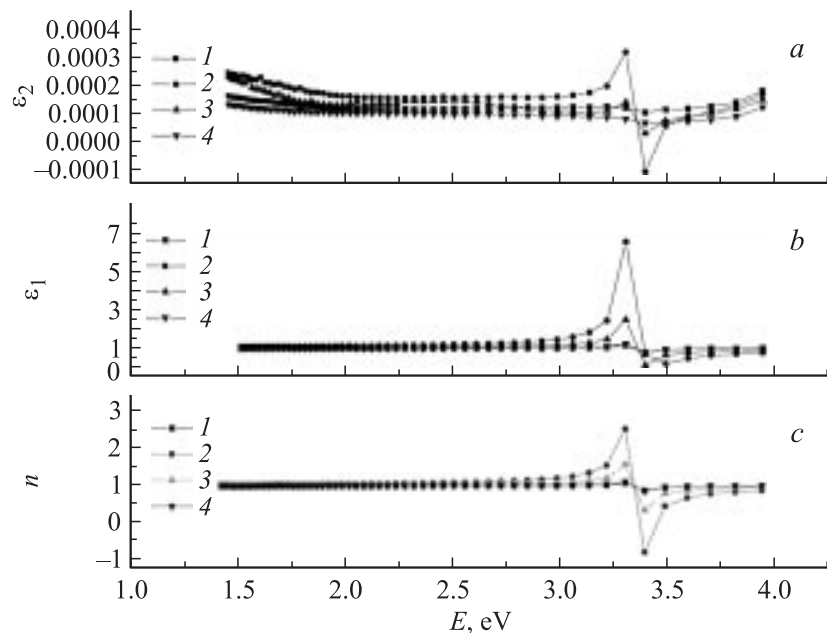
что позволяет определить коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $E_g$  (характеризует оптическую ширину запрещенной зоны) [7,8].

В таблице представлены значения коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и ширины оптической запрещенной зоны  $E_g$  в сравнении ее с экспериментальным значением  $E_g^{\text{exp}}$ , полученным из экстраполяции  $(\alpha E)^{1/2}$ . Установлено, что  $E_g$  и  $E_g^{\text{exp}}$  хорошо согласуются.

Затем выражением (4) определяется действительная часть показателя преломления  $n(E)$  [9]:

$$n(E) = 1 + \frac{B_0 E + C_0}{E^2 - BE + C}. \quad (4)$$

На рис. 3, с представлено изменение показателей преломления стекла с увеличением дозы облучения. Видно, что в интервале доз  $3.7 \div 3.7 \cdot 10^2$  Gy наблюдается оптическое уплотнение стекла, а затем при дозе  $3.7 \cdot 10^2$  Gy уменьшение показателя преломления  $n(E)$ , что



**Рис. 3.** Оптические постоянные (*a* — мнимая  $\varepsilon_2(E)$  и *b* — действительная  $\varepsilon_1(E)$  части комплексной диэлектрической проницаемости; *c* — действительная часть показателя преломления  $n(E)$ ) натриево-кальциевого силикатного стекла: *1* — до облучения; после облучения дозами: *2* — 3.7 Gy, *3* —  $3.7 \cdot 10^1$  Gy, *4* —  $3.7 \cdot 10^2$  Gy.

объясняется эффектом радиационного просветления [10] в кварцевых стеклах, установленным в работе Бреховских С.М. [4]. В области фундаментального собственного поглощения стекол наблюдается резонанс.

Формулами (5) определяются действительная  $\varepsilon_1(E)$  и мнимая  $\varepsilon_2(E)$  части комплексной диэлектрической проницаемости, которые представлены на рис. 3, *a*, *b*:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1(E) &= n(E)^2 - k(E)^2, \\ \varepsilon_2(E) &= 2n(E)k(E).\end{aligned}\quad (5)$$

### Выводы

1. При  $\gamma$ -облучении в интервале доз  $3.7 \div 3.7 \cdot 10^2$  Gy установлен рост коэффициента преломления  $n(E)$ , что объясняется эффектом оптического уплотнения стекла.

2. В результате расчета дисперсионных кривых натриево-кальциевых силикатных стекол по методу Форуухи–Блумера (Forouhi–Bloomer) установлено, что с увеличением дозы  $\gamma$ -облучения в интервале  $3.7 \div 3.7 \cdot 10^2$  Gy ширина запрещенной зоны  $E_g$  уменьшается от 3.21 до 3.12 eV (экспериментальные данные показывают уменьшение  $E_g^{\text{exp}}$  от 3.13 до 3.05 eV).

3. Ширина запрещенной зоны стекла, облученного дозой  $3.7 \cdot 10^2$  Gy, равна  $E_g = 3.20$  eV ( $E_g^{\text{exp}} = 3.23$  eV), что объясняется эффектом радиационного просветления.

### Список литературы

- [1] Акишин А.И., Цепляев Л.И. // Физика и химия обработки материалов. 2006. № 2. С. 25–30.
- [2] Kowal T.M., Krajczyk L., Macalik B., Nierzewski K., Okuno E., Suszynska M., Szmida M., Yoshimura E.M. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2000. V. 166–167. P. 490–494.
- [3] Jiawei Sheng, Kohei Kadono, Yasushi Utagawa, Tetsuo Yazawa. // Applied Radiation and Isotopes. 2002. V. 56. P. 621–626.
- [4] Бреховских С.М., Тюльнин В.А. Радиационные центры в неорганических стеклах. М.: Энергоатомиздат, 1988. С. 200.
- [5] Birch J.R., Cook R.J., Harding A.F., Jones R.G., Price G.D. // Journal Physics. D: Appl. Phys. 1975. V. 8. P. 1353–1358.
- [6] Stepanov A.L. // Rev. Adv. Mater. Sci. 2003. V. 4. P. 123–138.
- [7] Forouhi A.R., Bloomer I. // Physical review B. 1986. V. 34. N 10. P. 7018–7026.
- [8] Forouhi A.R., Bloomer I. // Physical review B. 1988. V. 38. N 10. P. 1865–1874.
- [9] Paredes O., Cyrdoba Benavides J. // Superficies y Vacho. 1999. V. 9. P. 89–91.
- [10] Ванина Е.А., Чибисова М.А., Соколова С.М. // Стекло и керамика. 2006. № 11. С. 9–10.