

ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НА ЗМІНУ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СТЕКОЛ

І.І.Шпак, І.В.Соколюк, Д.Г.Семак

Ужгородський державний університет, 294000, Ужгород, Волошина, 54

Обговорюється вплив радіаційно-ініційованих змін оптичних властивостей халькогенідних стекол типу $S(Se), As_2S_3(Se_3), GeS_2(Se_2, Te_2)$. Проведена оцінка дозових коефіцієнтів показника заломлення та лінійного розширення з врахуванням як діелектричних, так і механічних характеристичних даних матеріалів. Вклад наведеного поглинання, зумовленого утворенням радіаційних дефектів, враховується на основі співвідношення Крамерса-Кронінга, а зміна краю власного поглинання - в лінійному наближенні теорії деформаційного потенціалу.

При використанні халькогенідних стекол в якості активних чи пасивних елементів оптичних систем під впливом іонізуючих випромінювань (ІВ) діелектричні характеристики цих стекол можуть в значній мірі модифікуватись під дією ІВ внаслідок утворення радіаційних дефектів. Падаюча первинна частинка викликає каскад вторинно іонізованих електронів, а також розрив хімічних зв'язків і зміну валентних станів атомів у склі. Відновлення вихідної ("бездефектної") структури скла проходить дуже повільно у зв'язку з особливостями процесів релаксації в конденсованих системах із сильною взаємодією, до яких належать халькогенідні склоподібні напівпровідники (ХСН). Енергетичні рівні електронів і дірок на дефектах значно відрізняються від енергетичних рівнів основної матриці скла, що приводить до появи смуг додаткового поглинання і зміни показника заломлення та його дисперсії. Утворення структурних радіаційно-ініціюючих дефектів супроводжується локальною перебудовою атомної сітки скла, що знаходить своє відображення в мікроскопічних деформаціях опроміненого зразка, в зміні густини матеріалу і, як наслідок, в зміні ширини

забороненої зони. Останнє відповідає зсуву краю власного поглинання і приводить до появи додаткового вкладу в зміну коефіцієнта поглинання та показника заломлення опроміненого скла.

В роботі показано, що масштаб змін діелектричних характеристик оптичних матеріалів визначається поглинутою дозою і особливостями взаємодії ІВ з конкретним зразком. При $D \leq 0.1$ Мрад. ініційовані ІВ зміни показника заломлення Δn і геометричних параметрів ΔU_r можуть бути описані в наближенні дозових коефіцієнтів. Дозові коефіцієнти характеризують відгук матеріалу по відповідному параметру на радіаційний вплив при одиничній поглинутій дозі

$$\Delta n(\omega) = \beta(\omega) D, \quad U_r = \alpha D \quad (1)$$

Метою цієї роботи являється розрахунок масштабу змін діелектричних (коефіцієнта поглинання та показника заломлення) і геометричних (коефіцієнта лінійного розширення α) характеристик ХСН в результаті виникнення радіаційних дефектів.

Розглянемо клас ефектів, ініційованих радіаційними дефектами, які зв'язані із зміною механічних властивостей скла. По-перше, дефекти є джерелом розширення (стиску) зразка; по-друге,

вони представляють собою неоднорідні включення в атомній сітці скла, які призводять до зміни параметрів міжатомної взаємодії і, відповідно, макроскопічних пружних характеристик даного матеріалу.

Розширення (стиск) зразка оптичного скла в результаті радіаційно наведених дефектів можна оцінити на основі континуального наближення теорії пружності. При такому підході окремих дефект може розглядатися як сферично симетричний центр дилатації "потужністю" Ω , яка визначає, наскільки об'єм дефекта відрізняється від об'єму початкової недеформованої області. Розв'язання такої задачі приводить до наступного виразу [2]:

$$\Delta V_{об} = \frac{3(1-\nu)}{1+\nu} \cdot \Delta V_D, \quad (2)$$

де $\Delta V_D = 4\pi\Omega$ - зміна об'єму області, зумовлена внесенням в неї дефекта; $\Delta V_{об}$ - зміна об'єму зразка; ν - коефіцієнт Пуассона. При рівномірному розподілі дефектів по об'єму зразка вплив дилатації зводиться до зміни густини матеріалу ρ пропорційно концентрації дефектів η . Виходячи з означення, дозовий коефіцієнт лінійного розширення може бути оцінений наступним виразом

$$\alpha = \frac{(1-\nu)}{1+\nu} \rho \eta \Delta V_D. \quad (3)$$

Ефекти дилатації в таких матеріалах як ХСН мають прикладний характер, так як вони дають можливість розрахувати їхній вплив на показник заломлення. Розглядаючи зміни оптичних властивостей стекл будемо виходити з рівняння Лоренц-Лорентца, яке зв'язує показник заломлення n і густину скла ρ ,

$$\frac{n^2-1}{n^2+2} = \rho \cdot R, \quad R = \frac{4\pi}{3} N_A \cdot \alpha \cdot \mu^{-1}. \quad (4)$$

Тут R - рефракція склоподібного матеріалу, N_A - число Авогадро, α - середня поляризуємість, μ - молярна маса. Згідно з (4) загальна зміна показника заломлення

Δn може бути представлена наступним чином

$$\Delta n \approx \sum_i N_i \alpha_i + \rho(\Delta R) + (\Delta \rho) R \equiv \Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3, \quad (5)$$

де N_i і α_i - концентрація і поляризуємість дефектів i -го виду, утворених в результаті дії ІВ. В (5) перший член відображає утворення в забороненій зоні енергетичних рівнів, які зв'язані з радіаційними дефектами, другий описує зсув краю власного поглинання, а третій - зміну числа атомів структурної сітки скла в одиниці об'єму.

Зміна показника заломлення, яка пов'язана з появою додаткових смуг поглинання, описується співвідношенням Крамерса-Кронінга

$$\Delta n(\omega) = \frac{2c}{\pi} \int_0^\infty \frac{\Delta \alpha(\omega')}{\omega'^2 - \omega^2} \cdot d\omega', \quad (6)$$

де $\Delta \alpha$ - зміна коефіцієнта поглинання. Для оцінки величини зміни показника заломлення будемо вважати, що лінія поглинання вузька, і, відповідно, одержимо

$$\Delta n \approx \frac{2c}{\pi} \cdot \frac{\sigma N}{\omega^2 - \omega_0^2}, \quad (7)$$

де σ - інтегральний переріз поглинання в смугі, ω_0 - положення центру смуги, N - концентрація дефектів. Характерні значення $\sigma \cong 2.1 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$, тоді для довжини хвилі $\lambda = 6300 \text{ \AA}$ і концентрації дефектів $N \cong 10^{18} \text{ см}^{-3}$ одержимо $\Delta n \cong 10^{-4}$.

Неважко отримати оцінку для Δn із-за зміни густини станів при $R = \text{const}$,

$$\Delta n \cong \frac{(n^2+2)(n^2-1)}{\delta n} \cdot \frac{\Delta V}{V}, \quad (8)$$

звідки, нехтуючи зміною рефракції ΔR , одержимо вираз для дозового коефіцієнта показника заломлення

$$\beta = - \frac{(n^2+2)(n^2-1)3(1-\nu)}{\delta n(1+\nu)} \cdot V_D \cdot \rho \cdot \eta. \quad (9)$$

Зміну молекулярної поляризуємості можна врахувати, використовуючи теорію деформаційного потенціалу [3]. В лінійному наближенні

$$\dot{E}_g = E_g + \Delta E_g, \quad \Delta E_g = \theta u, \quad u = \Delta V / 3V, \quad (10)$$

де E_g і \dot{E}_g - ширина зони до і після деформації, θ - постійна деформаційного потенціалу, u - деформація. Враховуючи, що діелектричну постійну ε можна записати у вигляді

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_\infty - \omega_p^2}{(\omega^2 - E_g^2)}, \quad (11)$$

де ω_p - плазмова частота, і $\varepsilon = \frac{2}{n}$, одержимо для Δn

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{E_g \Delta E_g}{\omega^2 - E_g^2} = - \frac{E_g \theta u}{(\omega^2 - E_g^2)}. \quad (12)$$

Результати розрахунків Δn , наведеного внаслідок дії ІВ для типових ХСН, приведені в таблиці. При розрахунках використовувались експериментальні дані, наведені в роботах [3-10].

Таблиця

Формульний тип і ступінь зв'язності склоподібного каркасу	Структурна одиниця	Склоутворювач	μ	V_a, A^3	Дозовий коефіцієнт	
					$\alpha \times 10^{10}, \text{рад}^{-1}$	$\beta \times 10^{10}, \text{рад}^{-1}$
1 [2] X ∞	$XX_{2/2}$	Se, S	0.312÷ ÷0.329	4÷5	2÷5	1÷2
2 [3] [2] $M X$ $\infty \quad 2 \quad 3$	$MX_{3/2}$	As_2S_3 $(Se, Te)_3$	0.305÷ ÷0.297	3÷5	3÷5	4÷7
3 [4] [2] $M X$ $\infty \quad 2$	$MX_{4/2}$	GeS_2 $(Se, Te)_2$	0.297÷ ÷0.286	3÷4	2÷3	2÷4

Таким чином, приведені розрахунки вказують на значну величину наведеного показника заломлення внаслідок радіаційного впливу. Так, згідно критерія Релея, максимально допустимі зміни параметрів оптичних матеріалів під впливом ІВ мають слідуючі значення: зміна геометричних характеристик $\sim 5 \cdot 10^{-6}$, зміна показника заломлення -

$2.5 \cdot 10^{-6}$. Одержані оцінки дозових коефіцієнтів вказують на те, що подібні зміни параметрів ХСН можуть існувати при радіаційних навантаженнях, актуальних для практики експлуатації оптичних матеріалів в умовах впливу ІВ навколоземного космічного простору.

1. E.Radelein et al., Ed.by Pye L.D. e.a. London: Taylor & Francis, 261-285(1992).
2. А.М.Косевич, Физическая механика реальных кристаллов, Наукова думка, Киев, (1981) 467с.
3. А.Фельц, Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела, Мир, Москва, (1986) 558с.
4. Л.Б.Глебов и др., Физ. и хим. стекла, 12,3, 345-351 (1986).
5. И.А.Соколов и др., Физ.и хим. стекла, 12,4, 406-411(1986).
6. K.Arai et al., J.Non-Crystal.Solids, 13,1-2, 131-139 (1973).
7. Y.Ito , S.Kashida, Solid State Commun.,65,6, 449-452 (1988).
8. D.Linke , Dissertation.B. Friedrich-Shiller-Univ.,Jene(1978).
9. Landold - Bornstein. Eigenschaften der Materie in ihren Aggregatzuständen. Springer-Verlag,(1960).
10. P.G.Le Comber, I.Mort , Electronic and Structural Properties of Amorphous Semiconductors. Academic Press,London,(1973).

THE INFLUENCE OF IONISING ILLUMINATION ON THE CHANGE OF THE REFRACTION INDEX OF CHALCOGENIDE GLASSES

I.I.Spak, I.V.Sokoliuk, D.G.Semak

Uzhgorod State University, 294000, Uzhgorod, Voloshina str, 54

The effect of the radiation-initiated changes of optical properties of chalcogenide glasses of S (Se), As_2S_3 (Se_3), GeS_2 (Se_2 , Te_2) type is discussed. The evaluation of dose coefficients of the refraction under [and linear expansion with account of dielectric and mechanical characteristic data of these materials has been carried out/. The contribution of the absorption, conditioned by the creation of radiation defects is taken into account on the basis of the Kramers-Croning relation and the change of the intrinsic absorption in a linear approximation of a deformation potential theory.