

# ВПЛИВ $\gamma$ -ОПРОМІНЮВАННЯ НА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНУ МЕХАНІЧНУ РЕЛАКСАЦІЮ У СКЛІ $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$

В.С. Біланич<sup>1</sup>, В.Б. Онищак<sup>1</sup>, О.О. Парлаг<sup>2</sup>  
В.М. Різак<sup>1</sup>, І.М. Різак<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ужгородський національний університет 88000, Ужгород, вул. А.Волошина, 52

<sup>2</sup>Інститут електронної фізики НАН України, вул. Університетська, 21

<sup>3</sup>Дніпропетровський національний університет, Дніпропетровськ, пров. Науковий, 5  
bilanych@univ.uzhgorod.ua

Досліджено вплив  $\gamma$  – опромінювання на процес механічної релаксації у склі  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$ . Показано, що внаслідок опромінення відбувається пониження температури максимуму внутрішнього тертя та зростання його інтенсивності. Встановлено, що опромінення приводить до локалізації дисипативного процесу в області 160 К – 300 К та пониження його енергії активації.

## Вступ

Використання халькогенідних стекел в інтегральній оптиці та інфрачервоній техніці стимулюють пошук їх оптимальних хімічних складів та дослідження властивостей даних матеріалів в областях екстремальних значень середнього координаційного числа. В таких областях спостерігаються процеси інтенсивної термічної активації рухливості кінетичних одиниць на різних структурних рівнях. Раніше було показано, що в стеклах системи Ge-As-Se спостерігаються низькотемпературні дисипативні процеси релаксаційного ( $Z=2,6$ ) і не релаксаційного ( $Z=2,8$ ) типу, обумовлені наявністю в структурі даних матеріалів атомів з ненасиченими зв'язками та надлишкових атомів [1]. Монотонна зміна концентрації стекел в системі Ge-As-S(Se) призводить до немонотонних змін їх релаксаційних параметрів [2]. У зв'язку з цим актуальним є вивчення впливу ступеня розупорядкування на інтенсивність та параметри дисипативних процесів у халькогенідних стеклах.

Метою даної роботи було вивчення впливу індукованого  $\gamma$ -випромінюванням структурного розупорядкування на інфранизькочастотне внутрішнє тертя скла  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$ .

## Методика експерименту

Ступінь розупорядкування некристалічного матеріалу можна задати технологічно. В цьому випадку, в разі відсутності температурного відпалу вплив дефектної підсистеми буде визначатися параметрами її релаксації в області  $T \ll T_g$  (низькотемпературна релаксація). Інтенсивність такої релаксації відображає як ступінь розупорядкування структури матеріалу, так і динаміку її зміни під час температурного відпалу [3]. Крім цього, одним з ефективних методів створення розупорядкування структури є метод зовнішнього впливу радіаційним опромінюванням [4]. Зокрема  $\gamma$ -опромінення плівок  $\text{Ge}_x\text{As}_{40-x}\text{S}_{60}$  призводить до утворення слабких гомополярних зв'язків [5].

Опромінювання зразка проводилося при кімнатній температурі на мікротроні М-30 Інституту електронної фізики НАН України. Енергія гальмівних гама-квантів складала 10.5 MeV Синтез скла вказаного складу проводився в кварцових ампулах з елементарних речовин: миш'яку марки „ОСЧ”, селену „ОСЧ” та германію марки В5. Спочатку проводився нагрів до 650 °С, ампули витримувалися 6 годин. Потім температуру повільно піднімали до 820 °С. Після тривалої гомогенізації стекла загар-

товувались на повітрі. Скловидний стан отриманих сплавів підтверджувався методом рентгеноструктурного аналізу.

Зразки для досліджень  $Q^{-1}(T)$  і  $G(T)$  вирізали з масивного скловидного злитку у вигляді прямокутного паралелепіпеда з розмірами  $2 \times 2 \times 20$  мм<sup>3</sup>.

Для вивчення впливу радіаційного випромінювання на низькотемпературну релаксацію в склі  $Ge_8As_{32}Se_{60}$  було проведено вимірювання його внутрішнього тертя  $Q^{-1}$  і модуля зсуву  $G$  на частотах 10 мГц – 50 мГц в інтервалі температур 100 К – 300 К. Вимірювання проводилися за допомогою автоматизованого вимірювального комплексу на базі крутильного маятника оберненого типу в режимі квазістатичних навантажень [6]. Залежності  $Q^{-1}(T)$  і  $G(T)$  були отримані в режимі нагріву з постійною швидкістю нагріву 0,3К/хв. при неперервному циклічному деформуванні зразка.

### Результати дослідження та їх обговорення

На рис. 1 наведено температурні залежності внутрішнього тертя та модуля зсуву досліджуваного зразка на частоті 10 мГц до та після опромінювання. З рис.1 видно, що у неопромінену зразку в області 200 К – 300 К спостерігається загальне підвищення внутрішнього тертя з слабо вираженим максимумом (його висота  $Q_m^{-1}(T) = 7 \cdot 10^{-3}$ ). Температура максимуму  $T_m = 228$  К. В цій же області температур лінійний спад модуля зсуву має стрибок вниз на  $\Delta G = 0,65$  ГПа. При зростанні частоти деформування вказані особливості внутрішнього тертя і модуля зсуву зміщуються вверх по осі температур. Це свідчить про їх релаксаційну природу. Дослідження внутрішнього тертя в склах системи Ge-As-Se в інтервалі 100 К –  $T_g$  вказує на те, що причиною його виникнення може бути  $\beta$ -релаксація даного матеріалу [1].

З рис.1 видно, що опромінення призводить до виражених змін у внутрішньому терті скла  $Ge_8As_{32}Se_{60}$ . Зокрема, на за-

лежності  $Q^{-1}(T)$  спостерігається максимум при температурі  $T_m = 219$  К висотою  $Q_m^{-1}(T) = 12 \cdot 10^{-3}$ . Виникнення максимуму внутрішнього тертя на залежності  $Q^{-1}(T)$ , у випадку термічної активації рухливості деякої структурної одиниці, обумовлено

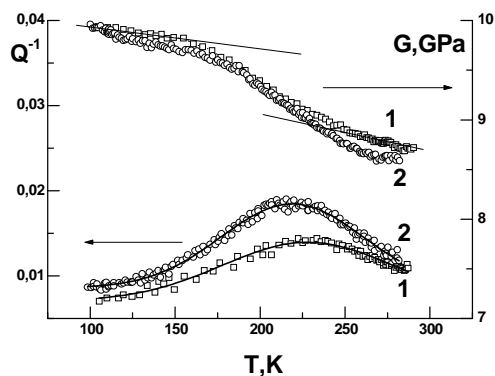


Рис.1. Температурна залежність внутрішнього тертя  $Q^{-1}$  і модуля зсуву  $G$  скла  $Ge_8As_{32}Se_{60}$  до (криві 1) і після опромінення (криві 2)

явищем резонансного поглинання нею енергії зовнішнього механічного поля при циклічному деформуванні зразка. Тому висота максимуму, його площа є пропорційними кількості таких центрів поглинання. Тому, можна стверджувати, що опромінення призводить до збільшення кількості структурних одиниць, які є причиною дисипації механічної енергії в області температур 160 К – 300 К. Такий висновок підтверджує і порівняння залежностей  $G(T)$  до і після опромінювання. Для опроміненого зразка  $Ge_8As_{32}Se_{60}$  стрибок модуля зсуву збільшився до  $\Delta G = 0,80$  ГПа. Як було показано раніше [2, 6], причиною механічної релаксації халькогенідних стекел в області 150 К-300 К є релаксація структури в областях локального розупорядкування. Інтенсивність такої релаксації, в основному, залежить від наявності у структурі досліджуваного матеріалу атомів з ненасиченими зв'язками. У ХСН бінарних систем As-S(Se) такими атомами є атоми халькогену (наприклад, кінцеві атоми ланцюжків  $Se(S)_n$ ). У системі Ge-As-Se атомами з ненасиченими зв'язками можуть бути атоми Se, As, а у області високих значень  $Z$  – і атоми Ge. Тому, на основі отриманих експериментальних даних можна стверджувати, що опромінення скла

$\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$  призвело до підвищення у ньому кількості атомів з ненасиченими (обірваними) зв'язками. Якщо допустити, що даний релаксацийний процес обумовлюють одні і ті ж структурні одиниці, то апроксимація залежностей  $Q^{-1}(T)$  буде відображати розподіл часів їх релаксації у даному температурному діапазоні. При цьому, найбільш імовірний час релаксації визначається з умови спостереження максимуму внутрішнього тертя  $\omega\tau=1$ , де  $\omega=2\pi f$ ,  $f$  – частота деформування,  $\tau=\tau_0\exp(U/kT)$ ,  $\tau$  – час релаксації, частотний фактор,  $U$  – енергія активації. Апроксимація залежностей  $Q^{-1}(T)$  за допомогою розподілу Гауса (рис.1 - суцільні лінії) показує, що максимальна інтенсивність релаксацийного процесу в неопромінену склі спостерігається при 228 К, а після опромінення при 218 К. При цьому площа під піком після опромінення збільшується досить слабо з 0,91 до 1,03 (у відносних одиницях), а ширина максимуму (на половині висоти) зменшується з 105 К до 83 К. Це свідчить про те, що в результаті опромінення скла  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$  проходить локалізація релаксацийного процесу, яка може бути результатом радіаційного відпалу внутрішніх механічних напруг, заморожених під час синтезу даного матеріалу.

На рис. 2 наведено залежності  $Q^{-1}(T)$  і  $G(T)$  на частотах 10 мГц і 50 мГц для опроміненого зразка. З даного рисунка видно, що підвищення частоти деформування призводить до підвищення температури максимуму з  $T_m=219$  К до  $T_m=249$  К. Крім того амплітуда максимуму  $Q^{-1}(T)$  зростає з  $Q_m^{-1}(T)=12\cdot 10^{-3}$  до  $Q_m^{-1}(T)=28\cdot 10^{-3}$ . Аналіз кривих  $Q^{-1}(T)$  на інших частотах з інтервалу 10 мГц – 50 мГц вказує на те, що залежність температури максимуму  $T_m$  від частоти деформування в координатах  $\ln(\nu) - T_m^{-1}$  добре апроксимується прямою лінією.

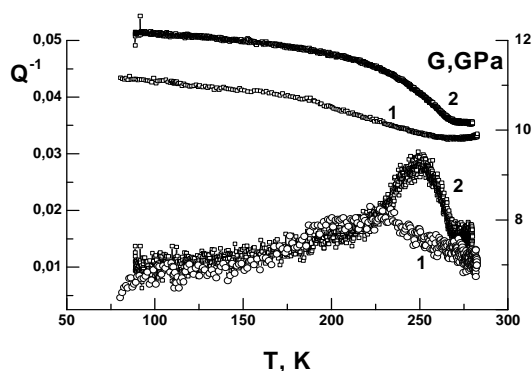


Рис.2. Залежності  $Q^{-1}(T)$  і  $G(T)$  опроміненого скла  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$  на частотах деформування 10 мГц (криві 1) і 50 мГц (криві 2).

З тангенса кута нахилу цієї лінії до осі  $T^{-1}$  була визначена енергія активації  $U=24$  кДж/моль. Отримане значення енергії активації значно менше, ніж аналогічний параметр для низькотемпературної механічної релаксації в стеклах системи Ge-As-Se [1]. Зменшення енергії активації при опроміненні корелює з показаним на рис.1 зменшенням  $T_m$  після опромінення.

### Висновки

Встановлено зростання інтенсивності процесу механічної релаксації скла  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$  в інтервалі температур 160 К – 300 К внаслідок опромінення та зменшення його енергії активації. Показано, що опромінення приводить до локалізації даного релаксацийного процесу у меншому температурному інтервалі та зміщенню його вниз по осі температур ( $\Delta T \approx 10$  К). Виявлені зміни релаксацийних властивостей досліджуваного скла після опромінення можуть бути обумовлені і збільшенням числа областей локального розупорядкування структури (атомів з ненасиченими зв'язками), переключенням зв'язків з утворенням гомополярних зв'язків As-As.

### Література

1. Біланич В.С., Онищак В.Б., Макауз І.І., Різак В.М., Різак І.М. Релаксацийні процеси в склах системи Ge-As-Se // Науковий Вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2006. – Т.19. – С. 44–49.
2. Біланич В.С., Макауз І.І., Мельниченко Т.Д., Різак І.М., Різак В.М. Ре-

- лаксациионные процессы в стеклах системы Ge-As-S // ФТТ, №11 2006, 1942-1946.
3. Биланич В.С., Горват А.А., Туряница И.Д., Пинзеник В.П. Процессы механической релаксации в стеклообразном селене // Укр.Физ.Журнал, Т.37, №1, 1992. – С.124-128.
  4. Биланич В.С., Байса Н.Д., Ризак В.М., Ризак И.М. Влияние  $\gamma$ -облучения на внутреннее трение в тетраборате лития // ФТТ, 2004, N3, т.46 – С.453-456.
  5. Маслюк В.Т., Скордева Е., Пуга П.П., Арсова Д., Памучкиева В. Концентрационная зависимость радиационно-стимулированных изменений оптических свойств пленок  $\text{Ge}_x\text{As}_{40-x}\text{Se}_{60}$  // Физика твердого тела. - 2004. - Т.46. - вып.8. - С. 1393-1397.
  6. Биланич В.С. Процессы механической релаксации в стеклообразных сульфидах и селенидах мышьяка: Автореф. дис. ... канд. ф.-м. наук / УжГУ – Ужгород, 1993. – 24 с.

## EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON LOW-TEMPERATURE MECHANICAL RELAXATION IN THE $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$ GLASS

V.S. Bilanych<sup>1</sup>, V.B. Onyshchak<sup>1</sup>, O.O. Parlag<sup>2</sup>,  
V.M. Rizak<sup>1</sup>, I.M. Rizak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.,  
Universytetska St. 21, Uzhhorod, Ukraine

<sup>3</sup>Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

bilanych@univ.uzhgorod.ua

The effect of gamma irradiation on the process of mechanical relaxation in the  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$  glass is investigated. It is shown that after irradiation a temperature of peak maximum of the internal friction decreases and height of the peak increase. It is found that gamma irradiation of the  $\text{Ge}_8\text{As}_{32}\text{Se}_{60}$  glass leads to a localization of the dissipative process in the temperature range 180 K – 400 K and to decreases the energy of activation.