

УДК 537.213

А.Е. Кріштофорій, А.А. Горват, В.В. Мінькович

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

ДОВГОЧАСОВА МЕХАНІЧНА РЕЛАКСАЦІЯ В ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СТЕКЛАХ

В роботі приведені дані стосовно релаксації деформації та механічного напруження в склоподібному As_2Se_3 при різних температурах. Запропоновано механічні моделі для опису релаксації механічних напружень та деформацій в стеклах системи As-S(Se) в околі температури склування. Проаналізовано температурні залежності параметрів запропонованих моделей та зроблені висновки про їх придатність для опису і моделювання розглянутих систем.

Ключові слова: халькогенідні стекла, механічна релаксація, в'язкопружна деформація, реологічні моделі.

Вступ

При вдосконаленні технології виготовлення та встановленні оптимальних умов експлуатації оптичних елементів на основі халькогенідних стекел важливу роль відіграє інформація про обумовлені механічними напруженнями процеси механічної релаксації. В результаті дослідження інфранизькочастотного внутрішнього тертя та модуля зсуву халькогенідних стекел As-S(Se) [1-2] було встановлено, що в області температури розм'якшення на частотах 10^{-2} -10 Гц важливу роль відіграє в'язкопружна деформація. Однак довгочасові релаксаційні процеси у вказаних стеклах до цього часу залишаються не вивченими. У зв'язку з цим дослідження температурно-часових змін деформацій та механічних напружень в модельному халькогенідному склі As_2Se_3 без сумніву представляють фундаментальний інтерес.

Методика експерименту

Для дослідження в'язкопружних властивостей твердих тіл, зокрема внутрішнього тертя в області інфранизьких частот, найбільш поширеним вважається метод оберненого крутильного маятника. Він порівняно простий в експериментальній реалізації, надійний та дозволяє проводити комплексні дослідження у широкому діапазоні температур, частот і механічних напружень [3]. Однак цю методику можна успішно застосовува-

ти для вивчення повзучості та високо-еластичної деформації. Нами для автоматизації довгочасових вимірювань була вдосконалена відповідна програма керування експериментом [4], яка дозволяє оператору ПК вибрати режим роботи та умови досліджень. Підпрограми виконують функції регулювання температури, механічної напруги, неперервного зчитування, запису, обробки та графічного відображення експериментальних результатів. Це дозволяє здійснювати контроль та керування експериментом в режимі реального часу.

Експериментальні результати

На рис. 1 представлені залежності механічної напруги $\sigma(t)$ від часу при постійній відносній деформації $\varepsilon = 10^{-4}$ при різних температурах, а її релаксація після зняття навантаження наведена на рис. 2. Як і слід було очікувати, підвищення температури прискорює релаксаційні процеси як $\sigma(t)$, так і $\varepsilon(t)$. При цьому початкове значення механічної напруги при деформації 10^{-4} із ростом температури зменшується. З графіків також слідує, що навіть при температурах суттєво віддалених від T_g , після релаксації протягом $(6 - 9) \cdot 10^3$ с деформація не зникає. Це однозначно свідчить про наявність залишкової деформації, а отже і пластичної течії при прикладеній механічній нарузі.

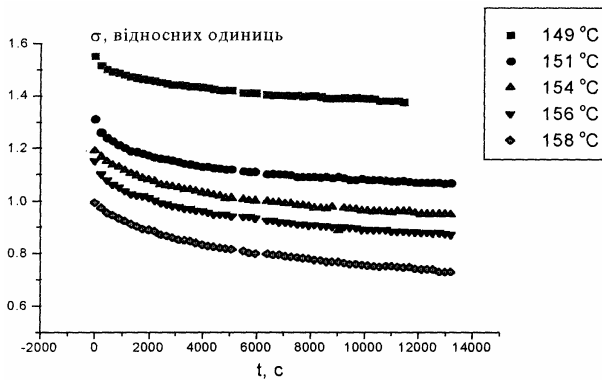


Рис. 1. Криві релаксації механічного напруження в склоподібному As_2Se_3 при різних температурах.

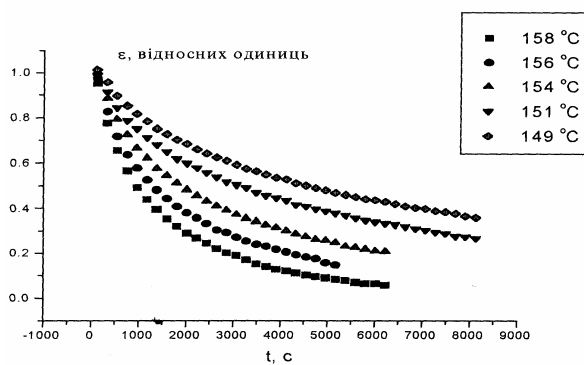


Рис. 2. Релаксація деформації в склоподібному As_2Se_3 при різних температурах.

Фізика пластичності некристалічних твердих тіл залишається практично не вивченою до теперішнього часу, не існує навіть наближеної теорії, яка б коректно пояснювала експериментальні результати. Спроба пояснення пластичності базувалась на уявленні про температурно-залежні стрибки молекул із зайнятих локальних мінімумів на вільні місця в структурному каркасі скла [5]. Такий підхід не міг пояснити особливості в'язкої течії, яка традиційно описується емпіричною залежністю Фогеля–Фулчера–Тамана: $\eta = \eta_0 \exp A(T - T_0)$. Для більш коректного опису поведінки внутрішнього тертя використовуються дві різні концепції: концепція вільного об'єму та концепція варіаційно-конфігураційної ентропії. Обидві теорії порівнювались Голдсштейном, який прийшов до висновку, про те, що поки не існує задовільних співвідношень, які з одного боку використовували б невелику кількість параметрів із певним

фізичним змістом, а з другого боку добре описували поведінку матеріалів в широкому температурному інтервалі поблизу T_g . У зв'язку з цим для опису поведінки стекл систем $As - S(Se)$ в околі температури склування нами розглядалися феноменологічні реологічні моделі [6] приведені на рис. 3, які побудовані на базі механічних моделей Максвела, Кельвіна-Фойгта та Зеннера. Температурні залежності параметрів цих моделей приведені на рис. 4-5.

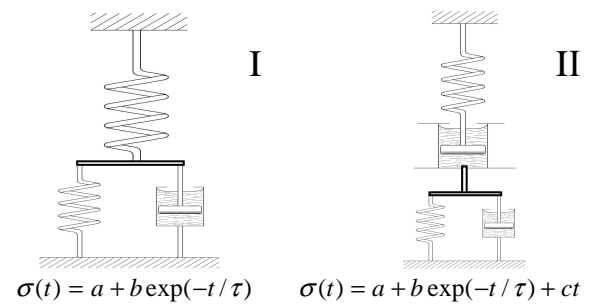


Рис. 3. Реологічні моделі для опису релаксації механічних напружень та деформацій.

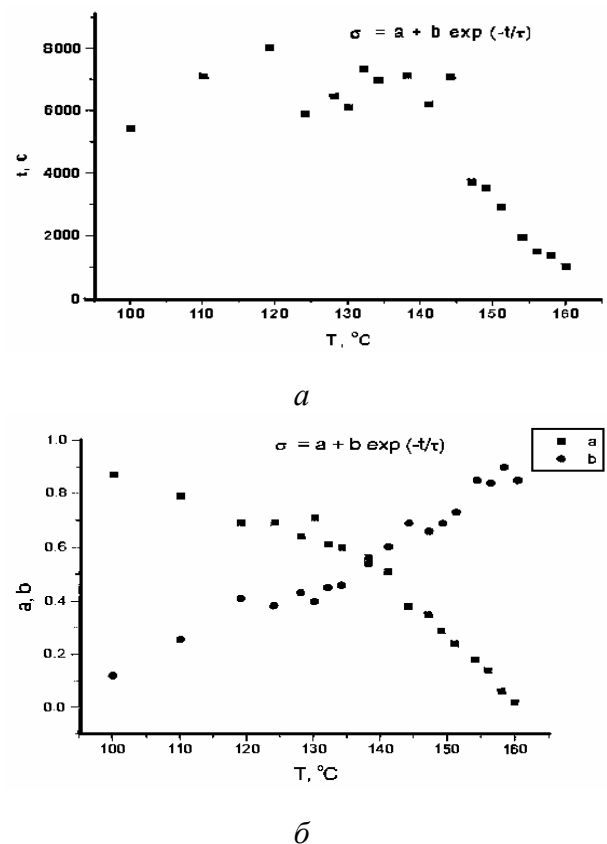
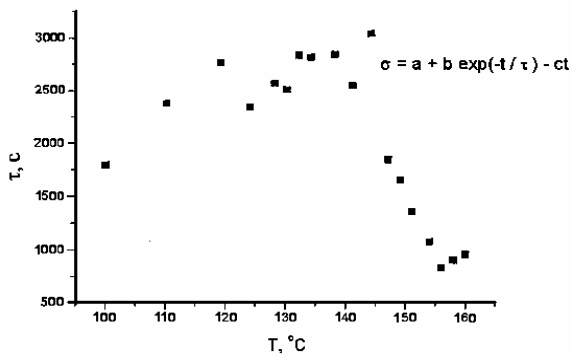
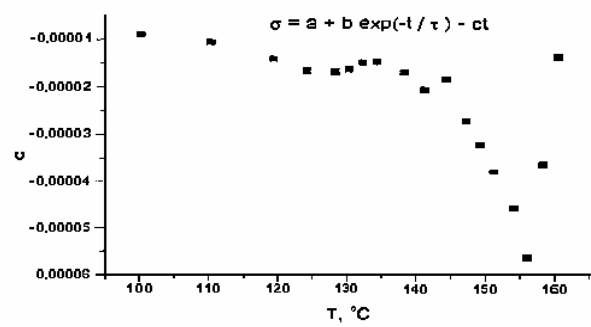


Рис. 4. Температурна залежність часу релаксації τ (а) та параметрів a, b (б) реологічної моделі I.

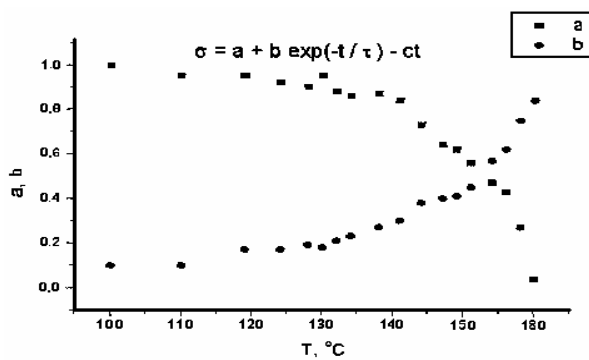


a



b

Рис. 5. Температурна залежність часу релаксації τ (a) та параметрів a , b (б) і c (в) реологічної моделі II.



б

Висновки

Як видно з наведених результатів моделі II, яка враховує в'язку течію, достатньо добре описує температурні залежності параметрів, тому можна вважати, що саме вона придатна для опису і моделювання механічних релаксаційних явищ в системах As-Se. Аналіз даних, приведених на рис. 4, а саме зростання абсолютного значення параметру c , відповідального за в'язку течію, та відношення b/a при наближенні до T_g свідчить про значну роль повзучості і релаксаційної деформації в досліджуваних стеклах при наближенні до температури склування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Биланич В.С., Горват А.А. Высоко-температурный релаксационный переход в халькогенидах мышьяка. Физ. и химия стекла. 1998, том 24. – №6. – С. 825-829.
2. Perez J. Viscoelastic behavior of anoxid glass // J. Non. Cryst. Solids, v.44, №1. – 1981. – P. 113-136.
3. Lakes R. S. Viscoelastic measurement techniques. Rev. Sci. Instrum., 2004. – v.75. – № 4. – P. 797-810.
4. Горват А.А., Биланич В.С., Габорець В.С. Дослідження низько- та інфранизькочастотних механічних властивостей матеріалів. В зб. Проблеми економічного та соціального розвитку регіону і практика наукового експерименту. Вип. 12. Київ-Ужгород 1996, С. 169-172.
5. Bohmer R., Angel C.A. Elastic and viscoelastic properties of amorphous selenium and identification of the phase transition between ring and chain structures // Phys. Rev. 1993. – v.48. – №9. – P. 5857-5864.
6. Бартенев Г. М., Френкель С.Я. Физика полимеров / Под ред. д-ра физ.-мат. наук А.М. Ельяшевича. – Л.: Химия, 1990. – 429 с.

Стаття надійшла до редакції 3.03.2011

A.E. Krishtoforiy, A.A. Horvat, V.V. Minkovich
Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

LONGTERM MECHANICAL RELAXATION IN CHALCOGENIDE GLASSES

The relaxation of deformation and mechanical stress were investigated in glassy As_2Se_3 at different temperatures. The mechanical corresponding models were proposed to describe the relaxation of mechanical stress and deformation in As–S(Se) glasses of system near the glass transition temperature. The temperature dependences of the parameters were analyzed according to proposed models.

Key words: chalcogenide glasses, mechanical relaxation, viscoelastic deformation, rheological models.

А.Е. Криштофорий, А.А. Горват, В.В. Минькович
Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛАХ

В работе приведены данные относительно релаксации деформации и механического напряжения в стеклообразном As_2Se_3 при разных температурах. Предложены модели для описания релаксации механических напряжений и деформаций в стеклах системы As–S(Se) в окрестности температуры стеклообразования. Проанализированы температурные зависимости параметров предложенных моделей и сделаны выводы об их пригодности для описания и моделирование рассмотренных систем.

Ключевые слова: халькогенидные стекла, механическая релаксация, вязкоупругая деформация, реологические модели.