

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ В ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СТЕКЛАХ НА ЗВУКОВИХ ЧАСТОТАХ

**В.В.Габорець, А. А.Горват**

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

Описана апаратна і програмна частина вимірювальної установки для дослідження внутрішнього тертя і пружних модулів методом коливання пластинки. Установка дозволяє проводити вимірювання частоти та загасання вільних коливань в діапазоні звукових частот та інтервалі температур від кімнатних до 600 К. Як приклад, приведено температурні залежності квадрату частоти та загасання коливань пластинки склоподібного  $As_2Se_3$  в області температури розм'якшення.

Механічні релаксаційні процеси, які протікають в твердих тілах, зокрема в склоподібних матеріалах, пов'язані з різноманітними механізмами, і тому характеризуються широким спектром, для перекриття якого інтервал частот повинен охоплювати діапазон від  $10^{-8}$  до  $10^8$  Гц, тобто мати ширину в 15-17 порядків. В силу відомих експериментальних труднощів і обмежень навіть невелику частину цього діапазону за допомогою однієї методики важко перекрити. Разом з цим застосування методу оберненого крутильного маятника [1] для вивчення інфранизькочастотного внутрішнього тертя і модуля зсуву халькогенідних стеклок [2-4] показали інформативність досліджень процесів механічної релаксації у вказаних матеріалах і спонукають до розширення частотного діапазону вимірювання механічних параметрів.

В зв'язку з цим актуальною є розробка методики дослідження внутрішнього тертя в діапазоні звукових частот, автоматизація вимірювань та їх виконання на сучасному апаратному і програмному рівні. Для розробки нової установки нами вибраний добре відомий метод коливання закріпленої пластинки (рис.1).

Зразок 1, виготовлений у вигляді пластинки прямокутного поперечного перерізу довжиною 17 – 25 мм, закріплю-

ється до масивної нерухомої основи 2 областю порядку 2 мм. Товщина і ширина пластинки можуть змінюватись в межах 0,1 – 2 мм та 2 – 5 мм відповідно, що дозволяє варіювати власну частоту коливань згину пластинки більше як в 10 разів. До вільного кінця зразка приклеюється L - подібна штанга 4 для кріплення магнітів 3 і винесення їх із котушками 5 - 6 за межі печі 9. Перший магніт використовується для збудження коливань згину пластинки котушкою 5, і тому кріпиться поблизу вільного кінця. Другий магніт служить датчиком коливань, збуджуючи змінну ЕРС в котушці 6. Штанга виготовлена з легкого та пружного матеріалу та має декілька елементів жорсткості для того щоб виключити її внесок в коливання, які реєструються котушкою 6. Розмір магнітів порядку 1x1x2 мм, їх маса повинна бути малою, щоб не вносити значну поправку в частоту і загасання коливань зразка, але достатньою для того, щоб при заданих параметрах котушок збуджувати коливання необхідної амплітуди та наводити змінну ЕРС у вимірювальній котушці 6. Котушки 5 та 6 розміщені поблизу одна до одної для зменшення розмірів системи підвіски 4. Для попередження взаємного впливу котушок, їх обгорнуто магнітним екраном, товщиною 0,2 мм з пермалою. Котушки

закріплені на нерухомій основі 7, розташування якої відносно зразка може коригуватись мікрометричними гвинтами в трьох напрямках XYZ.

Оскільки власні частоти коливань зразків з такою геометрією лежать в області звукових частот, то в якості генератора для збудження та реєстрації коливань згину вибрано PCI Sound-Blaster сумісну звукову карту комп'ютера Pentium II 266. Вона може працювати в режимі Full Duplex, в якому забезпечується одночасна робота її 16-ти розрядних ЦАП і АЦП з дискретизацією 44100 Гц в діапазоні 10 – 20000 Гц. Сигнал з виходу її підсилювача потужності надходить на котушку 5, а з котушки 6 сигнал подається на мікрофонний вхід, що має внутрішній опір порядку 600 Ом. Температурний режим вимірювань задається нагрівником 9, намотаним на мідній трубці 8, яка оточує зразок і довша за нього на 1 см. Між трубкою та зразком закріплено датчик температури на основі платиногового термоопору ПТ100. Його опір визначається за допомогою генератора постійного струму та 16-ти

розрядного АЦП FK4430. Струм, що подається на піч контролюється 14-ти розрядним ЦАП FK70. ЦАП і АЦП є модулями системи КАМАК і контролюється комп'ютером, що з'єднаний з крейт - контролером через IBM-сумісну інтерфейсну ISA карту.

Вимірювання автоматизовано за допомогою програмного продукту National Instruments LabView 5.0. Він представляє собою спеціалізований пакет для автоматизації експерименту на візуальній мові програмування G, що є реалізацією лінійного методу програмування [5]. Низькорівневі драйвери для програмного інтерфейсу з системою КАМАК були написані в LabView. Управління температурою проводиться за PID алгоритмом, реалізованим на мові G. Цей алгоритм описаний в [6], а його реалізація на мові Pascal приведена в [7]. Точність стабілізації температури не гірша за 0,1 К. Програмно реалізована функція сходинок дозволяє здійснювати зміну температури з швидкістю 0 - 2 К/хв.

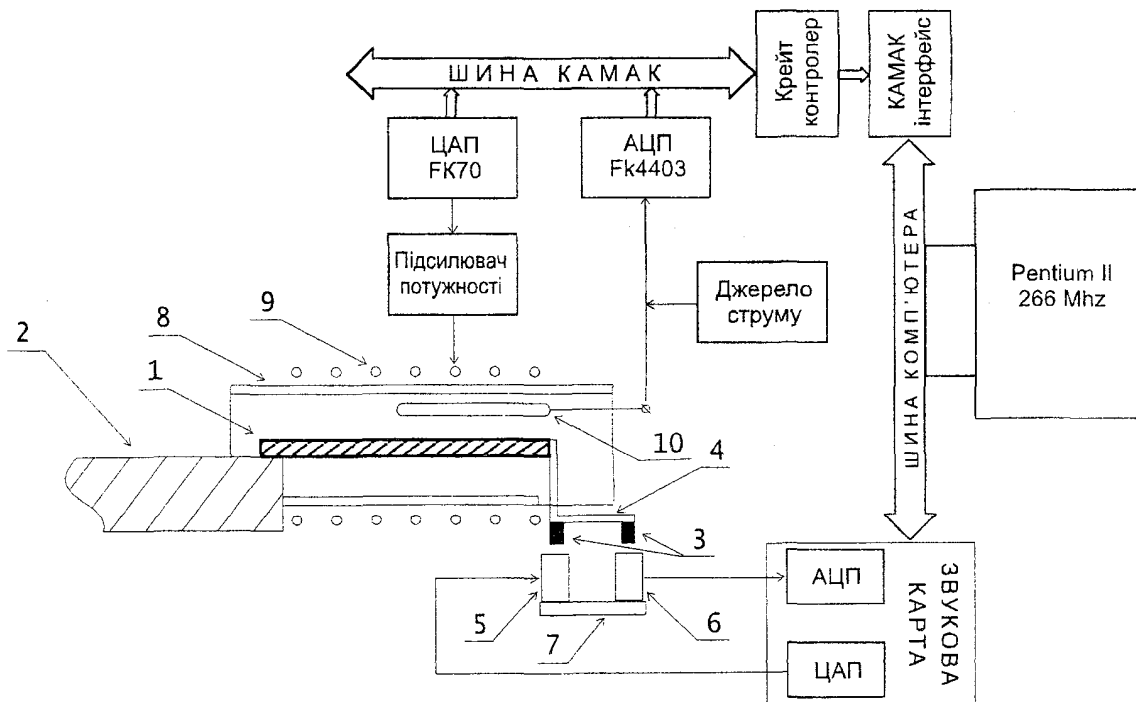


Рис.1 Блок – схема експериментальної установки для дослідження внутрішнього тертя та пружних модулів методом коливання пластинки.

Структура програми управління експериментом і обробки даних приведена на рис. 2. Вона складається з підсистем генерації сигналу збудження коливачів, визначення параметрів

загасаючих коливачів з використанням побудови спектру Фур'є та розгорнутого фазового спектру, корекції частоти та амплітуди збудження та ПІД регулювання температури.

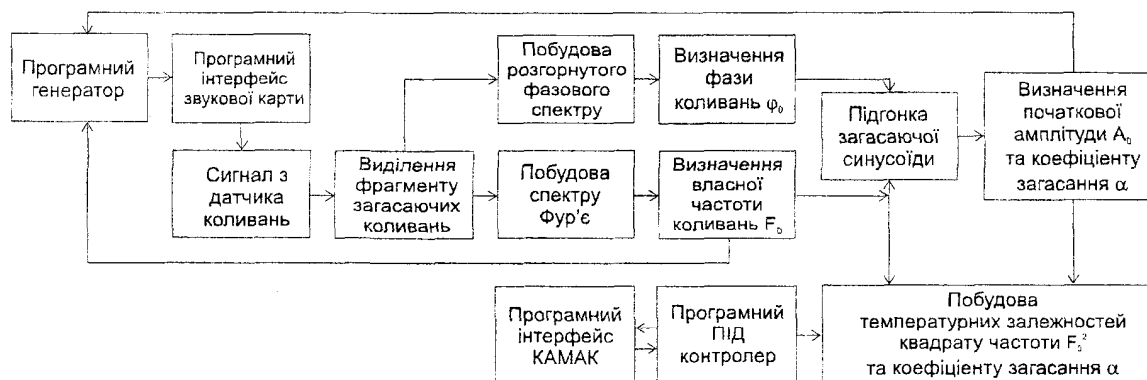


Рис. 2. Структура програми автоматизації досліджень.

Сигнал збудження коливачів створюється програмним генератором, що розраховує масив заповнений значеннями синусоїди відповідної частоти, амплітуди, дискретизації та тривалості. Передбачена можливість вибору між трьома значеннями дискретизації, що є стандартними для звукових карт: 11025, 22050 та 44100 Гц. Зменшення дискретизації може бути обране у випадку, якщо надлишковість експериментальних даних приводить до помітних затримок в їх подальшій програмній обробці, або перевантаження оперативної пам'яті комп'ютера. Алгоритм управління експериментом передбачає програмний вибір дискретизації для вибору балансу між точністю математичної обробки експериментальних даних та її тривалістю. Розрахований масив конвертується і записується в стандартному wav – форматі для оцифрованого звуку.

Управління звуковою картою реалізовано через системний для MS Windows 95 MCI String (Multimedia

Command Interface) інтерфейс. Така можливість існує при виклику відповідних функцій системної динамічної бібліотеки mmsystem.dll. Одночасно запускаються процеси запису звуку з мікрофонного входу та відтворення розрахованого звукового сигналу. Процес запису і відтворення сигналу триває і після припинення збудження щоб, власне, зареєструвати загасаючі коливання. Вони, в свою чергу, конвертуються з wav формату в нормалізований масив чисел для подальшої обробки.

Оскільки нами задається тривалість збудження, то знайшовши момент часу, відповідний початку збудження, можна визначити початок загасання. Це робиться автоматично, з додатковим врахуванням можливих короткочасних (порядку кількох періодів) перехідних процесів до вільно загасаючих коливачів. Програмно вибирається фрагмент загасаючої синусоїди з кінцем в момент часу із заданою амплітудою коливачів.

За цим фрагментом будується частотний спектр коливачів, отриманий з перетворення Фур'є. З цього спектру

знаходиться резонансний пік, а підгонкою цього піку методом найменших квадратів визначається власна частота коливань  $F_0$ . Точність визначення  $F_0$  складає 0,01 Гц. За згаданим вище фрагментом будується розгорнутий фазовий спектр, який в області резонансу має характерний стрибок фази величиною  $\pi$ . Визначивши середнє значення фази навколо власної частоти  $F_0$  в межах 100 Гц (оптимальне значення визначене дослідним шляхом, яке залежить від добротності коливної системи), та зсуваючи його на  $\pi/2$ , отримується значення фази вільно загасаючих коливань  $\varphi_0$  відносно обраного фрагменту загасання. Точність визначення  $\varphi_0$  складає 0,001 рад.

Загасаючі коливання описуються формулою  $I = A_0 e^{-\alpha t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ , де  $A_0$  – початкова амплітуда коливань,  $\alpha$  – коефіцієнт загасання. Завдання підгонки загасаючої синусоїди значно полегшується тим фактом, що два параметри  $\omega_0 = 2\pi F_0$  та  $\varphi_0$  є відомими з процесу керування експериментом. Таким чином, задача зводиться до підгонки нелінійної функції з двома невідомими параметрами  $A_0$  та  $\alpha$ . Вони визначаються за допомогою алгоритму Levenberg-Marquardt, який є реалізацією методу найменших квадратів для нелінійних випадків.

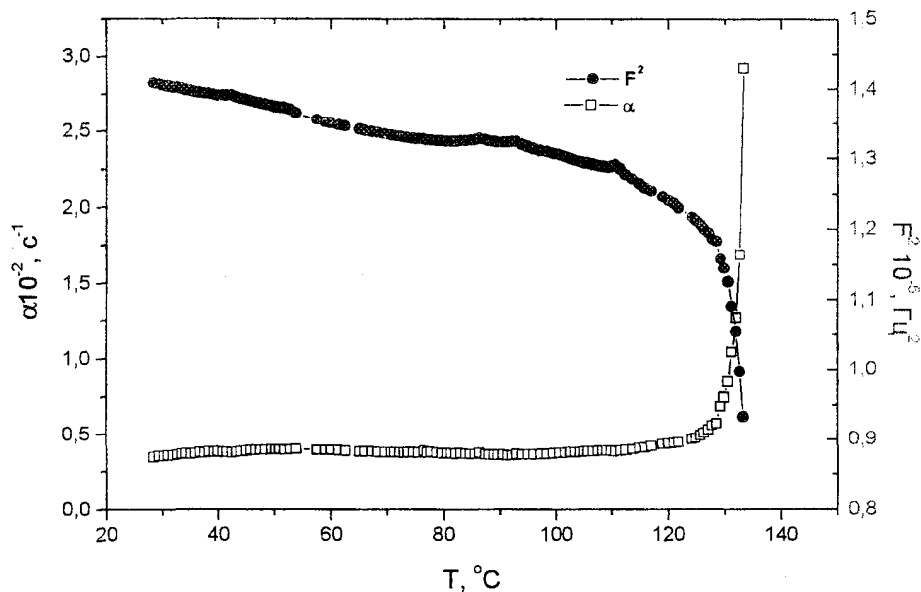


Рис. 3. Температурна залежність коефіцієнту загасання  $\alpha$  та квадрату частоти для системи As-Se.

Програмно передбачений режим корекції амплітуди збудження коливань. Це дало змогу проводити реєстрацію загасання в двох режимах: в режимі з постійною амплітудою збудження, та в режимі з постійною початковою амплітудою загасання  $A_0$ . Постійність  $A_0$

підтримується з точністю 0,1 % до області розм'якшення, де в скоподібних матеріалах загасання зростає на порядки і початкову амплітуду коливань постійною втримати неможливо.

Апробація методики проводилася на зразках виготовлених із кварцевого скла

та халькогенідних стекол. Як приклад на рис. 3 приведена температурна залежність квадрату частоти власних коливань пластинки, яка пропорційна модулю зсуву, та коефіцієнту загасання  $\alpha$  для склоподібного  $As_2Se_3$ .

Як і слід було чекати, з наближенням до температури розм'якшення спостерігається різке зростання коефіцієнту загасання коливань, пов'язане з втратами при перегрупуванні розморожених структурних елементів скла в механічних полях, а також зменшення квадрату частоти коливань, що обумовлено зменшенням жорсткості зв'язків між цими структурними елементами.

1. Горват А. А., Біланич В.С., Габорець В.С. Дослідження низько- та інфранизкочастотних механічних властивостей матеріалів. В зб. Проблеми економічного та соціального розвитку регіону і практика наукового експерименту. Вип 12. Київ – Ужгород 1996, с.169-172.
2. Біланич В.С., Горват А.А. Высокотемпературный релакса-

ционный переход в халькогенидах мышьяка. Физ. и химия стекла. 1998, том 24, №6 с.825-829.

3. Біланич В.С., Горват А. А., Туряниця І.Д. Низькотемпературна механічна релаксація в халькогенідних склах бінарних систем As-S і As-Se. Укр. Фіз. Ж. 1994 т. 39. N5 с. 593-596.
4. Біланич В.С., Горват А. А., Туряниця І.Д. Инфранизкочастотная механическая релаксация в стеклообразных селенидах и сульфидах мышьяка Изв. АН, сер. Физич. 1993. т.57, N11, с.163-168.
5. National Instruments. Measurement and Automatisation. Catalogue 1999. G Programming Language. 61-74.
6. Біланич В. С., Габорець В. В, Горват А.А, Молнар О.О., Наконечний Ю.С., Система регулювання температури в стандарті КАМАК. Проблеми економічного та соціального розвитку регіону і практика наукового експерименту. Науково – технічний збірник. Випуск 13. Київ – Ужгород 1997, 233-242.
7. Richard Quinn. 3-term PID algorithm optimizes control strategies. Personal Engineering and Instrumentation News. October 1987, 59-62.

## INVESTIGATION OF INTERNAL FRICTION IN CHALCOGENIDE GLASSES AT SOUND FREQUENCIES

**B. Gaborets, A. Horvat**

Uzhgorod State University, 88000, Uzhgorod, Voloshin st., 54

The hardware and software parts of automated measurement system for investigation of internal friction and elastic moduli using plate oscillation method are described. It gives possibility to measure frequency and damping of free oscillations at sound frequencies and from room to 600 K temperatures. Temperature dependencies of square frequency and damping of oscillations of plate of the glassy  $As_2Se_3$  near glass transition temperature, as example, are presented.