

В.П. Іваницький, М.Ю. Бобик

## Методика комп'ютерного мікрофотометрування електронномікроскопічних фотографічних зображень

*Ужгородський національний університет.  
вул. Капітульна, 13, м. Ужгород, E-mail: [ivanc@mail.uzgorod.ua](mailto:ivanc@mail.uzgorod.ua)*

Розроблено метод комп'ютерного двомірного мікрофотометрування електронномікроскопічних та електронграфічних фотографічних знімків з послідуною цифровою обробкою інформації. Метод забезпечує високу достовірність і якість отриманих комп'ютерних зображень та дозволяє охарактеризувати структуру об'єктів цілим рядом додаткових кількісних параметрів.

**Ключові слова:** електронно мікроскопія, електронографія.

*Стаття постуила до редакції 12.02.2007; прийнята до друку 15.06.2007.*

До 90-х років минулого століття суттєвим недоліком структурних досліджень аморфних речовин методами електронної мікроскопії був переважно якісний характер отримуваних експериментальних даних. Основним носієм структурної інформації на той час були фотоплівки та фотопластинки. В результаті у лабораторіях електронної мікроскопії на сьогодні в архівах скупчено великі масиви таких носіїв, важлива корисна інформація з яких вилучена не більше ніж на половину [1]. Зокрема, в нашій лабораторії зберігається більше 5000 знімків та електронограм аморфних речовин різного хімічного складу.

Одночасно за останні 10-15 років в області досліджень аморфних речовин досягнуто значних успіхів: прояснюється природа та сутність аморфного стану [2]; все чіткіше проявляються принципи формування їх структури [3]; з'являються нові моделі будови аморфних речовин на різних масштабних рівнях (ближній порядок, проміжний порядок, мезоструктура, наноструктура, мікро- та субструктура). На нашу думку, перегляд та переосмислення старих заархівованих експериментальних результатів електронномікроскопічних досліджень може забезпечити отримання значного об'єму нової додаткової інформації про структуру аморфних речовин. Але важливою умовою цього є максимальне збільшення частки кількісної інформації від електронномікроскопічних знімків із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій [4].

Важливою проблемою є також старіння фотоемульсії фотопластинок, що в майбутньому приведе до повного руйнування архівних даних. Внаслідок цього актуальним є перенесення

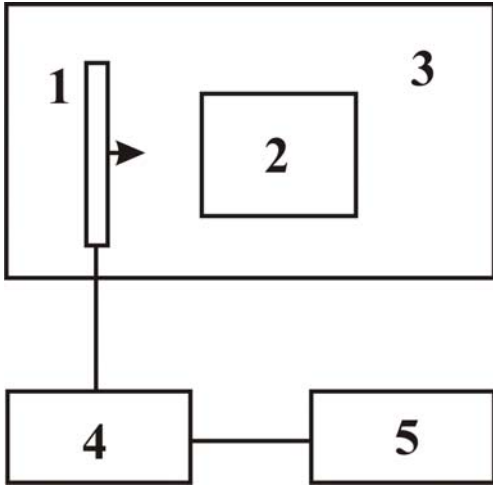
інформації з фотографічних носіїв в сучасні комп'ютерні бази даних з необмеженим строком зберігання.

Для вирішення зазначених задач нами розроблено метод двомірного „мікрофотометрування” електронномікроскопічних зображень шляхом їх комп'ютерного сканування. Для практичної реалізації методу було розроблено пристрій, структурна схема якого приведена на рис. 1.

Основу пристрою складає блок одновірної фотоперетворюючої матриці із механічною системою її прецизійного лінійного переміщення (1). Параметрами цього блоку визначається гранична роздільна здатність пристрою. У нашому випадку нам вдалося досягти розділення  $\sim 50$  точок/мм у напрямку матриці та  $\sim 35$  точок/мм у напрямку її переміщення. Фотознімок для фотометрування (2) закріплюється на спеціальному столику (3). Верхня площина столика зроблена прозорою і під нею знаходиться система люмінесцентних ламп, яка забезпечує рівномірне по площі його освітлення. Для підвищення рівномірності освітлення геометричні розміри ламп значно перевищують розміри фотознімку. Неробоча область столика поза межами фотознімку затінювалася непрозорими екранами.

Керування роботою пристрою та параметрами фотометрування здійснюється комп'ютером (5) через інтерфейсну плату (4). В якості з'єднуючого протоколу між платою (4) та комп'ютером (5) використано стандарт USB-порту. Керуюча програма процесу вимірювання дозволяє виконувати наступні основні операції:

Попереднє сканування всього фотозображення з метою вибору необхідної ділянки для наступного



**Рис. 1.** Пристрій двомірного „мікрофотометрування” електронномікроскопічних фотографічних зображень.



**Рис. 2.** Профотометрований електронно-мікроскопічний знімок аморфної плівки GeSe<sub>2</sub>.

мікрофотометрування.

Задання вибраної ділянки для мікрофотометрування у вигляді геометрично виставлених границь прямокутної форми. Діапазон площ мікрофотометрування лежить в межах від  $1 \times 1 \text{ мм}^2$  до  $100 \times 250 \text{ мм}^2$ .

Задання роздільної здатності процесу мікрофотометрування до 250 точок на квадратний міліметр.

Задання формату файлів збереження інформації по результатах мікрофотометрування. При цьому передбачено вибір BMP або JPG форматів.

Безпосереднє проведення процесу мікрофотометрування із автоматичним збереженням результатів у відповідному файлі.

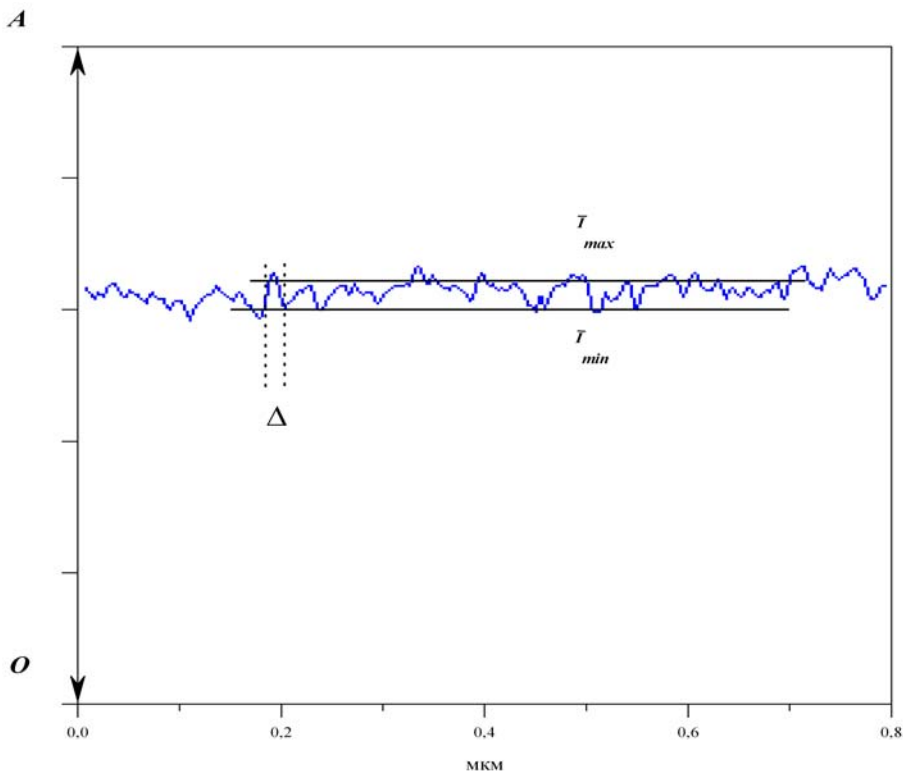
Обробку результатів мікрофотометрування у

вибраному режимі та представлення отриманих даних в графічному або числовому вигляді.

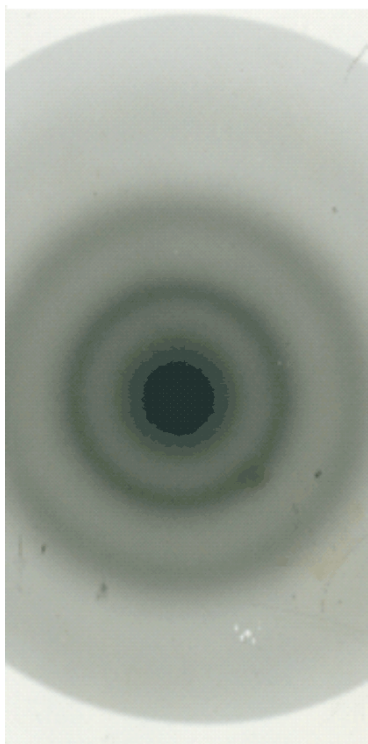
Збереження результатів обробки фотозображення у відповідних файлах.

Вибір форми представлення фотозображень у вигляді позитивних чи негативних знімків.

Для ілюстрації роботи пристрою на рис.2 приведено промікрофотометрований електронно-мікроскопічний знімок аморфної плівки Ge<sub>34</sub>Se<sub>66</sub>. Він демонструє високу роздільну здатність, яка забезпечується процесом фотометрування. На рис. 3 поміщено „профіль” розподілу потемніння фотографічного зображення вздовж вибраної прямої, отриманий шляхом оцифрування електронномікроскопічного знімку. Результати



**Рис. 3.** Профіль розподілу фотографічного контрасту на знімку аморфної плівки GeSe<sub>2</sub>.



**Рис. 4.** Профотометрована електронограма аморфної плівки GeSe<sub>2</sub>.

цифрової обробки свідчать про високу однорідність мікроструктури плівки. Флуктуації її густини у вигляді нанонеоднорідностей не перевищують 5 %, а середні їх розміри складають 15 нм.

В якості параметру однорідності наноструктури

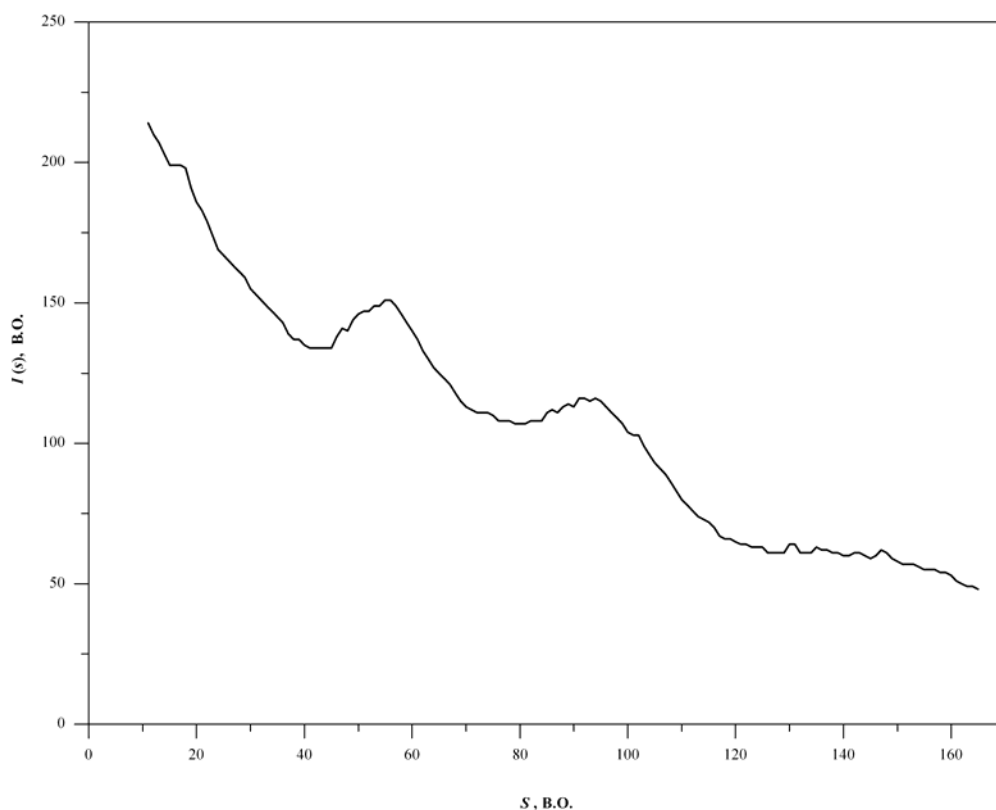
нами пропонується величина середнього контрасту між „темними” та „світлими” ділянками зображень:

$$K = \frac{(\bar{I}_{\max} - \bar{I}_{\min})}{A} 100\%, \quad (1)$$

де  $\bar{I}_{\max}$  – середнє значення інтенсивностей піків кривої фотометрування (рис. 3),  $\bar{I}_{\min}$  – середнє значення інтенсивностей “впадин” кривої фотометрування,  $A$  – масштабний коефіцієнт, який відповідає повному діапазону вимірювань інтенсивностей кривої фотометрування (рис. 3). У наших експериментах  $A = 80$  мм. Реальні розміри нанонеоднорідностей визначалися як  $D = \Delta BC$ , де  $\Delta$  – розмір відповідної неоднорідності на кривій фотометрування (рис. 3),  $B$  – множник, який поєднує масштаб фотознімку та профотометрованої кривої,  $C$  – масштабний множник, який враховує збільшення електронномікроскопічного знімку.

На рис. 4 приведено електронограму аморфної плівки Ge<sub>34</sub>Se<sub>66</sub>, отриману шляхом мікрофотометрування відповідної фотопластинки. На рис. 5 представлено також дифрактограму  $I(s)$ , отриману після оцифрування зображення електронограми. Як слідує із аналізу графіка  $I(s)$ , процедура мікрофотометрування досить точно передає розподіл інтенсивності дифрагованого на аморфній речовині електронного пучка.

Наведені приклади показують, що розроблений метод комп'ютерного мікрофотометрування забезпечує високу достовірність і якість переведення фотографічних негативних зображень в цифрову форму. Це дає можливість отримувати додаткову



**Рис. 5.** Дифрактограма аморфної плівки GeSe<sub>2</sub>, отримана в процесі оцифрування електронограми.

важливу кількісну інформацію про структуру електронномікроскопічних та електронографічних речовин, особливо в аморфному стані. Одночасно досліджень в комп'ютерні бази даних. метод дозволяє перевести архіви фотопластинок

- [1] Ю.А. Куницький, Я.І. Купина. *Електронна мікроскопія*. Либідь, Київ, 390 с. (1998).
- [2] A. Mihai Popescu. *Physics and Applications of Disordered Materials*. INOE Publishing House, Bucharest, 415 p. (2002).
- [3] Jai Singh, Koichi Shimakawa. *Advances in Amorphous Semiconductors (Volume in the Series "Advances in Condensed Matter")*. Taylor and Francis, London, 367 p. (2003).

V.P. Ivanitsky, M.Ju. Bobyk

## Method of Computer Micro-Photometric of Electron-Microscopic Pictures

*Uzhgorod national university*  
*Kapitulna str. 13, Uzhgorod, tel. 614417, E-mail: [ivanc@mail.uzgorod.ua](mailto:ivanc@mail.uzgorod.ua)*

The method computer two-dimensional micro-photometric electron-microscopic pictures with the subsequent digital processing the information is developed. On an example amorphous films opportunities of a method for reception of additional qualitative and especially quantitative information on structure of materials are shown. The method provides high reliability and quality of the received computer images and allows to define structure of objects additional quantitative parameters.

**Key words:** electron-microscopic, electron diffraction.