

CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE

Електронно-мікроскопічне дослідження «In situ» фазового перетворення в аморфних плівках $\text{Yb}_2\text{O}_2\text{S}$

Багмут Олександр Григорович¹, Багмут Іван Олександрович²

¹ доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики;
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; Україна

² Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем;
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; Україна

Незалежно від способу отримання аморфні плівки з різних матеріалів мають метастабільну природу. Отже, вони можуть спонтанно або внаслідок фізичних дій кристалізуватися, тобто переходити в більш стабільний кристалічний стан. Перехід не має фіксованої температури перетворення і може відбуватися з різною швидкістю в широкому діапазоні температур.

Метою даної роботи є дослідження структури та кінетики кристалізації аморфних плівок $\text{Yb}_2\text{O}_2\text{S}$. Просвічувальна електронна мікроскопія з відео реєстрацією структурної еволюції "in situ" дає можливість це зробити, оскільки по кадровий аналіз відео дозволяє вимірювати в реальному часі зміни кількості та розміру кристалів, що ростуть в аморфній плівці [1].

Доведено, що аморфні плівки $\text{Yb}_2\text{O}_2\text{S}$ формуються на підкладках при кімнатній температурі в процесі електронно-променевого випаровування YbS у вакуумі та подальшого окислення при відділенні плівки від підкладки в дистильованій воді. Електронне опромінення викликає їх кристалізацію з утворенням мікро кристалів $\text{Yb}_2\text{O}_2\text{S}$ з гексагональною кристалічною решіткою.

Залежність від часу густини центрів кристалізації $N(t)$ наведена на рис. 1г. Пряму будували методом найменших квадратів за даними вимірювань N . Коефіцієнт кореляції, що характеризує тісноту лінійного зв'язку між N і t , близький до одиниці. Має місце лінійна залежність:

CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE

$$N = (3.93 \cdot 10^8 t + 9.54 \cdot 10^7) \text{ cm}^{-2} \quad (1)$$

Відповідно до (1) швидкість зародження $\alpha = N'_t$ (тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис) дорівнює $3.93 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Залежність від часу середнього діаметра кристала $\langle D \rangle$ показано на рис. 1д. Має місце лінійна залежність:

$$\langle D \rangle = 0.297t + 0.1504 \text{ мкм} \quad (2)$$

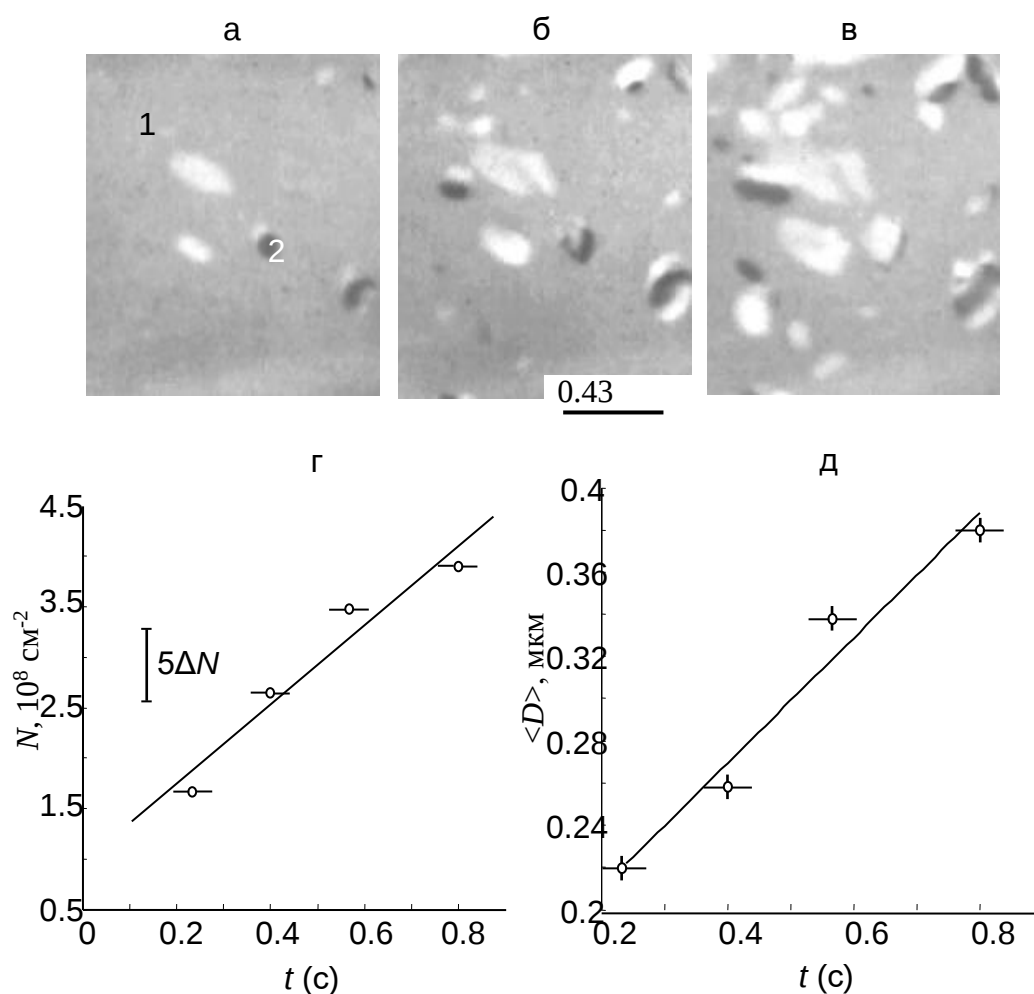


Рисунок 1
ілюструє кристалізацію аморфної плівки $\text{Yb}_2\text{O}_3\text{S}$. Мікрофотографії
відповідають періодам часу t , що минув після початку відеозапису:
(а) $t = 1.40 \text{ с}$; (б) $t = 2.03 \text{ с}$; (в) $t = 2.80 \text{ с}$.

Відповідно до (2) середня тангенціальна швидкість росту кристала $\langle v_t \rangle$ (визначена як похідна від середнього діаметра

CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE

кристала з часом $\langle D \rangle'_t$) становить $0.297 \text{ мкм} \cdot \text{с}^{-1}$.

На рис. 2а показано залежність від часу долі кристалічної фракції $x(t)$. Експериментальні дані в координатах $\ln[-\ln(1-x)] - \ln t$ утворюють пряму лінію (рис. 2б). Цей факт свідчить про застосовність до процесу фазового перетворення формули Джонсона-Мейла-Аврамі-Колмогорова (ДМАК) [2].

$$x = 1 - \exp(-nt^k), \quad (3)$$

де k – коефіцієнт Аврамі (порядок реакції), а n – ефективна константа швидкості, що описує як зародження, так і зростання. [2, 3]. Для їх визначення вираз (3) записали у вигляді

$$\ln[-\ln(1-x)] = k \ln t + \ln n. \quad (4)$$

Відповідно до (4) і рис. 2б тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис $k = 1.8$. Точка перетину з віссю ординат $\ln n = -0.7$ і $n = 0.5$. Випадок $\alpha = \text{const}$ і $\langle v_r \rangle = \text{const}$ відповідає моделі Колмогорова (так званий α -варіант К-моделі) [4]. У випадку β -версії К-моделі $\alpha(t) = \beta \delta(t)$, де $\delta(t)$ – функція Дірака, а β – густина центрів кристалізації. З урахуванням числових значень k і n (3) крива на рис. 2а буде відповідати рівнянню:

$$x = 1 - \exp(-0.5t^{1.8}). \quad (5)$$

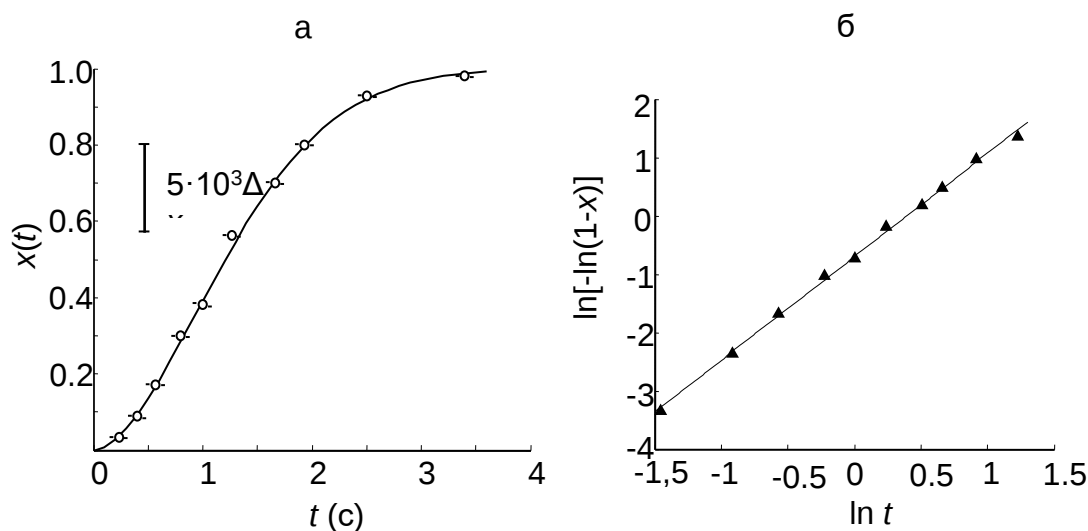


Рисунок 3

(а) Залежність від часу долі кристалічної фракції $x(t)$. (б) Залежність $\ln[-\ln(1-x)]$ від $\ln t$. Похибка $\Delta x = 2,5 \cdot 10^{-4}$

CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE

References:

- [1] A.G. Bagmut, I.A. Bagmut, Journal of Non-Crystalline Solids, 547, 120286. (2020).
- [2] G. Ruitenberg, A.K. Petford-Long, R.C. Doole, J. Appl. Phys., 2, 3116 (2002).
- [3] N. Ohshima, J. Appl. Phys., 79, 8357 (1996).
- [4] A.N. Kolmogorov, Izv. Acad. Sci. USSR, Ser. Math., 1, 355 (1937).