

УДК 621.315.592

Г.С. Байцар, О.Г. Миколайчук, Б.П. Яцишин¹
**Вплив технологічних факторів на електрофізичні
властивості тонких плівок
РЗМ-перехідний метал-напівпровідник**

*Львівський національний університет ім. Ів. Франка,
79000, Україна, Львів-центр, вул. Університетська 1,
кафедра фізики металів, тел. 794-763.*

¹*Львівська комерційна академія,
79008, Україна, Львів, вул. Туган-Барановського, 10,
кафедра хімії та фізики, тел 797-627,
E-mail: ecofizbo@iac.lviv.ua*

Досліджено особливості температурної залежності електропровідності аморфних та закристилізованих плівок рідкоземельний метал (РЗМ: Sc, La, Y, Hf, Ce) – перехідний метал (ПМ: Fe, Co, Ni) – напівпровідник (НП: Ge), які отримали методом узгодженого випаровування компонент. Показана залежність електрофізичних властивостей від технологічних факторів отримання, складу та вмісту компонент.

Ключові слова: тонкі плівки, рідкоземельні матеріали, електропровідність.

Стаття поступила до редакції 21.05.2001; прийнята до друку 27.05.2001

I. Вступ

Кристалохімічні характеристики сполук (РЗМ)-перехідний метал (ПМ)-напівпровідник (НП) досліджувались багатьма авторами [1-3]. Проте в літературі відсутні дані про фізичні властивості тонкопліткових матеріалів даних з'єднань – температуру кристалізації, фазові перетворення, електропровідність та термоелектрорушійну силу в аморфному та кристалічному стані, зміну зонної структури тощо.

Тонкопліткові матеріали РЗМ-Me-Ge можна отримувати в аморфному та кристалічному стані, залежно від вибору умов отримання та хімічного складу. В аморфних плівках склад можна змінювати в широких межах в границях однофазного стану. Це дозволяє досліджувати особливості їх електронної структури в

межах термічної стабільності аморфної фази. Додаток рідкоземельного матеріалу дозволяє значно розширити діапазон термічної стабільності аморфного конденсату та змінити особливості формування валентної зони неупорядкованих сплавів. Кристалічні конденсати можна отримати двома шляхами – кристалізацією аморфної речовини і безпосередньо при осадженні на підкладку з температурою, яка вища кристалізаційної.

II. Експериментальні дані

Метою цієї роботи було вивчення електрофізичних властивостей аморфних та закристилізованих (отриманих кристалізацією з аморфної фази) конденсатів рідкоземельний метал (РЗМ: Sc, La, Y, Hf, Ce)-

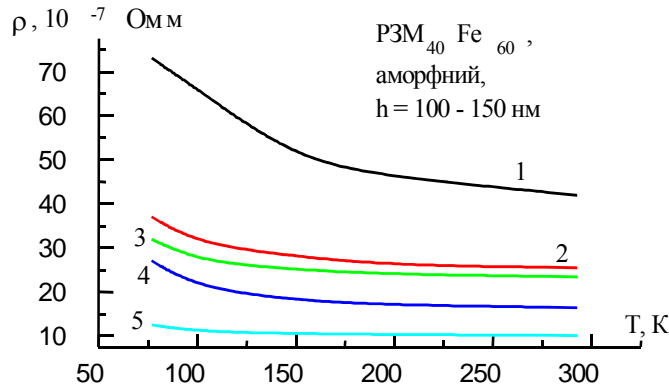


Рис. 1. Температурна залежність питомої електропровідності аморфних плівок $PZM_{40}Fe_{60}$, отриманих методом узгодженого випаровування з швидкістю росту $v_p = 20$ нм/с (1-4) та $v_p = 5$ нм/с (5). РЗМ: 1 – Се; 2, 5 – Y; 3 – Sc; 4 – La.

перехідний метал (ПМ: Fe, Co, Ni)-напівпровідник (НП: Ge), отриманих методом узгодженого випаровування сплавів у вакуумі $2 \cdot 10^{-3}$ Па та швидкості конденсації від 4 до 30 нм/с на ситалових підкладках. Як об'єкти досліджень були взяті сплави з вмістом перехідного металу до 25-34 ат.%, які мали схильність до аморфізації. В якості вихідних матеріалів для отримання сплавів використовували германій напівпровідникової чистоти, карбонільне залізо, електролітично очищений нікель та РЗ матеріали марки ОСЧ. Товщина отриманих плівок контролювалась під час конденсації по номіналу опору з допомогою приладу В7-20. Контрольні вимірювання товщини проводили на мікроскопі МІИ-4 після евакуації підкладки з вакуумної камери. Вимірювання температури підкладки здійснювалось за допомогою термопар хромель-алюмель, яка була приєднана до

вимірювального приладу ВК 2-20.

Електронномікроскопічні дослідження проводили на мікроскопі УЭМВ-100К.

III. Результати

Температурна залежність електроопору більшості аморфних конденсатів РЗМ-ПМ, отриманих при великих термодинамічних пересиченнях і швидкостях росту ($v_p \geq 10$ нм/с), характеризувалась незначним зростанням величини питомого опору до азотних температур. У плівках з вмістом Се, спостерігалось значне збільшення питомого опору (рис. 1).

Кристалізація плівок, отриманих у різних термодинамічних умовах, має особливості: при великих значеннях v_p процес кристалізації відбувався лавиноподібно, при малих v_p – поетапно, з переходами в різні метастабільні стани (рис. 2).

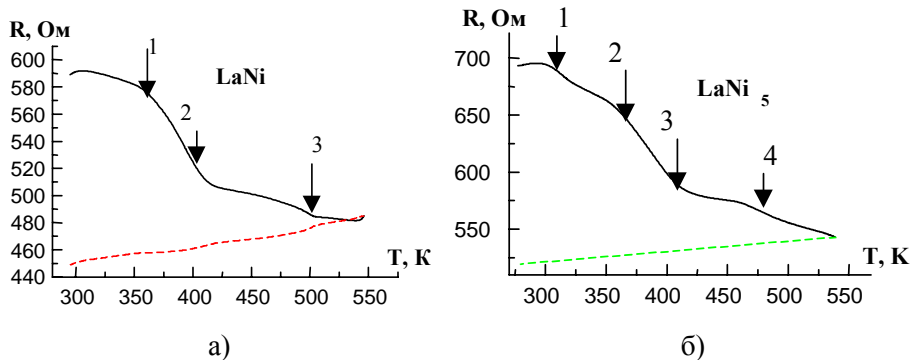


Рис. 2. Температурна залежність електроопору плівок LaNi (а) та LaNi₅ (б) ($h = 100$ нм; $v_p = 5$ нм/с). — — нагрівання; ---- — охолодження.

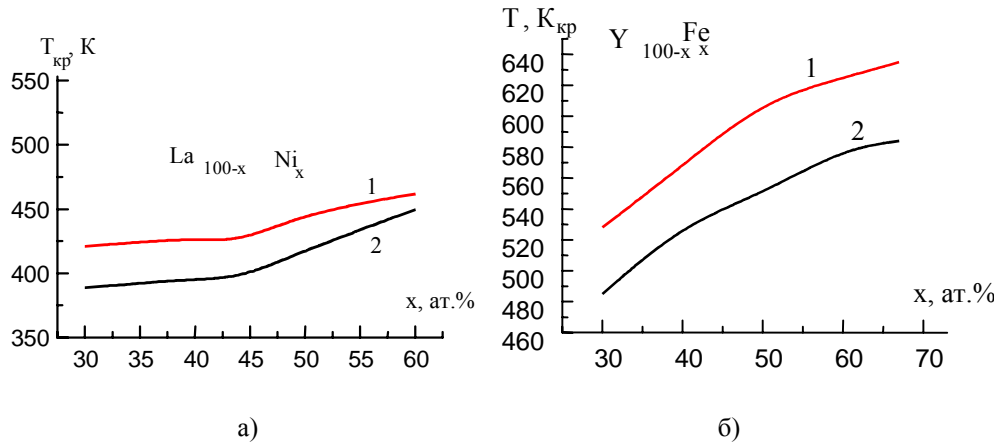


Рис. 3. Концентраційна залежність температур кристалізації плівок РЗМ-ПМ (а – La-Ni; б – Y-Fe), отриманих при різних швидкостях росту (1 – $v_p = 5$ нм/с; 2 – $v_p = 20$ нм/с; $h = 100$ нм).

При цьому, температура кристалізації конденсатів, отриманих при малих швидкостях росту, зміщувалась в сторону вищих температур.

Температурна залежність для трійних сплавів РЗМ-ПМ-Ge, носить досить складний характер (рис. 4), а температура кристалізації залежить від вмісту Ge (рис. 5).

Аномальні температурні залежності питомого електроопору спостерігались у закристалізованих РЗМ-ПМ плівок, отриманих при малих величинах термодинамічних пересичень. При цьому, максимальні відхилення електроопору відносились до конденсатів з Ce та La та спостерігались при різних температурах, що може вказувати на різну природу їх

походження.

IV. Обговорення результатів вимірювань та висновки

Кристалізація аморфного конденсату проходила в різних температурних діапазонах, в залежності від таких параметрів як концентраційного вмісту компонент, товщини плівки та умов її отримання, тощо.

Всі закристалізовані плівки мали дрібнозернисту структуру, незалежно від умов напilenня. Однак, в плівках з вмістом лантану, які отримували при малих швидкостях осадження, спостерігалося часткове окислення компонент.

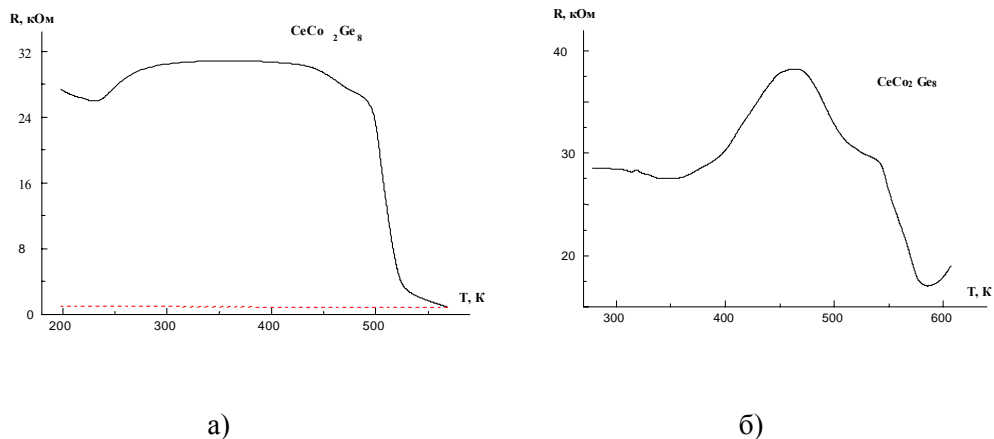


Рис. 4. Температурна залежність електроопору плівок $CeCo_2Ge_8$, отриманих з швидкостями конденсації $v_p = 20$ нм/с (а) та $v_p = 5$ нм/с (б). $h = 100$ нм.

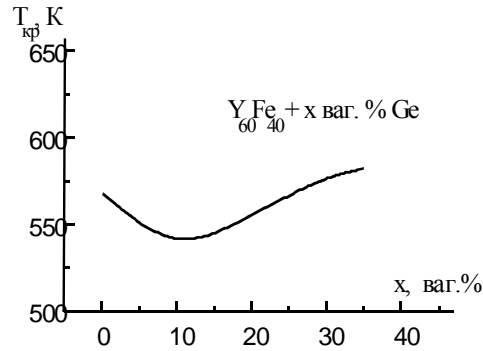


Рис. 5. Концентраційна залежність температур кристалізації плівок Y-Fe-Ge. $h = 100$ нм.

У закристалізованих плівках проявляються аномалії температурного ходу питомого електроопору – в конденсатах з Се більше, а з іншими рідкоземельними елементами – менше виражені. Така особливість вияву електрофізичних властивостей зрозуміла з врахуванням тривалентної d^1s^2 лантанодної електронної конфігурації: Sc ($3d^1 4s^2$), Y ($4d^1 5s^2$), La ($5d^1 6s^2$).

У всіх зразках з РЗМ проявлялась кореляція в формуванні структури та низькотемпературними характеристиками – аморфні плівки, отримані при малих швидкостях росту, проявляли роздільну фазну кристалізацію з переходом в кілька метастабільних станів і саме в таких конденсатах найбільш чітко виявлялись резистивні низькотемпературні аномалії.

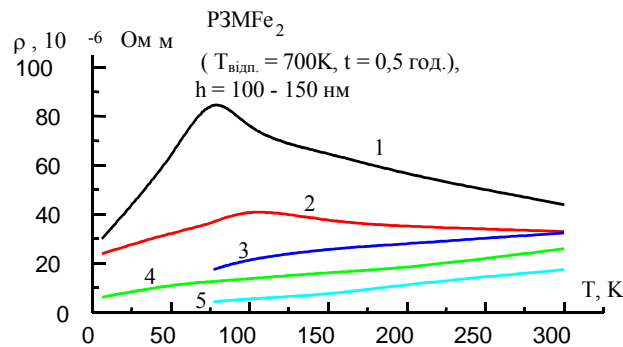


Рис. 6. Температурні залежності питомого електроопору закристалізованих конденсатів РЗМ Fe₂ (1 – Се; 2, 3 – La; 4 – Y; 5 – Sc), отриманих з швидкостями росту $v_p = 5$ нм/с (1,2,4,5) та $v_p = 20$ нм/с (3).

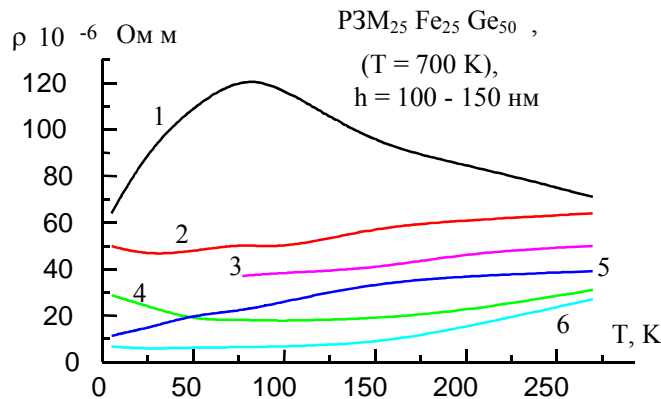


Рис. 7. Температурні залежності питомого електроопору закристалізованих конденсатів РЗМ₂₅ Fe₂₅Ge₅₀ (1 - Се; 3 - Y; 4 - Sc; 5,6 - La) та Ce₁₀La₁₅Fe₂₅Ge₅₀, отриманих з швидкостями росту $v_p = 5$ нм/с (1 - 5) та $v_p = 20$ нм/с (6).

Таким чином, утворення, термо-стабільність і фізичні властивості тонкоплівкових матеріалів на основі рідкоземельних сплавів перебувають в прямій кореляції від умов напilenня, а аномальні температурні залежності можуть підсилюватись або знижуватись тими збуджуючими факторами, які, перш за все, призводять до змін електронної структури,

особливостями гібридизації s- та d-станів. Порівнювання температурних залежностей електроопору конденсатів на основі лантану та інших тонкоплівкових матеріалів дає змогу передбачити унікальні різноманітні характеристики матеріалів на основі РЗМ з високою термочутливістю, термічною стабільністю та надпровідністю [5, 9, 10].

- [1] Е.И. Гладышевский, О.И. Бодак. *Кристаллохимия интерметаллических соединений редкоземельных металлов*. Вища школа, Львов. 265 с. (1982).
- [2] О.И. Бодак, Е.И. Гладышевский. *Тройные системы, содержащие редкоземельные металлы. Справочни*. Вища школа, Львов. 520 с. (1985).
- [3] В.И. Яровец, Ю.К. Гореленко. Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства соединений RNiGe и RCoGe (R – Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). *Четвертая Всесоюзная конференция по кристаллохимии интерметаллических соединений*. Львов, сс. 94-95 (1983).
- [4] З. Метфессель, Д. Маттис. *Магнитные полупроводники*. Мир, М. 405 с. (1972)
- [5] D. Wohlleben, B. Wittershagen. Resistivity anomalies due to valence fluctuations // *Advances in Physics*, **34**(3), pp. 403 – 443 (1985).
- [6] J.M.D. Coey, A. Liénard, J.P. Reonllet et al. Amorphous yttrium-iron alloys. The influence of hydrogen // *J. Phys. F.*, **18**(6), pp. 1299-1310 (1988)
- [7] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах*. Мир, М. 250 с. (1982).
- [8] О.Г. Миколайчук, С.П. Яцишин, А.С. Байцар, Б.П. Яцишин. Електрофізичні властивості аморфних плівок, осаджених в полях // *Доп. АН УРСР. Сер. А. Фіз.-мат. та техн. науки*. (11), сс. 56-59 (1989).
- [9] Н.І. Доманцевич, Б.П. Яцишин. Електрофізичні властивості плівок Sc-Al-Ge при низьких температурах // *Матер. конф. проф.-викл. складу Льв. комерц. академії*. Львів, сс.246-247 (1996).
- [10] E. Gratz, E. Bauer, H. Novotny et al. Temperature dependence of the electrical resistivity of REFe₂ compounds // *Solid State Commun.* **69**(10), pp.1007-1010 (1989).

G.S. Bajtzar, O.G. Mikolajchuk, B.P. Yatsyshyn¹

The Influence of the Technological Factors on the Physical Properties of Thin Films Me-Ge-REM

*Ivan Franko Lviv National University,
79000, Ukraine, Lviv, 1, University Str., tel. 794-763;*

¹*Lviv Comercial Academy,
79008, Ukraine, Lviv, 10, Tugan-Baranovsky St., tel. 797-627, E-mail: ecofizbo@lac.lviv.ua*

The temperature dependences of the conductivity, temperature and kinetics of amorphous-crystalline transformation have been studied in rare-earth-transition metal-germanium thin films.