

УДК 539.213+539.25

Б.П. Яцишин

Особливості електричних властивостей плівок $Me - Ge$, отриманих в електричному полі при низьких температурах

*Львівська комерційна академія, кафедра хімії та фізики, тел.
79008, Львів, вул. Туган-Барановського, 10. (0322) 79-76-27, E-mail: ecofizbo@iac.lviv.ua*

Проведено вимірювання температурної залежності електропровідності гранульованих тонких плівок $Al - Ge$. Показано, що конденсація в електричному полі приводить до зміщення температур, при яких відбуваються переходи між механізмами провідності, що виявляється у змінах в ході температурної залежності електропровідності. Проаналізовано відмінності електрофізичних властивостей аморфних плівок, отриманих в полі і поза полем, використавши для цього дані попередніх робіт по дослідженню конденсатів $ScFeGe_2$.

Ключові слова: тонкі плівки, умови отримання, механізми провідності.

Стаття постуила до редакції 26.11.2000р., прийнята до друку 1.12.2000.

І. Вступ.

Надпровідність аморфних конденсатів - одне з унікальних явищ електронного переносу, що об'єднує ефекти локалізації і тунелювання. Тому у вивченні електрофізичних властивостей аморфних конденсатів, які мають велику кількість метастабільних станів, проглядається можливість підтвердження тих теоретичних пошуків, в яких моделюються процеси переносу для всіх класів речовин і відкриваються перспективи системного дослідження великого об'єму матеріалів з широким спектром властивостей [1,2].

Конденсація в електричному і магнітному полях дає можливість планово змінювати структурний стан матеріалу, електричні властивості, кінетичні параметри (температуру та швидкість кристалізації) і суттєво впливати на процеси переносу [3-5]. Саме тому дослідження процесів переносу та явища надпровідності аморфних

конденсатів, отриманих в полях, заслуговують на беззаперечну увагу.

Більш ранніми дослідженнями аморфних конденсатів $ScFeGe_2$ було встановлено зміну температурного ходу залежності електропровідності плівок, отриманих в полях, порівняно з плівками, отриманими поза полем [6]. Спостерігалось збільшення питомої електропровідності плівок, отриманих в полях, а математичне моделювання процесів переносу вказувало на відповідність до теорії Мотта-Девіса, згідно з якою зміну провідності аморфних зразків при зменшенні температури можна описати зонною моделлю з локалізованими станами в забороненій зоні. Відповідно проходили відносні зміни вкладів у електропровідність від стрибкових механізмів переносу і зонних процесів. В [7,8] вивчали електропровідність тонкоплівкових зразків $Al - Ge$, відомих як

гранульовані плівки. Отримані температурні залежності електропровідності були охарактеризовані як перехід напівпровідник-надпровідник. При цьому вказувалось, що режим строгої локалізації характеризувався експоненціальною температурною залежністю електроопору і опереджав режим надпровідності конденсатів, описувався формулою:

$$R(t) \sim R_0 \exp \left[\left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \right].$$

Зразок 67,7% Al – Ge був визначений як граничний, в якому, згідно з температурною зміною електропровідності, спостерігали чисто ізоляційні властивості при кімнатній температурі, режим строгої локалізації - при пониженні температури, а в наступному - перехід напівпровідник-надпровідник.

Метою досліджень було проведення додаткового аналізу та оцінка змін електрофізичних властивостей аморфних конденсатів Sc-Fe-Ge, отриманих в полях, а також визначення впливу електричного поля, прикладеного паралельно ізотропній підкладці під час конденсації, на електричні властивості гранульованих плівок Al-Ge при низьких температурах.

II. Методика експерименту

Гранульовані конденсати Al-Ge отримували методом узгодженого випаровування компонент у вакуумі 10^{-3} Па. Вихідними матеріалами для приготування зразків служили германій напівпровідникової чистоти та електролітично очищений алюміній. Конденсацію проводили на ситалові підкладки при кімнатній температурі зі швидкістю 2 - 10 нм/с. Електричне поле, напруженістю $E=2,5 \times 10^4$ В/м, накладалось паралельно підкладці. Товщина плівок контролювалась на мікроінтерферометрі МІІ-4 і становила $h = 100 - 500$ нм. Температурна залежність електропровідності та перехід в надпровідниковий стан досліджувались для гранульованих плівок Al-Ge з вмістом металу 65 ваг.% та 66,3 ваг.%. в гелієвому термостаті. Вимірювання проводились

приладом ЩЗ4 через кожні 5-10К в напрямку, який співпадав з лініями прикладеного під час конденсації електричного поля.

III. Результати експерименту.

Накладання полів в процесі конденсації привело до зміни ходу температурної залежності електропровідності, підвищенню значень температур переходів у надпровідниковий стан $T = 4,6$ К (рис. 1). При дослідженні зразків, отриманих поза полем, не був зафіксований перехід у надпровідниковий стан, що пов'язано як з складом матеріалу (досліджувались плівки із вмістом металу менше критичного) так і з технічними можливостями експерименту (досягалась найменша температура 4,2 К). Слід зауважити, що температура переходу в надпровідниковий стан масивного Al - 1,2 К, а гранульованих плівок Al-Ge, складу, що досліджували, отриманих без впливу полів - близько 1,8 К [8-10]. Не був виявлений, очікуваний для зразків даного складу, перехід напівпровідник-надпровідник: напівпровідниковий хід залежності електропровідності (зі спаданням σ) і наступний, при подальшому пониженні температури, різкий перехід до надпровідникової провідності. Такий ефект можна спостерігати при використанні

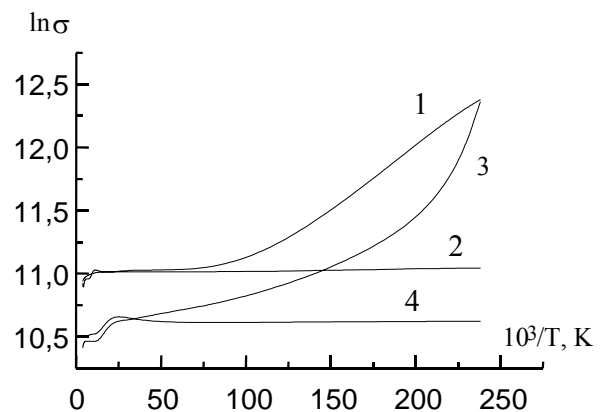


Рис. 1. Температурна залежність електропровідності плівок $Al_x Ge_{1-x}$, отриманих в електричному полі ($E = 2,5 \times 10^4$ В/м, криві 1,3) та поза полем (криві 2,4) при малих швидкостях росту $v_p = 5$ нм/с: 1,2 – $x = 0,663$; 3,4 – $x = 0,65$.

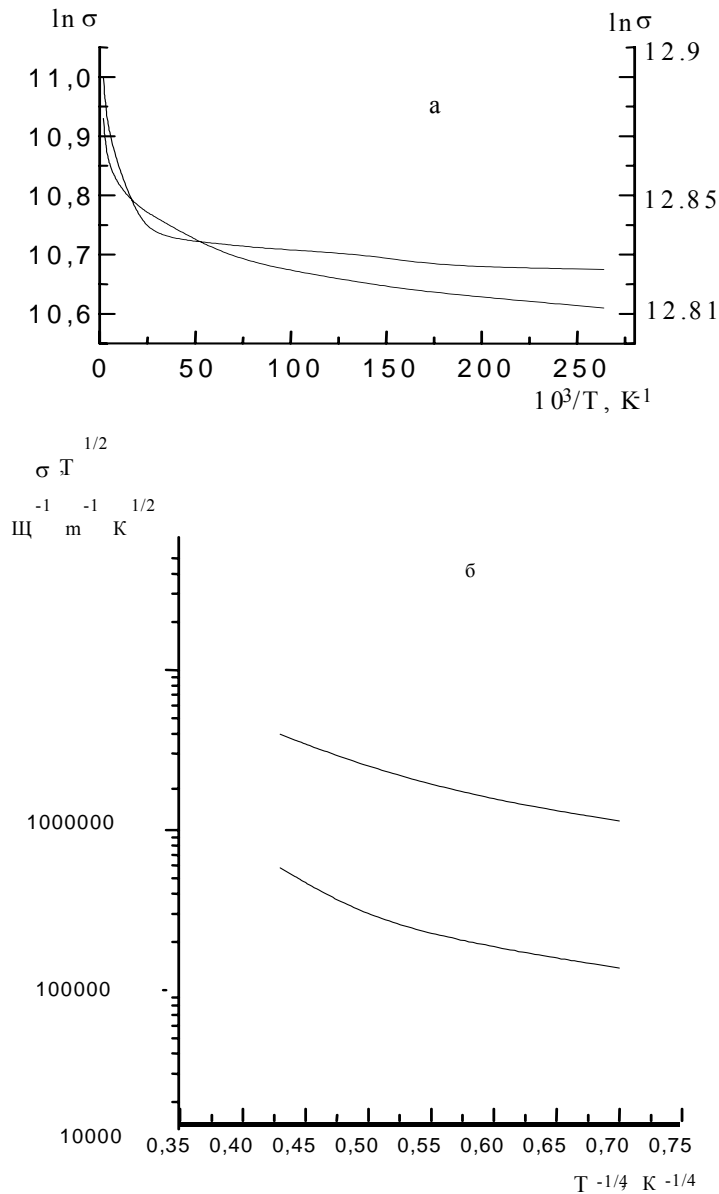


Рис. 2. Температурна залежність електропровідності плівок ScFeGe₂, отриманих в електричному полі ($E = 2,5 \times 10^4$ В/м, крива 1) та поза полем (крива 2) при малих швидкостях росту $v_p = 5$ нм/с (а), та розрахунковий графік температурної залежності електропровідності даних плівок, виконаний в координатах $\ln(\sigma T^{1/2})$ і $T^{-1/4}$ (б), з даних [6].

методики, яка б забезпечувала велику кількість вимірювань у вузькому температурному інтервалі, що, однак, погіршувало точність експерименту.

IV. Обговорення результатів

Використавши дані нашої роботи [6], було проведено додатковий аналіз, що дало можливість приблизно оцінити зміни в плівках, які приводять до варіації

електрофізичних властивостей (рис. 2). Представивши результати вимірювань електропровідності у вигляді графіку з координатами $\ln(\sigma T^{1/2}) \sim f(T^{-1/4})$, отримали змогу визначити значення σ_0 та T_0 у формулах Мотта [8, 11]:

$$\sigma = \sigma_0 T^{-1/2} \exp\left(-\frac{T_0}{T}\right)^{1/4},$$

$$\text{де } T_0 = \frac{18\alpha^3}{N(E_F)\kappa},$$

$$\sigma_o = 3 e^2 \gamma_{ph} \left(\frac{N(E_F)}{288\pi\alpha k} \right)^{1/2}.$$

Це дало змогу оцінити довжину стрибків носіїв при низьких температурах R, енергію переносу W та густину локалізованих станів на рівні Фермі N (E_F) (табл. 1):

$$R = \left(\frac{9}{8\pi N(E_F)\alpha k T} \right)^{1/4};$$

$$W = \frac{3}{8\pi R^3 N(E_F)};$$

$$N(E_F) = 4,29 \cdot 10^{50} T_o^{1/2} \frac{\sigma_o^3}{\gamma_{ph}},$$

де γ_{ph} - частотний фактор (10^{13}), α - постійна затухання хвильової функції локалізованих станів коло рівня Фермі ($\alpha^{-1} = 1$ нм), k - постійна Больцмана, e - заряд електрону. Якщо для плівок ScFeGe₂, отриманих поза полем, основний внесок у провідність вносять механізми: по нелокалізованих станах - в температурному діапазоні T>140K; стрибковий по локалізованих станах - в діапазоні 140 K>T>50K; стрибковий на рівні Фермі-активованій - при 50K>T>15K та зі змінною довжиною стрибка - при T<15K, то для конденсатів, отриманих в полях спостерігається зміщення діапазонів з превалюючими механізмами провідності. Так провідність по нелокалізованих станах для плівок ScFeGe₂, конденсованих в полі, мала місце при температурах T>190K, по

локалізованих коло країв зон - в інтервалі 190K>T>140K, активована на рівні Фермі - при 140K>T>50K та стрибкова зі змінною довжиною стрибка - при T<50K. В [6] вказувалось, що придушення механізму переносу носіїв по локалізованих станах біля країв зон і стимульований перехід від механізму переносу по нелокалізованих станах до переносу по локалізованих станах на рівні Фермі можливий за рахунок збільшення густини станів, зв'язаних з дефектами на рівні Фермі.

В аморфних конденсатах, отриманих при тих же умовах з накладанням полів, кількість локалізованих станів на рівні Фермі N (E_F) зростає, а довжина стрибків носіїв R та енергія переносу W зменшується (табл. 1).

Накладання електричного поля під час конденсації гранульованих плівок Al-Ge також, мабуть, приводить до ефектів, аналогічних виявленим у аморфних плівках, що виявляється у змінах електрофізичних властивостей конденсатів при вимірюваннях на низьких температурах. Зважаючи на характерні виявлення надпровідникового переходу та можливість прирівняти енергії тунелювання носіїв W_T між двома острівками-гранулами й енергію Джозефсона E_J в момент t, для зразків, які характеризуються як критичні, можна встановити різницю між двома електронними рівнями двох острівків δ , яка

Таблиця. 1.

Зміна густини станів на рівні Фермі в залежності від умов конденсації (при 4,2 K).

Плівка, умови	T _o	σ _o	N (E _F),	R	W
Отримання		Ом ⁻¹ см ⁻¹ К ^{1/2}	еВ ⁻¹ см ⁻³	$\overset{\circ}{A}$	еВ
ScFeGe ₂ ,					
поза полем	217	7x10 ³	2,17 x 10 ²⁴	8,2	2 x 10 ⁻⁴
ScFeGe ₂ ,					
в полі	99	7x10 ⁴	1,46 x 10 ²⁷	1,6	4 x 10 ⁻⁵

задовільняє вимогам надпровідності [8,12]:

$$\begin{aligned} W_T &= 2\pi |t|^2 \delta; \\ E_j &= \pi^2 |t|^2 \Delta_{T=0} / 2\delta^2; \\ \delta &= \pi/4 \Delta_{T=0}, \end{aligned}$$

де $\Delta_{T=0}$ - щільність по надпровідності при $T=0$ К.

Це дало змогу встановити критичні розміри островків $d_{кр}$ та оцінити можливі зміни температур переходів у надпровідниковий стан:

$$d_{кр} \geq \left(\frac{3}{\pi^2 N(E_F) \Delta_{T=0}} \right)^{1/3},$$

де $N(E_F)$ - густина станів на рівні Фермі зерен Al.

Для конденсатів Al-Ge умови переходу від режиму тунелювання до надпровідності виконуються при $d \geq 7,5$ нм. Напилення в електричному полі дозволяє забезпечити перехід при $d \geq 3,9$ нм.

Аналіз робіт [9,13,14] показує, що для аморфних і гранульованих плівок T_c зростає в основному за рахунок збільшення параметру електрон-фононої взаємодії, який залежить від густини станів на рівні Фермі. Однак пряме використання формул для підрахунку змін величини T_c (наприклад, по формулі Мак-Міллана) утруднене з-за складної методики визначення додаткових параметрів.

V. Висновки

Таким чином, дослідження електричних характеристик аморфних і гранульованих плівок, отриманих в електричних полях, вказує на велику важливість впливу умов

осадження на структуру та властивості конденсатів.

В аморфних конденсатах, отриманих в електричних полях, спостерігались зміни в електрофізичних характеристиках порівняно з конденсатами, отриманими поза полем – довжина стрибків та енергія переносу зменшувались, а кількість локалізованих станів на рівні Фермі зростали. Однією з причин збільшення густини локалізованих станів на рівні Фермі може бути дія електричного поля на конденсуємий матеріал, що приводило до збільшення дефектності неперервної випадкової сітки та кількості обірваних зв'язків при утворенні аморфних структур. Також не виключено вплив ефекту орієнтованого розміщення зародків вздовж ліній поля на що вказує анізотропія електрофізичних властивостей конденсатів, отриманих в полі, і направлений їх ріст при нагріванні поза полем [4,15].

Отримання гранульованих конденсатів Al-Ge в електричному полі приводить до зниження критеріїв переходу в надпровідниковий стан, що, можливо, пов'язано, як і у випадку з аморфними конденсатами, зі збільшенням густини станів на рівні Фермі $N(E_F)$ та орієнтованим розміщенням частини зародків.

Не виключено, що розроблення методу конденсування матеріалів в електричному чи магнітному полях можна застосувати для отримання високотемпературних надпровідникових аморфних структур.

- [1] S. Maekawa, H. Ebisawa, H. Fukuyama. Localization and superconductivity // *Techn. Rept. ISSP*, A (1528), pp.1-35(1985).
- [2] H. Fukuyama. Localization and superconductivity // *Techn. Rept. ISSP*, A (1472), pp. P.1-8 (1984).
- [3] Z.U. Borisova. Structural changes of glasses under the action of electric field // *Amorphous Semicond. '76 Proc. stat. Conf., Balatonfured*, pp.349-353, (1977).
- [4] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах*. Мир М.:, (1982).
- [5] Яцишин Б.П. Ориентированное размещение зародышей в аморфных пленках германидов железа // *Изв. вузов. Физика*, 11, сс. 104 – 106, (1984).
- [6] О.Г. Миколайчук, С.П. Яцишин, А.С. Байцар, Б.П. Яцишин. Електричні властивості аморфних плівок, осаджених в полях. // *Доп. АН УРСР. Сер. А. Фіз.-мат. та техн. науки*, 11, сс.56-59, (1989).
- [7] G. Deutsher. Structure and electronic properties of composite thin films // *Proc. 9 Int. Vac. Congr. and 5th Int. Conf. Solid Surface. Madrid*, pp.344-350, (1983).

- [8] Y. Shapira, G. Deutscher. Semiconductor-superconductor transition in granular Al-Ge // *Phys.Rev.B: Condens. Matter.*, **7**, pp. 4463-4466, (1983).
- [9] *Аморфные металлические сплавы // Под.ред. Люборского Ф.Е.. Пун С. Дж.* сс. 431-581, М.: Металлургия(1987).
- [10] Н.І. Доманцевич, Б.П. Яцишин Електричні властивості плівок Sc-Al-Ge при низьких температурах. // *Матер. конф.проф.-викл.складу Льв.комерц.академії*, Львів, сс.246-247 (1996).
- [11] Y. Cross Etude de la transition semiconductor-metal et des proprietes galvanomagnetiques des alliages amorphous Fe_x Ge_{1-x}. // *These. doct. sci. phys. Univ. sci. et med. Inst. nat. polytechn. Grenoble.*, (1980).
- [12] Y. Imry, M. Strongin Destruction of superconductivity in granular and highly disorder metals // *Phys. Rev. B: Condens. matter.*, **24** (11), pp. 6353 – 6360 (1981).
- [13] И.В. Золотухин. *Физические свойства аморфных металлических материалов.* – М.: Металлургия (1986).
- [14] E. Simanek. Effects of charging energy on transition temperature of granular superconductors // *Solid State Com.*, **31** (6) , pp. 419 – 421 (1979).
- [15] Р.А. Жилинскас, А.Ю. Ивашаускас. Анизотропия в конденсатах, полученных в электрическом поле // *Liet. fiz. rinkinys, Lum. физ. сб.*, **18** (2), сс.265-271 (1978).

B.P. Yatsyshyn

Peculiarity of low-temperature electrical properties of thin films Me – Ge, growing in electrical field

*Lviv Comercial Academy, department of the chemistry and physics,
79008, Ukraine, Tugan-Baranovscy str., 10*

The temperature dependence of electrical conductivity of granulate thin films Al-Ge were investigate. It is shown, that the occurrence of the changes in transition mechanism of conductivity is governed by the condition of condensation – present or absent of the electrical field. Similar results are also found in amorphous thin films ScFeGe₂, condensed in electrical field.