

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2018**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 05–09 лютого 2018 року)



Суми  
Сумський державний університет  
2018

## Кореляція між електрофізичними властивостями і ступенем ентропійності плівкових сплавів

Однодворець Л.В., *професор*; Подуремне Д.В., *мол. наук. співроб.*;  
Проценко І.Ю., *професор*; Шумакова Н.І., *доцент*;  
Шабельник Ю.М., *ст. викладач*  
Сумський державний університет, м. Суми

Інтенсивні властивості останніх років механічних і магнітних властивостей високоентропійних сплавів (ВЕС) у вигляді масивних зразків дозволяють зробити висновок про унікальність їх властивостей. Оскільки тонкоплівкові матеріали мають свої структурні особливості у порівнянні із масивними зразками, то нами започатковані [1, 2] дослідження електрофізичних (ТКО) і магніторезистивних властивостей плівкових ВЕС на основі феромагнітних (Fe, Ni, Co), ГЦК (Al, Cu) та ОЦК (Cr) металів.

Зразки загальною товщиною  $d \cong 30 - 80$  нм отримувалися у вакуумі  $10^{-4}$  Па методом пошарової конденсації із наступною термообробкою до 600 К. Як у вихідних, так і у відпалених зразках ВЕС мають ГЦК решітку ( $a = 0,3604$  нм) із слідами ОЦК фази, параметр якої близький до параметрів решітки як  $\alpha$ -Fe або ОЦК Cr, так і твердого розчину  $\alpha$ -Fe(Cr). Концентрація компонентів оцінювалась розрахунковим методом на основі значень товщини окремих шарів, виміряних кварцовим резонатором, і уточнювалась методом енергодисперсійного аналізу. Нами встановлено, що використання як одного із шарів плівки пермалою не приводить до помітної зміни властивостей, що можна пояснити дисоціацією комплексів із атомів Ni і Fe у процесі конденсації. Особливість наших досліджень полягає також у спробі встановити кореляцію ТКО і ступеня ентропійності. Згідно загальноприйнятої класифікації ([3]) дво- і три- або чотирикомпонентні сплави відносяться відповідно до низько- і середньоентропійних сплавів. Ці два класи сплавів нами отримувались за тією ж методикою, що і високоентропійні. Значення ТКО для ВЕС наведені в табл. 1.

Також слід відмітити, що в наших дослідженнях важливе значення має кількість шарів у плівковій системі, оскільки інтерфейсне розсіювання електронів дає дуже великий внесок у величину опору і, відповідно, ТКО. Виходячи із означення  $\text{ТКО} = (1/\rho) (\partial\rho/\partial T)$ , можна стверджувати, що деяке температурне зростання  $\partial\rho/\partial T$  пов'язане із

Таблиця 1 – ТКО високоентропійних сплавів

№	Зразок (товщина, нм)	Концент-рація, ат.%	ТКО·10 <sup>3</sup> , К <sup>-1</sup> при 300 К
1	Al(4)/Cu(3,2)/Co(4,5)/Cr(5,2)/Fe(4,7)/Ni(4)/П (П – підкладка)	11/13/19/ 20/19/17/П	2,0
2	Cr(7,5)/Al(4,5)/Co(7,3)/Cu(4,8)/Ni(7)/Fe(7)/П	19/8/21/12/19/19/П	1,8
3	Cu(10)/Co(9)/Cr(10)/Ni <sub>0,75</sub> Fe <sub>0,25</sub> /Al(12)/П	18/17/17/24,8/15/П	1,6
4	Cu(32)/Co(9)/Cr(10)/Ni <sub>0,8</sub> Fe <sub>0,2</sub> (19)/Al(12)/П	32/15/16/24,8/14/П	1,8

збільшенням величини  $\rho$ , обумовленого інтерфейсним розсіюванням електронів провідності у плівкових зразках. Дані таблиці 2 дозволяють порівняти між собою величину ТКО ВЕС (таблиця 1) із величиною ТКО низько- і середньоентропійних сплавів (таблиця 2).

Таблиця 2 – ТКО низько- і середньоентропійних сплавів

№	Зразок (товщина, нм)	Концентрація, ат.%	ТКО·10 <sup>3</sup> , К <sup>-1</sup> при 300 К
1	Ni(30)/Cr(45)/П	42/58/П	1,61
2	Pd(40)/Fe(40)/П Fe(30)/Pd(20)/Fe(30)/П	44/56/П 20/80(Fe)/П	0,85 2,00
3	Cr(48)/Cu(55)/П Cu(30)/Cr(25)/Cu(45)/П Cr(30)/Cu(30)/Cr(30)/Cu(30)/П	46/54/П 25/75(Cu)/П 50/50(Cu)/П	1,69 1,35 1,83
4	Cr(10)/Fe(9)/Ni(10)/П	34/30/36/П	1,20
5	Ni(20)/Co(12)/Ni(20)/П	23/77(Ni)/П	1,90
6	Ni(30)/Co(30)/Cr(30)/П	35/34/31/П	2,45
7	Co(30)/Cr(30)/Ni(30)/Co(30)/П	47/26/27(Co)/П	1,47

Отримані результати дозволяють зробити якісний висновок про зменшення величини ТКО при зростанні ступеня ентропійності плівкових сплавів.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України (2018 – 2020 рр.).

1. S.I.Vorobiov, D.M.Kondrakhova, S.O.Nepijko, D.V.Poduremne, N.I.Shumakova, I.Yu. Protsenko, *J. Nano- Electron. Phys.* **8**, 03026 (2016).
2. Ю.С.Березняк, Д.В.Подуремне, І.Ю.Проценко, І.І. Шмук, *Матеріали XIII Міжнародної конференції «Фізичні явища в твердих тілах»*, 45 (2017).
3. Y.Zhang, Y.Zhou, *Materials Science Forum* **561 – 565**, 1337 (2007).