

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2017**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 17–21 квітня 2017 року)



Суми  
Сумський державний університет  
2017

## **Альтернативна методика формування високоентропійних сплавів та їх термо- і магніторезистивні властивості**

Подуремне Д.В., *аспірант*; Мельничук О.В., *магістрант*;  
Швидченко А.В., *магістрант*; Воробйов С.І., *молодий науковий співробітник*

Сумський державний університет, м. Суми

В останнє десятиліття проводяться інтенсивні дослідження кристалічної структури і механічних властивостей нового класу матеріалів – високоентропійних сплавів (ВЕС). Так, ВЕСи, маючи в своєму складі елементи з різною кристалічною структурою, валентністю і електронегативністю, кристалізуються переважно з утворенням твердих розчинів (т.р.) заміщення на основі ОЦК- або ГЦК-фаз, що пов'язано з високою конфігураційною ентропією змішування ( $\Delta S_{\text{зм}} > 11$  Дж/моль·К). Складна структура на макроскопічному і атомному рівнях може призвести до появи широкого спектру нових, унікальних з точки зору практичного використання, властивостей.

На даний момент у літературі майже відсутня інформація про дослідження фізичних властивостей ВЕСів у плівковому стані. Тому, дослідження таких систем товщиною до 100 нм представляє інтерес як з фундаментальної, так і з прикладної точки зору.

Для дослідження була вибрана багатокомпонентна система на основі Al, Cr, Co, Ni, Fe і Cu, що обумовлено: по-перше, великим об'ємом літературних даних про структурно-фазовий стан та фізичні і механічні властивості вищевказаної системи у масивному стані; по-друге, змінюючи концентрацію однієї з компонент можливо суттєво змінювати її структурно-фазовий стан (наприклад, у залежності від концентрації міді у такій системі можуть формуватися т.р. з ОЦК кристалічною решіткою; ОЦК+ГЦК; ОЦК+ГЦК1+ГЦК2), що в свою чергу дасть змогу прогнозувати і змінювати фізичні та механічні властивості плівкових матеріалів.

Очікується, що наявність феромагнітних елементів з високими магнітними моментами дозволить розглядати такі ВЕСи, як новий клас магнітом'яких магнітних матеріалів з високою намагніченістю насичення (для збільшення потужності), а застосування таких компонент, як Al і Cu дозволить зменшити питомий електричний опір (для зменшення втрат на вихрові струми) плівкових систем. Поряд із

цим ВЕСи мають високу термічну стабільність, корозійну стійкість і механічну міцність та гарно підлягають обробці.

Запропонована нами методика отримання ВЕСів заснована на пошаровій конденсації компонент електронно-променевим методом з середньою швидкістю осадження  $\omega = 0,05 - 0,08$  нм/с. Товщина шарів контролювалась методом кварцового резонатора. Дослідження структурно-фазового стану проводилось методом просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ-125К). Концентрація отриманих сплавів уточнювалась за допомогою EDX аналізу (Tescan-VEGA 3).

Отримана плівкова система мала конфігурацію Cu(9,5)Co(9)/Cr(9,5)/Fe(9,5)/Ni(9)/Al(13)/П (П – підкладка, у дужках вказана товщина в нм), концентрація компонент становила 16,5/17/16,5/16,5/16,5/17/П ат.% відповідно. Проведений EDX аналіз показав рівномірне розподілення компонент по всьому об'єму плівки та невелике відхилення від розрахованого значення концентрації компонент, порядку 0,2 - 0,3 ат. %.

Розшифровка електронограм від плівок ВЕСів у свіжосконденсованому стані вказує на присутність трьох фаз ОЦК, ГЦК1 та ГЦК2. Наявність двох ГЦК фаз може свідчити про незакінченість формування т.р. ВЕСу. Слід відмітити, що дані плівки характеризуються дрібнодисперсною кристалічною структурою (середній розмір кристалітів не перевищує 10 нм). Для гомогенізації сплаву проведена термообробка до  $T_b = 850$  К у вакуумі протягом 40 хвилин, у результаті чого формується т.р. ВЕСу із ГЦК решіткою. Таким чином, після термообробки ВЕС характеризується наявністю двох фаз ГЦК та ОЦК.

Дослідження терморезистивних властивостей показали, що система характеризується відносно великим значенням температурного коефіцієнту опору ( $\sim 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ) і має питомий опір порядку  $\rho \sim 10^{-6}$  Ом·м. Такі результати пов'язані із наявністю у системі великої кількості дефектів кристалічної будови. Вивчення магніторезистивних властивостей вказують на те, що як у свіжосконденсованому стані, так і після термообробки, у сплаві реалізується анізотропний магнітоопір, величина якого не перевищує 0,2%.

Робота виконана в рамках держбюджетної НДР № 0115U000689.

Керівник: Проценко І.Ю., *професор*.