УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **147158** (13) **U**

(51) МПК
G01B 7/16 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2020 08069**

(22) Дата подання заявки: **17.12.2020**

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **15.04.2021**

(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **14.04.2021, Бюл.№ 15**

(72) Винахідник(и):
Однодворець Лариса Валентинівна (UA),
Проценко Іван Юхимович (UA),
Шабельник Юрій Михайлович (UA),
Шумакова Наталія Іванівна (UA)

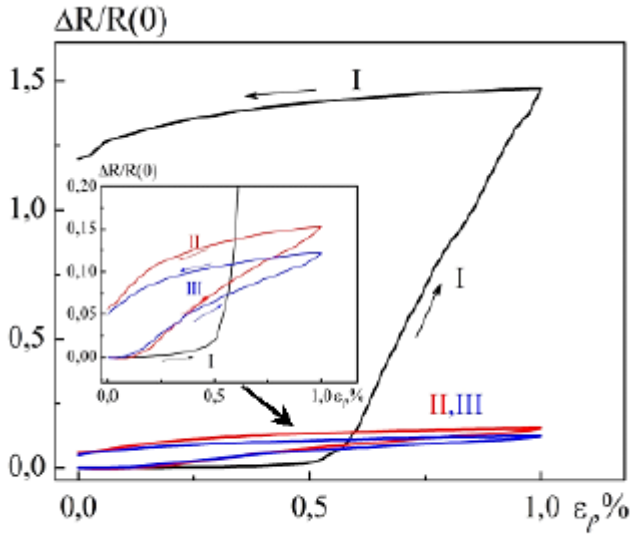
(73) Володілець (володільці):
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)

(74) Представник:
ГУДКОВ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

(54) ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ПЛІВКОВОГО ТЕНЗОДАТЧИКА НА ОСНОВІ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВІВ

(57) Реферат:

Чутливий елемент плівкового тензодатчика на основі високоентропійних сплавів включає діелектричну підкладку та нанесений на неї чутливий елемент, що складається з шарів металів Cr, Co, Ni. Чутливий елемент додатково включає метали Al, Cu, Fe, Ti і являє собою високоентропійний сплав цих металів.



Фіг. 1

UA 147158 U

Корисна модель належить до вимірювальної електронної техніки, а саме до тензометрії як метода, що базується на вимірюванні деформацій за допомогою тензодатчиків і реєструвальної апаратури або визначенні змін параметрів матеріалу при механічних напруженнях, та може бути використано для вимірювання і контролю деформації у конструкціях та деталях.

Останнім часом проводяться інтенсивні дослідження кристалічної структури і механічних властивостей високоентропійних сплавів (ВЕС) з точки зору застосування їх унікальних властивостей [1] в різних галузях промисловості і техніки. ВЕС формуються на основі 5-13 елементів (в основному - це гранецентрована кубічна (ГЦК) та об'ємноцентрована кубічна (ОЦК) або гексагональна щільно пакована (ГЩП) для тугоплавких металів) та мають високу ентропію змішування (ΔS_{mix}). Завдяки цьому в них утворюються більш стійкі фази у вигляді ОЦК, ГЦК або ГЩП твердих розчинів (т.р.) (див., наприклад, [2]). У залежності від концентрації окремих компонент може одночасно стабілізуватися ГЦК і ОЦК т.р. [2-4], або ОЦК т.р. - (α - Fe, Cr) та інтерметаліди AlNi [5] у масивному ВЕС AlCrFeCoNiCu.

Стабілізація ГЦК або ОЦК повністю визначається середньою концентрацією валентних електронів на атом, розміщених у валентній зоні сплаву: при концентрації меншій 7,2 ел/ат утворюється ОЦК фаза, при 7,2 - 8,2 ел/ат. - стабілізується двофазовий склад ГЦК+ОЦК і при концентраціях більших 8,2 ел/ат. - ГЦК фаза т.р. ВЕС. У нітридній фазі ВЕС на основі Al, Cr, Nb, Ti та напівпровідника Si також стабілізується ГЦК фаза (див., наприклад, [6, 7]). Вивчення електрофізичних властивостей (електропровідність, термічний коефіцієнт опору та коефіцієнт тензочутливості) плівкових ВЕС були започатковані авторами [8, 9].

Коефіцієнт тензочутливості (КТ) залежить від зміни геометричних розмірів і питомого опору чутливого елементу тензодатчика в процесі деформації. У монокристалічних плівках величина КТ може бути менше або більше у порівнянні з масивними зразками; полікристалічних плівках величина поздовжнього КТ майже завжди більше коефіцієнта поперечної тензочутливості, що пов'язано з особливістю зміни внутрішнього потенціалу кристалічної решітки в процесі деформації; залежно від співвідношення між поверхневим і зерномежовим розсіюванням електронів КТ можуть збільшуватися або зменшуватися, прямуючи до асимптотичної величини при збільшенні товщини (розміру кристалітів); величина КТ залежить від номера деформаційного циклу "навантаження - зняття навантаження" внаслідок виникнення залишкової деформації і, починаючи з III-VI-го циклів величини КТ практично не змінюються при подальших деформаційних циклах.

Відомий чутливий елемент тензодатчика, виготовлений у вигляді плівки GaAs на кремнієвій підкладці методом хімічного осадження або молекулярно-променевої епітаксії [10]. Основним недоліком такого елемента є висока температурна чутливість, що обмежує температурний інтервал їх функціонування та енергетично затратні технології конденсації матеріалів.

До аналогів запропонованої корисної моделі можна віднести чутливий елемент тензодатчика, виконаний у вигляді одношарової металевої плівки (тугоплавкі метали Mo, Cr або W), яка нанесена на діелектричну підкладку [11]. Чутливий елемент на основі плівки тугоплавкого металу є надійним при роботі в інтервалі відносно високих температур, але має невисоке значення коефіцієнту тензочутливості (порядка декількох одиниць), що обумовлено процесами розсіювання електронів в об'ємі та на поверхні плівки.

Найближчим аналогом є чутливий елемент тензодатчика [12], у вигляді багатошарової металевої плівки, що складається з шарів нікелю, кобальту та хрому на діелектричній підкладці. До основних недоліків зазначеного чутливого елементу слід віднести невисокі значення коефіцієнта тензочутливості (до 20 одиниць) та залежність фазового складу матеріалу від температури, що впливає на робочі параметри і характеристики приладу.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення чутливого елемента тензодатчика, який би мав просту конфігурацію, стабільний однофазовий склад плівки в широкому інтервалі температур та високі значення коефіцієнта тензочутливості, за рахунок стабілізації фазового складу.

Поставлена задача вирішується тим, що у чутливому елементі плівкового тензодатчика на основі високоентропійних сплавів, який включає діелектричну підкладку та нанесений на неї чутливий елемент, що складається з шарів металів Cr, Co, Ni, згідно з корисною моделлю, чутливий елемент додатково включає метали Al, Cu, Fe, Ti і являє собою високоентропійний сплав цих металів.

Завдяки тому, що на чутливий елемент плівкового тензодатчика наносять плівку ВЕС гомогенного фазового складу на основі металів Cr, Co, Ni, Al, Cu, Fe, Ti, стабільність якого обумовлена природою ВЕС, оскільки незначне (до 5 %) відхилення радіусів атомів від його середнього значення дозволяє реалізуватись ізоморфному зміщенню атомів окремих металів.

Чутливий елемент плівкового тензодатчика включає полістиролову діелектричну підкладку та нанесену на неї плівку ВЕС гомогенного фазового складу на основі металів Cr, Co, Ni, Al, Cu, Fe, Ti.

Формують чутливий елемент плівкового тензодатчика методом пошарової конденсації металів на підкладку з наступним відпалюванням вихідних зразків до температури 800 К.

Товщина окремих шарів контролюється методом кварцового резонатора. Величина коефіцієнта тензочутливості визначається на основі залежності $\frac{\Delta R}{R(0)}$ від величини поздовжньої деформації ε_l за співвідношенням $\gamma_l = \frac{R(\varepsilon_l) - R(0)}{R(0)\varepsilon_l}$, де $R(\varepsilon_l)$ – опір плівки при деформації; $R(0)$ - опір недеформованої плівки; ε_l – величина деформації зразка.

Для вимірювання γ_l використовується стандартний омметр і пристрій для вимірювання деформації. При деформації плівкового матеріалу виникають механічні напруження розтягувального або стискувального характеру, які приводять до зміни електричного опору плівкового ВЕС. Чутливий елемент представляє собою плівку ВЕС, нанесену на діелектричну підкладку. Загальна товщина плівки ВЕС складає 40-100 нм.

У таблиці наведені приклади архітектури плівок, на основі яких після термообробки формується ВЕС із різним ступенем ентропійності, від величини якого і, до великої міри, залежать тензорезистивні властивості чутливих елементів сенсорів.

Таблиця

Загальна характеристика плівкових ВЕС, отриманих пошаровою конденсацією металів

№	Зразок; товщина, нм	c_i, ат %	ΔS_{mix}, Дж/моль·К
1	Cr(7,5)/Al(4,5)/Co(7,3)/Cu(4,8)/Ni(7)/Fe(7)/П (П-підкладка)	19/8/21/12/19/19/П	14,58
2	Ti(2,2)/Cr(7,5)/Al(4,5)/Co(7,3)/Cu(4,8)/Ni(7)/Fe(7)/П	4/18/9/20/12/19/18/П	15,33
3	Al(4)/Cu(3,2)/Co(4,5)/Cr(5,2)/ Fe(4,7)/Ni(4)/П	11/13/19/20/19/17/П	14,76
4	Ti(2,5)/Al(4)/Cu(3,2)/Co(4,5)/ Cr(5,2)/Fe(4,7)/Ni(4)/П	6/11/12/18/18/19/16/П	17,72

На фіг. 1, 2 зазначені деформаційні залежності для плівкового ВЕС, які ілюструють двостадійність пластичної деформації в плівковому ВЕС Al(4)/Cu(3,2)/Co(4,5)/Cr(5,2)/ Fe(4,7)/Ni(4)/П. П - підкладка. I - VI - номери деформаційних циклів "навантаження ↔ зняття навантаження".

При деформації в інтервалі $\Delta\varepsilon_l$ = (0-1)% відбувається перехід від пружної до пластичної деформації (пластична деформація I типу) при $\Delta\varepsilon'_{l\text{пер.}}$ = 0,5 % (фіг. 1). При першому деформаційному циклі в інтервалі $\Delta\varepsilon_{l1}$ = (0-0,5)% величина коефіцієнту поздовжньої тензочутливості $\gamma_{II} \cong 12$ одиниць, а в інтервалі $\Delta\varepsilon_{l2}$ = (0-1,0)% $\gamma_{III,\ III} \cong 25$ одиниць, що може мати місце лише у напівпровідникових плівках. При II і III деформаційних циклах спостерігається лінійна залежність $\Delta R/R(0)$ від ε_l із величиною $\gamma_{III,\ III} \cong 12{,}5$ одиниць. На цій стадії реалізується ефект квазіпружності після релаксації пластичної деформації I-го типу. При подальшій деформації до ε_l=2,0 % відбувається перехід до пластичної деформації II-го типу при $\Delta\varepsilon''_{l\text{пер.}}$ = 1,0 % (фіг. 1). Цей перехід супроводжується збільшенням коефіцієнта тензочутливості від $\gamma_{III,\ III} \cong 12{,}5$ до $\gamma_{I\ IV} \cong 40$ одиниць. На V-му та VI-му деформаційних циклах також спостерігається своєрідна квазіпружна деформація, оскільки відбулася релаксація пластичної деформації II-го типу. Така особливість двостадійності тензоефекту не спостерігається у випадку одношарових або багатошарових плівок (див., наприклад, [13]), при їх пластичній деформації.

Таким чином, використовування як чутливого елемента тензодатчика плівкового ВЕС забезпечує високу чутливість до деформації та найбільш повну передачу інформації про напруження, які виникають у конструкціях і деталях в широкому інтервалі температур і деформацій.

Джерела інформації:

1. Nanostructured high-entropy alloys with multi-principal elements-novel alloy design concepts and outcomes / J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin, J.Y. Gan, T.S. Chin, T.T. Shun // Adv. Eng. Mater. - 2004. - V. 6, No 5. - P. 299-303.

2. Вплив Ni на фазовий склад високоентропійних сплавів / М.В. Карпець, О.С. Макаренко,

О.М. Мисливченко, В.Ф. Горбань // Наукові вісті НТУУ "КПІ". - 2014. - № 2. - С. 46-52.

3. Фирстов С.А. Механические свойства многокомпонентного титанового сплава / С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Н.А. Крапивка // Проблемы прочности. - 2010. - № 5. - С. 178-189.

4. Tsai M.-H. High-entropy alloys: A critical review / M.-H. Tsai, J.-W. Yeh // Mater. Res. Lett. - 2014. - V. 2, No 3. - P. 107-123.

5. A fracture-resistant high-entropy alloy for cryogenic applications / B. Gludovatz, A. Hohenwarter, D. Catoor, E. Chang // Science. - 2014. - V. 345. - No 6201. - P.1153-1158.

6. Koch C. Mechanical milling/alloying of intermetallics / C. Koch, J. Whittenberger // Intermetallics. - 1996. - V. 4, No 5. - P. 339-355.

7. Влияние фазового состава литых высокоэнтропийных сплавов на механические свойства / С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Н.А. Крапивка, Э.П. Печковский // Современные проблемы физического материаловедения: Сб. научн. трудов. - Киев: ИПМ НАН Украины. - 2011. - Вып. 20. - С. 21-37.

8. Crystalline structure, electrophysical and magnetoresistive properties of high-entropy film alloys / S.I. Vorobiov, D.M. Kondrakhova, S.A. Nepijko, D.V. Poduremne, N.I. Shumakova, I.Yu. Protsenko // J. Nano-Electron. Phys. - 2016. - V. 8, No 3. - P. 03026-1 - 03026-5.

9. Crystalline structure and physical properties of high-entropy film alloys/ Yu.S. Bereznyak, M. Opielak, L.V. Odnodvorets, D.V. Poduremne, I.Yu. Protsenko, Yu.M. Shabelnyk // J. Nano-Electron. Phys. - 2019. - V. 11, No 2. - P. 02026-1 - 02026-6.

10. Semiconductor strain sensor: patent USA № 878,429 at the 04.05.1994 / Hajime Inuzuka, Tsuyoshi Nakagawa, Kunihiko Hara.

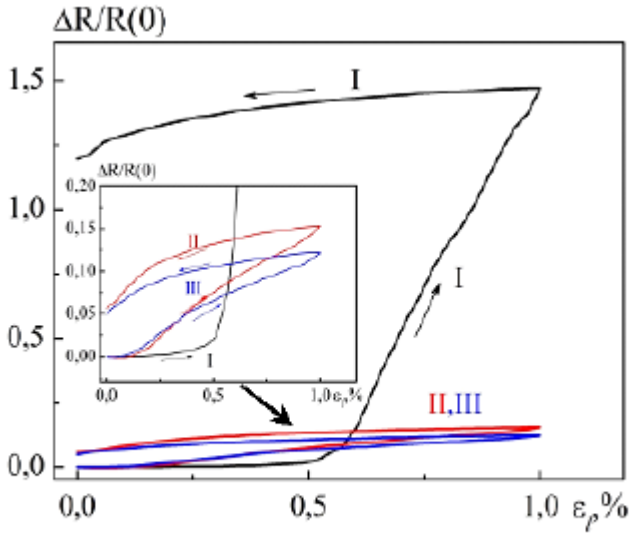
11. Петренко С.В., Проценко І.Ю., Шамоня В.Г. Эффект тензочувствительности в дисперсных металлических пленках // Металлы. - 1989. - № 1. - С. 180-186.

12. Чутливий елемент тензодатчика: патент на корисну модель України № 31144. МПК G01B7/16 від 15.12.2000 / Л.В. Однодворець, С.І. Проценко, А.М. Чорноус.

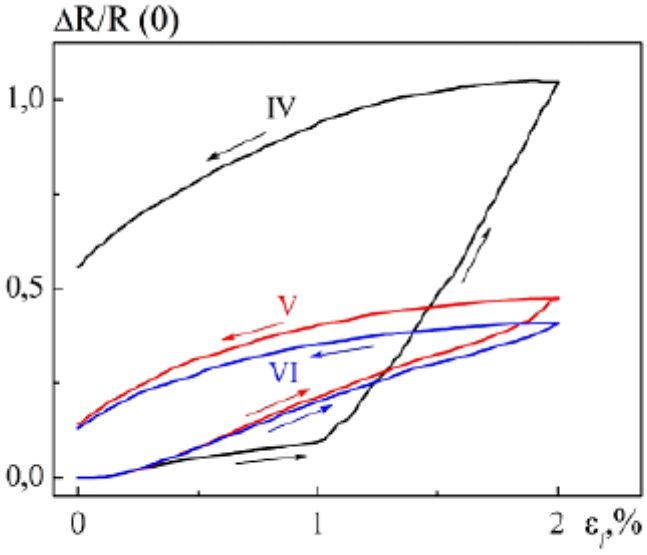
13. Однодворець Л. В., Проценко С. І., Чорноус А. М., Проценко І. Ю. Ефект тензочутливості в металевих плівкових матеріалах (огляд) // Успехи физ. мет. - 2007. - Т.8, № 2. - С. 109-156.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Чутливий елемент плівкового тензодатчика на основі високоентропійних сплавів, який включає діелектричну підкладку та нанесений на неї чутливий елемент, що складається з шарів металів Cr, Co, Ni, який **відрізняється** тим, що чутливий елемент додатково включає метали Al, Cu, Fe, Ti і являє собою високоентропійний сплав цих металів.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601