



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

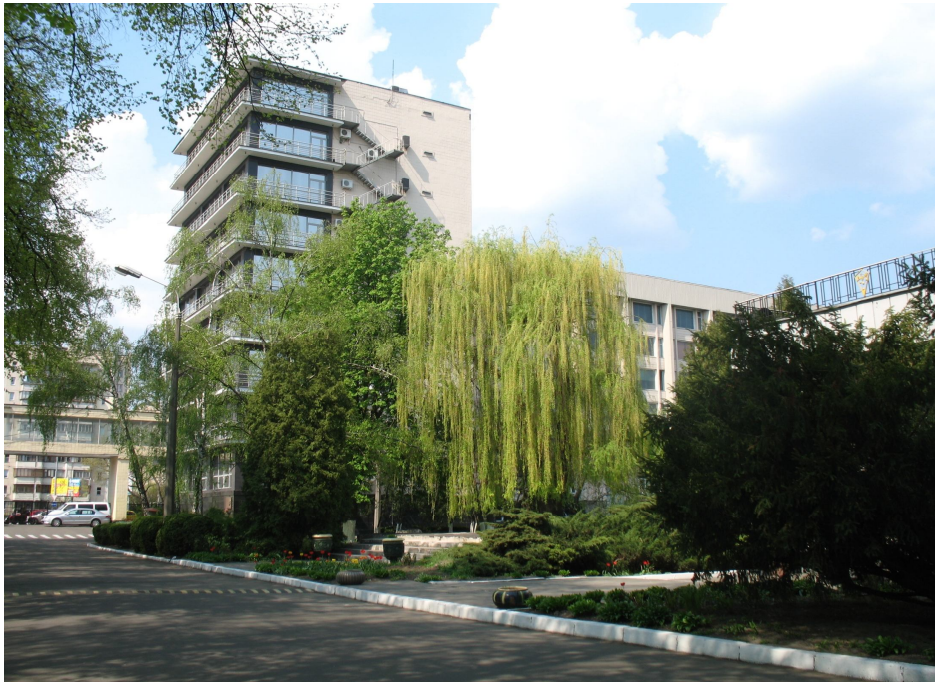
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ  
ім. В.М. БАКУЛЯ

# НАДТВЕРДІ, КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ПОКРИТТЯ: ОТРИМАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ, ЗАСТОСУВАННЯ

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

*Восьмої конференції  
молодих вчених та спеціалістів*

28–30 травня 2014 року



Київ–2014

**Умовна межа плинності  $\sigma_{0,2}$  сплаву ZE10**

Напрямок	Вид експерименту	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\Delta\sigma/\sigma$ , %
НП	розтягування	174	4,0
	індентування	167	
ДН	розтягування	182	2,0
	індентування	178	
ПН	розтягування	91	5,0
	індентування	96	

Як видно, збіг з даними на розтягування виявився задовільним.

**Список використаної літератури**

1. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. – 1992. – Vol. 7, No. 6. – P. 1564-1583.
2. Харитонов Л.Г. Определение микротвердости. – М.: Металлургия, 1967. – 46 с.
3. Глаговский Б.А., Московенко И.Б. Низкочастотные акустические методы в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1977. - 235 с.
4. Кухарева И. Е. Применение индентирования для построения кривой растяжения // Вестник ХНАДУ. – 2011, №54. – С. 33 – 39.

УДК 538.975

**ОБ'ЄМНИЙ ТА ІНТЕРФЕЙСНИЙ МЕХАНІЗМИ ЕФЕКТУ  
ГІГАНТСЬКОГО МАГНІТООПОРУ В БАГАТОШАРОВИХ  
ПЛІВКАХ**

**А.Г. Басов, Ю.О. Шкурдода, Л.В. Дехтярук**

Сумський державний університет,  
40007, м. Суми, Римського-Корсакова, 2, [agbasov@mail.ru](mailto:agbasov@mail.ru)

*З використанням феноменологічного підходу виконаний теоретичний аналіз ефекту гігантського магнітоопору в магнітних багатошарових плівках з ультратонкими прошарками. Показано, що характер розмірної залежності магніторезистивного відношення*

залежить від співвідношення між параметрами об'ємної та інтерфейсної асиметрії розсіяння електронів.

Значний інтерес до вивчення ефекту гігантського магнітоопору (ГМО) [1], який проявляється в різкому зменшенні опору мультишару при його вміщенні у зовнішнє магнітне поле, обумовлене перспективою створення на його основі елементної бази спінтроники. Попри значну кількість публікацій, на сьогодні не побудована теорія гігантського магніторезистивного ефекту, у якій в єдиній схемі можна було б проаналізувати ефект ГМО за наявності об'ємного та інтерфейсного механізмів, що і є предметом даного повідомлення.

Розглянемо багатошарову плівку, яка складається з ферромагнітних ( $m$ ) шарів металу товщиною  $d_m$ , розділених ультратонкими немагнітними прошарками. Товщини перехідних шарів (інтерфейсів,  $i$ ), позначимо як  $d_i$ .

В рамках феноменологічного підходу [2] для магніторезистивного відношення  $\delta_H = (\rho(0) - \rho(H)) / \rho(H)$  ( $\rho(H), \rho(0)$  - питомий опір провідника в магнітному полі і за його відсутності), можна отримати наступний вираз:

$$\delta_H = \frac{(\alpha_{(m)} - 1)^2 \left( 1 + 2(\alpha_{(i)} - 1)(\alpha_{(m)} - 1)^{-1} \rho_{i,m}^+ d_{i,m} \right)^2}{4\alpha_{(m)} \left( \frac{4\alpha_{(i)}}{\alpha_{(m)}} \rho_{i,m}^{+2} d_{i,m}^2 + \frac{2}{\alpha_{(m)}} (\alpha_{(m)} + \alpha_{(i)}) \rho_{i,m}^+ d_{i,m} + 1 \right)} \cong$$

$$\cong \begin{cases} \frac{(\alpha_{(m)} - 1)^2}{4\alpha_{(m)}} \left( 1 + \frac{2(\alpha_{(i)} - \alpha_{(m)})(\alpha_{(m)} + 1)}{\alpha_{(m)}(\alpha_{(m)} - 1)} \rho_{i,m}^+ d_{i,m} \right), & d_{i,m} \ll 0,5 \rho_{m,i}^+ \sqrt{\alpha_{(m)} / \alpha_{(i)}}, \\ \frac{(\alpha_{(i)} - 1)^2}{4\alpha_{(i)}} \left( 1 + \frac{(\alpha_{(m)} - \alpha_{(i)})(\alpha_{(i)} + 1)}{2\alpha_{(i)}(\alpha_{(i)} - 1)} \rho_{m,i}^+ d_{m,i} \right), & d_{i,m} \gg 0,5 \rho_{m,i}^+ \sqrt{\alpha_{(m)} / \alpha_{(i)}}. \end{cases}$$

Тут  $\alpha_m = \rho_m^- / \rho_m^+$  та  $\alpha_i = \rho_i^- / \rho_i^+$  - параметри об'ємної та інтерфейсної асиметрії, які характеризують асиметричне спін-залежне розсіяння електронів в об'ємі магнітних шарів металу та в інтерфейсах відповідно;  $s = \pm(\uparrow\downarrow)$  - спіновий індекс носія заряду;  $\rho_m^s$  та  $\rho_i^s$  - питомий опір  $s$ -го спінового каналу;  $\rho_{i,m}^s = \rho_i^s / \rho_m^s (d_{i,m} = d_i / d_m)$  - відношення питомого опору (товщини) інтерфейсу до питомого опору (товщини) магнітного шару.

З наведених асимптотичних виразів видно, що у випадку, коли в об'ємі магнітних шарів металу та в інтерфейсах ефективними (відповідальними за ефект) являються електрони з однаковим спіновим

індексом, то при виконанні нерівності  $\alpha_{(i)} < \alpha_{(m)}$  величина  $\delta_H$  монотонно зменшується на всьому інтервалі зміни товщини  $d_{i,m}$  (рис.1, а; крива 1). Якщо ж виконується протилежна нерівність  $\alpha_{(i)} > \alpha_{(m)}$ , то величина магнітопору монотонно збільшується зі збільшенням товщини інтерфейсу  $d_i$  (рис.1, а; крива 2).

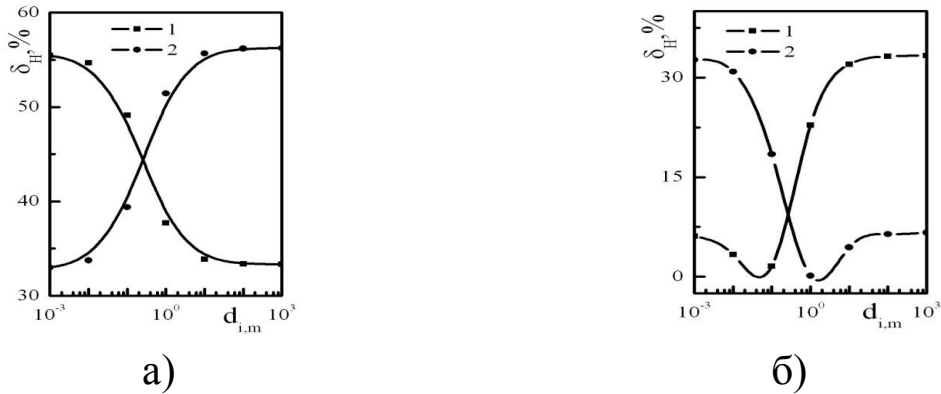


Рис.1. Розмірна залежність магніторезистивного відношення  $\delta_H$  багатошарової плівки при наступних значеннях параметрів:  $\rho_{n,m}^+ = 0,1$ ,  $\rho_{i,m}^+ = 2$ ,  $d_{n,m} = 0,1$ , а) 1 -  $\alpha_{(m)} = 4$ ,  $\alpha_{(i)} = 3$ ; 2-  $\alpha_{(m)} = 3$ ,  $\alpha_{(i)} = 4$ ; б) 1 -  $\alpha_{(m)} = 0,6$ ,  $\alpha_{(i)} = 3$ ; 2-  $\alpha_{(m)} = 3$ ,  $\alpha_{(i)} = 0,6$

У разі, коли в феромагнітних шарах металу та в інтерфейсах ефективними є носії заряду з протилежними спіновими індексами  $\alpha_{(i)} > 1$ ,  $\alpha_{(m)} < 1$  або навпаки, то при виконанні рівності

$$d_{i,m}^{extr} = \frac{1 - \alpha_{(i)}}{2\rho_{i,m}^+(\alpha_{(i)} - 1)} \equiv \frac{\rho_m^+ - \rho_m^-}{2(\rho_i^- - \rho_i^+)}$$

величина магнітопору досягає свого найменшого значення  $\left( \delta_H''(d_{i,m}^{extr}) = \frac{2\rho_{i,m}^{+2}(\alpha_{(i)} - 1)^4}{(\alpha_{(i)} - \alpha_{(m)})^2} > 0 \right)$  (рис. 1, б; криві 1 та 2).

Зазначений мінімум обумовлений тим, що оскільки в магнітному шарі та інтерфейсі ефективними є електрони, спіни яких протилежні, то при проходженні носія заряду з магнітного шару в інтерфейс (або, навпаки, з інтерфейсу в магнітний шар), носій заряду стає неефективним. Подальше зростання величини  $\delta_H$  обумовлене ефектом шунтування.

Наявність двох механізмів ефекту ГМО - об'ємного та інтерфейсного призводить до збільшення сумарного амплітудного значення магнітопору у порівнянні з магнітоопором провідника, в якому гігантський магніторезистивний ефект обумовлений дією одного

зі зазначених механізмів, не змінюючи при цьому характер розмірної залежності величини  $\delta_H$ .

### Список використаної літератури

1. M.N. Baibich et al., Phys. Rev. Lett., 1988, **61**, 21, 2472.
2. Tsymbal E.Y. et al., Solid State Physics, 2001, **56**, 113.

УДК 669.018.025

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК НА ФОРМУВАННЯ ШАРУВАТИХ СТРУКТУР В МІКРОКРИСТАЛАХ TiC В РІЗНИХ РОСТОВИХ СИСТЕМАХ

**І.О. Гнатенко, О.О. Матвійчук, С.О. Боровик**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України  
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2, [gnatenko\\_i@mail.ru](mailto:gnatenko_i@mail.ru)

*Досліджено вплив легуючих добавок та умов нагрівання на формування шаруватих структур в мікрочисталах TiC в різних ростових системах.*

Досліджено сплави системи TiC–Ni (70 % по масі) з додаванням легуючих добавок карбідів WC, Mo<sub>2</sub>C, ZrC та NbC в кількості 2 % (по масі), кожної окремо. Зразки були спечені при температурах 1340 °C та 1400 °C в вакуумі з витримкою при спіканні 30 хв. На спечених зразках готували шліф та досліджували мікроструктуру сплавів на оптичному мікроскопі МИМ-10, при збільшенні  $\times 1000$ .

Встановлено, що в сплавах системи TiC–Ni при додаванні карбідів розміри кристалів TiC дещо змінюється, зерна зменшуються та округлюються.

Введення карбідів WC та Mo<sub>2</sub>C в кількості 2 % по масі призводить до утворення суцільного кільця навколо зерна карбіду TiC в досліджуваних сплавах. З підвищенням температури спікання від 1340 °C до 1400 °C товщина кільця збільшується з 0,5 мкм до  $\approx 2$  мкм.

В системі TiC–Ni–ZrC, добавка ZrC сприяє утворенню кільцевої структури зерен TiC, причому в деяких зернах товщина кільця перевищує діаметр серцевини карбідного зерна. Товщина кільця нерівномірна й становить 2-6 мкм при температурі 1400 °C. Із збільшенням розміру карбідного зерна товщина кільця збільшується.