

ВІДЗИВ

офіційного опонента про дисертацію ШАБЕЛЬНИКА Юрія Михайловича
«Фізичні властивості плівкових гранульованих сплавів
на основі магнітних і благородних металів»,
яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
із спеціальности 01.04.07 – фізика твердого тіла

Ця дисертаційна робота стосувалася дослідження важливих для сенсорної техніки рис фазового складу, електрофізичних і магнеторезистивних властивостей плівкових гранульованих стопів на основі магнетних (кобальт, залізо) та шляхетних (срібло, золото) металів.

Досліджені в даній роботі об'єкти, — матеріяли у вигляді багатошарових металевих плівок і плівкових стопів на основі вищезазначених металів, — вже застосовуються або є перспективними для можливих застосувань у мікроелектронній і сенсорній техніці завдяки їхнім унікальним фізичним властивостям. Суть методи створення таких плівкових матеріялів полягає в пошаровій з подальшим термообробленням або одночасній конденсації компонентів. Це уможливорює створювати нового класу наноматеріяли зі стабільними робочими характеристиками, наприклад, які мали б високу термічну стабільність. Змінюючи швидкість конденсації, товщини окремих шарів і концентрації атомів компонентів, можна регулювати формування плівкового стопу і, таким чином, розв'язувати складні фізико-технічні й технологічні проблеми, що постають.

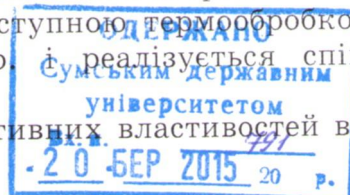
Розроблення функціональних матеріялів для електронної техніки із поліпшеними робочими характеристиками і відтворюваними параметрами та вивчення фізичних процесів у них є предметом дослідження для плівкового матеріялознавства. Обсяги робіт з пошуку відповідних технологій є великими; і тому важливою є й прогноза властивостей речовини тих нових матеріялів у конденсованому стані. А теоретичний підхід із розробленням і апробацією відповідних моделей уможливорює розв'язати ряд посталих проблем — врахувати деформаційні ефекти в параметрах електроперенесення, температурні й розмірні ефекти у фононному та спинзалежному розсіянні електронів у матеріялах елементів сенсорів, чутливих до них.

Тому й комплексні дослідження властивостей багатошарових матеріялів і плівкових стопів на основі магнетних і шляхетних металів та фізичних процесів у них, здійснені у дисертаційній роботі пана Ю. М. Шабельника, складено з *актуальних задач* фізики твердого тіла, посталих у плівковому матеріялознавстві.

Мета наукової роботи, що рецензується, й ідеї для її досягнення є своєчасними та відповідають концептуальним напрямам, орієнтованим на практичне використання результатів фундаментальних досліджень наноматеріялів. Цю дисертаційну роботу виконано в рамках планів держбюджетних науково-дослідних робіт (2009–2014 рр.) кафедри прикладної фізики Сумського державного університету, а також міжнародних проєктів науково-технічного співробітництва між Сумським держуніверситетом і Університетом Барода (м. Вадодара, Індія) (у 2012–2014 рр.) та Інститутом фізики при Університеті ім. Й. Гуттенберга (м. Майнц, Німеччина) (у 2011–2012 рр.), в яких автор дисертації брав участь як виконавець.

Дисертаційна робота пана Ю. М. Шабельника має прийнятний ступінь опрацьованості своїх структурних елементів, повноти, поглибленості та конкретності, а його дисертація містить елементи *новизни*, що відбивається в наявності серед одержаних даних нової наукової інформації щодо гранулювання твердого розчину (т.р.) та його впливу на фізичні властивості плівкових матеріялів. Розв'язання задач, поставлених у даній дисертаційній роботі, в тому числі з використанням методичних удосконалень, уможливило одержати наступні *нові* (й цікаві з моєї точки зору) результати з елементами фундаментальности.

1. Виявлено, що в плівкових системах на основі кобальту або заліза та срібла чи золота при одночасній або пошаровій конденсації з наступною термообробкою утворюється гранульований метастабільний ГЦК-т.р. і реалізується спинзалежне розсіяння електронів.
2. Розкрито залежність електрофізичних і магнеторезистивних властивостей від



стану стопу з гранульованими структурно-фазовими елементами.

3. З'ясовано (в тому числі методами феноменологічного моделювання), що величина коефіцієнта тензочутливості (КТ) стопу з елементами гранульованого стану в основному визначається тензочутливістю т.р.-фрагментів, де реалізується балістичний механізм електроперенесення.
4. Виявлено кореляцію магнеторезистивного ефекту із вмістом магнетного компонента; при цьому за його концентрації у 40–60 ат. % в плівкових системах на основі Co–Ag спостерігали максимальні значення амплітуди гігантського магнетоопору (ГМО) у 0,3–0,6%, на основі Co–Au — у 0,1–0,2%, а в плівках на основі Fe–Au спостерігали анізотропний магнетоопір (МО) амплітудою у 0,3–0,4%.

Структура дисертації та логіка подання матеріалу відображають послідовність розв'язання завдань дослідження. Дисертація складається із Вступу, чотирьох розділів, Висновків і Списку використаних джерел.

У *Вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок роботи з науковими темами, визначено об'єкт, мету, завдання і методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення результатів дисертаційної роботи, особистий внесок автора в працях, опублікованих у співавторстві, охарактеризовано вірогідність, зазначено апробацію і впровадження результатів дослідження.

У оглядовому *першому розділі* на підґрунті використаної літератури систематизовано та проаналізовано дані про фазовий склад і фізичні властивості гранульованих плівкових стопів на основі шляхетних і магнетних металів. Відповідним матеріалам і структурам присвячено широкий ряд експериментальних і теоретичних досліджень, проте залишається низка питань, відповіді на які мають додати розуміння електронної структури, механізмів твердотільних реакцій, дифузійних процесів, фізичних і механічних явищ у них, уможливити створення нових сенсорних пристроїв тощо. Аналіза літературних даних з дослідження магнеторезистивних властивостей та її розвивання уможливають запропоновувати нові варіанти приладових плівкових структур як чутливих елементів багатофункціональних сенсорів із характеристиками, які мали б високу термічну стабільність або чутливість.

Стосовно першого розділу принципів зауважень немає. Втім, зазначу деякі недогляди здебільш науково-редагувального характеру; в деяких місцях цього розділу (та й Вступу і наступних розділів) застосовано не найкращу українськомовну фізичну термінологію й жаргонові словосполучення, наприклад, чомусь «благородний» (замість «шляхетний»), «роздільна здатність» (а не «роздільча здатність»), «сплав» (замість «стоп»), «шорсткість шару» (а не «шерсткість шару»), «розпилення» (замість «розпорошення»), «підкладка» (а не «підложжя» або «підкладина»), «просвічуючий (скануючий)» (замість «просвічувальний (сканувальний)»), «просковзуючий кут» (а не «кут (с)ковзання» або «кут ковзу»), «процеси, що протікають» (замість «процеси, що перебігають (чи відбуваються)»), «коефіцієнт Пуассона» (а не «Пуассонів коефіцієнт»), «магнітна компонента» (а не «магнетний компонент»), «намагніченість» (замість «(на)магнетованість»).

В *другому розділі* проаналізовано експериментальні методи і методики одержання плівкових матеріалів, дослідження їхніх кристалічної структури, фазового складу, електрофізичних, магнеторезистивних і магнетооптичних властивостей та дифузійних процесів у них. У цьому ж розділі для ілюстрації можливостей метод подано взірцеві приклади найбільш характерних деформаційних, температурних і концентраційних залежностей, мікроснімків, електронограм, принципів схем і блок-схем установок тощо.

Щодо другого розділу принципів зауважень також немає. Зазначу лише, що задекларована автором метода енергодисперсійної рентгенівської аналізи майже не знайшла свого обговорення у подальших розділах роботи (за винятком рис. 2.5 та рис. 3.5, 3.7 і 3.10), мабуть, оскільки результати відповідних досліджень елементного складу носять, скоріше за все, якісний характер, даючи можливість описати розподіл елементів за товщиною зразка, але лише через руйнування його. Іще зазначу, що ліпше застосовувати українськомовні словосполучення «Моосова скаля (чи шкала)» (замість «шкала Мооса»), «тяжкотопкий метал» (але не «тугоплавкий

метал»), «температура топлення» (а не «температура плавлення»), «Міллерові індекси» (замість «індекси Міллера»), «кристалічна ґратниця» (але не «кристалічна решітка»), «пришвидшувальна напруга» (а не «прискорююча напруга»), «Голлів давач» (замість «датчик Холла»), «Керрив (Фарадеїв) ефект» (а не «ефект Керра (Фарадея)») відповідно до фізичного лексикону, що дотримується питоменного українського назовництва і так званого «харківського», практично останнього правдивого, українського правопису).

Третій розділ присвячено узагальненню експериментальних результатів досліджень структурно-фазового стану і концентраційного вмісту компонентів у моно-, дво- та тришарових плівкових стопах. Воно уможливило автору з'ясувати практично всі фізичні процеси, які спричиняють температурну і концентраційну залежності термічного коефіцієнта опору (ТКО), КТ, МО, та визначити вплив структури, фазового складу плівкових зразків на стабільність їхніх фізичних властивостей.

Стосовно третього розділу є два зауваження. **1)** Автор не надав у дисертації деякі цікаві характеристики досліджених плівкових стопів, а саме, тут не дано інформацію про параметер далекого атомового порядку твердих розчинів (хоча б нульовий він чи ні?), концентрацію втілених ґранул, їхній найімовірніший розмір; адже відсутність таких даних утруднює апробацію запропонованого в п. 4.3.2 феноменологічного моделю для коефіцієнта тензочутливості. **2)** Як вже зазначалося, дані, одержані тут методом енергодисперсійної рентгенівської аналізи, не знайшли своєї інтерпретації; зокрема, це стосується залишених поза увагою очевидних відмінностей у характерах енергодисперсійних спектрів на рис. 3.5 і 3.7 для зразків, начебто, не дуже різних за складом й за однакових умов термооброблення; а рис. 3.10 взагалі було залишено без посилання на нього. Зазначу також, що електронограми на рис. 3.8 а, б (с. 76) є малоінформативними, бо не були розшифровані в дисертації. До речі цікаво, чи вказують явно авторські електронографічні та мікροструктурні дані на утворення дефектів пакування у плівках ГЦП-Со, про можливість чого йдеться, наприклад, на с. 64?

У четвертому розділі представлено результати досліджень температурної залежності електроопору і ТКО плівкових матеріалів, їхніх КТ, магнеторезистивних і магнетооптичних властивостей, ефекту ГМО в них. Тут проаналізовано й терморезистивні властивості плівкових стопів і багатошарових плівок на основі металів та певні питання, пов'язані із температурними й концентраційними ефектами у них. На основі даних власних досліджень було апробовано феноменологічний модель ТКО для ґранульованих плівкових стопів, а також розроблено й апробовано феноменологічний модель КТ для ґранульованих плівкових стопів з елементами т.р.

Щодо четвертого розділу принципів зауважень немає. Зазначу лише, що у цьому та й третьому розділах дисертант підбив підсумки вивчення фазового складу ґранульованих плівкових матеріалів. Але, на мою думку, цікавим було б висвітлення тут, в цьому розділі, тих експериментальних умов, за яких у досліджених автором дисертації плівкових зразках може реалізуватися балістичний механізм перенесення заряду, зокрема, через ґранулі. Адже одержані експериментально результати стосовно електротранспортних властивостей в основному проінтерпретовано з огляду на механізми Фукса–Зондгаймера або Маядаса–Шатцкеса (відповідно, поверхневого і зерномежового) розсіяння електронів, хоча в здійснених дослідженнях товщини окремих шарів і ґранул у плівкових матеріалах мали й нанометровий порядок значень, що власне могло б стати передумовою діяння в них іншого, а саме, балістичного механізму електроперенесення. Цікаво, якими ж аргументами з цього приводу керувався пан Ю. М. Шабельник? Також залишилися без фізичної інтерпретації й аналітичного опису одержані дані стосовно істотно нелінійних температурної та концентраційної залежностей термічного коефіцієнта опору двокомпонентних зразків на основі Ag–Со (рис. 4.1, г, е, ж і рис. 4.2 відповідно).

Але зазначу, що всі зауваження, яких наведено вище, мають, певніше, характер побажань стосовно оформлення вмісту дисертації та щодо врахування їх при майбутньому розвиванні обраного наукового напрямку і не можуть знизити загальної оцінки дисертаційної роботи.

Її автор одержав *оригінальні* і *трудомісткі* наукові результати. Феноменологічний модель для п'єзорезистивного ефекту у гранульованих плівкових стопах з елементами т.р., якого застосовано в дисертаційній роботі пана Ю. М. Шабельника, здається мені достатньо фізичним і додає обґрунтованості сформульованим науковим висновкам.

Вірогідність одержаних наукових результатів забезпечується: аналізою експериментальних даних для різного типу плівкових матеріалів; застосуванням сучасних метод формування і оброблення тонких плівок, експериментальних метод дослідження їхніх структури, фазового складу і властивостей; кореляцією експериментальних даних і розрахункових оцінок.

Використана у роботі метода пошарової конденсації з наступною термообробкою і застосовані автором дисертації в рамках феноменологічного підходу моделі можуть бути відправними для подальшого розвитку фізики тонких плівок.

Результати дисертаційної роботи можна використати для завбачення електрофізичних властивостей плівкових матеріалів, адекватного трактування вже наявних експериментальних даних щодо них в таких установах МОН України як ХНУ ім. В. Н. Каразіна, НТУ «ХП», НТУ України «КП», а в НАН України — ІФ, ІПМ ім. І. М. Францевича, ІМФ ім. Г. В. Курдюмова.

Практична цінність одержаних результатів також полягає у з'ясуванні фізичних процесів у реальних плівкових матеріалах в умовах фазоутворення, впливу нагрівання, деформації та магнетного поля на їхні функціональні властивості.

Дисертацію побудовано логічно, в основному написано науковою українською мовою і структуровано відповідно до вимог ДАК МОН України щодо оформлення дисертацій.

Результати роботи оприлюднено в 6 статтях у фахових періодичних виданнях, 4 статтях у матеріалах конференцій та 9 тезах доповідей на всеукраїнських і міжнародних конференціях.

Вміст і основні положення дисертації цілком і вірно відображено в авторефераті дисертації. (Хоча маю зазначити, що тут також часто-густо застосовано не найкращу українськомовну фізичну термінологію та жаргонові словосполучення, наприклад, «намагніченість насичення» (а не «(на)магнетованість насити»), «вектор намагнічування» (замість «вектор магнетовання».)

ВИСНОВОК

Отже, дисертаційна робота пана Ю. М. Шабельника є, певна річ, корисним кроком у з'ясуванні впливу фазоутворення, температурно-концентраційних ефектів на властивості гранульованих стопів на основі магнетних і шляхетних елементів, являє собою самостійне, завершене в цілому (у межах поставлених задач) дослідження.

За актуальністю обраної теми, новизною та значущістю одержаних результатів, ступенем обґрунтованості й вірогідністю сформульованих висновків і рекомендацій, повнотою їх викладення в опублікованих працях дисертація «Фізичні властивості плівкових гранульованих сплавів на основі магнітних і благородних металів» задовольняє встановленим критеріям ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме, пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами (окрім п. 3), що внесені до постанов Кабміну України, затвердженими постановою Кабміну України від 12.09.2011 р. № 955. Тому я вважаю, що автор дисертації, пан Юрій Михайлович Шабельник, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Заступник директора з наукової роботи
Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова
НАН України,
д-р фіз.-мат. н., проф.



В. А. Татаренко