

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Protsenko I., Odnodvoretz L., Chornous A. Electroconductivity and tensosensibility of multilayer films//Металлофизика и новейшие технологии, 1998.-V.20.-№1.-P.36-44.
2. Protsenko I., Odnodvoretz L., Petrenko S., Chornous A. Size effect and processes of interdiffusion in multilayer films//Cryst.Res.Technol.-1995.-V.30.- №8.-P.1079-1083.
3. Ласюченко Е.Б., Однодворец Л.В., Проценко И.Е. К вопросу о микроскопической теории эффекта тензочувствительности в многослойных пленочных структурах//ВАНТ. Серия: Вакуум, чистые материалы,сверхпроводники. -Вып.6,7, 1998. - С.198-199.
4. Овчаренко Ю.М., Опанасюк Н.М., Проценко І.Ю., Шовкопляс О.В. Розрахунок параметрів електропереносу тонких металевих плівок в умовах зовнішнього та внутрішнього розмірних ефектів//УФЖ, 1997.-Т.42.- №7.-С.826-830.

Надійшла до редколегії 10 грудня 1999 р.

УДК 621.793.1:543.5

РОЗМІРНІ ТА ТЕРМОДИНАМІЧНІ ЕФЕКТИ В АДГЕЗІЇ МЕТАЛЕВИХ ПЛІВОК

С.Ю.Єщенко, студ.; І.Ю.Проценко, проф.; А.В.Фоменко, студ.;
А.М.Чорноус, доц.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку мікроелектроніки все більше починають приділяти увагу гібридно тонкоплівковим технологіям [1]. Це в першу чергу пов'язано з можливістю збільшення ступеня інтеграції мікросхеми та відсотку виходу придатних виробів.

Одним з головних критеріїв якості є адгезія. Дослідження різних авторів (див., наприклад, [2]) показали, що плівки таких металів, як Cr, Mg, Zn і т.д. мають високу адгезійну здатність на скляних та керамічних підкладках. Поряд з цим плівки благородних металів мають низькі адгезійні властивості. Високе значення адгезії для більшості плівкових матеріалів пояснюється значною взаємною розчинністю оксидів плівки та складових матеріалів підкладки.

Через велику кількість невирішених питань проблема адгезії постійно знаходиться у полі зору не тільки експериментаторів, а й теоретиків [3-6]. Зокрема, у роботі [3] використано метод числового розрахунку для розв'язання задач, присвячених розрахунку міжфазної енергії та величини адгезії для різних металів на діелектричній та металевій підкладках, розділених діелектриком або вакуумом. Автори роблять висновок про те, що адгезія металів, які контактують один з одним або із діелектриком, вища для тих пар, де вища концентрація електронів повідності та заряд іонів. Автори [3,6] показали, що адгезія металу на діелектричній підкладці істотно залежить від діелектричної проникності, причому із збільшенням останньої величина адгезії падає.

Зменшення поверхневої енергії двох контактуючих тіл у процесі адгезії, віднесене до одиниці площі поверхні, називається вільною енергією адгезії (f_A), яка дорівнює роботі адгезивного відриву ($-W_A$). Через поверхневу енергію плівки (σ_f), підкладки (σ_s) та міжфазну енергію (σ_{fs}) вільна енергія адгезії виражається співвідношенням

$$-f_A = W_A \cdot \sigma_{fs} - \sigma_f \cdot \sigma_s. \quad (1)$$

У зв'язку з цим можна говорити про термодинамічний ефект адгезії, тобто залежність адгезії від σ_{fs} , σ_f , σ_s або товщини плівки (d), вивчення якого є метою даної роботи.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відомо [2,7] ряд методів для визначення адгезії. В основу способу вимірювання величини адгезії нами був покладений метод Стронга [2]. Суть методу полягає у наступному. Стрічка приклеюється до поверхні плівки, далі

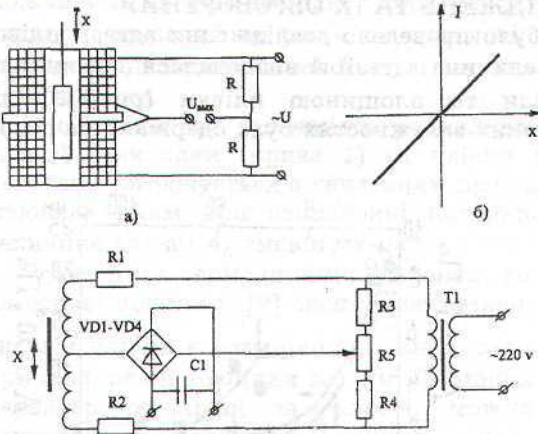


Рисунок 1 - Трансформатний датчик для визначення зміщення при відриві:

а) схема включення у електричне коло вимірювання;

б) залежність вихідного струму (I) від зміщення осердя (x);

в) схема випрямлення вихідної напруги

допомогою самописця. Це дало можливість вирішити проблему запам'ятовування максимальних показників вимірювального приладу. Як електронний датчик нами був використаний трансформаторний датчик соленоїдального типу (рис.1), дія якого визначається залежністю індуктивності котушки від магнітного опору середовища. У таких датчиках зміщення феритового осердя приводить до зміни коефіцієнта індуктивного зв'язку між двома обмотками.

Установка виготовлена на основі оптичного мікроскопа (рис.2). За допомогою мікрогвинта здійснюється переміщення феромагнітного осердя, приєднаного з одного боку до пружини, а з іншого - до тримача стрічки. Для визначення сили відриву під різними кутами до поверхні плівки

передбачено фіксований поворот предметного столика. Для установки нуля на самописці використовується резистор R_5 (рис.1). Точність приладу

фіксується сила відриву плівки від підкладки, визначається площа відірваної плівки і розраховується величина адгезії. Великим затрудненням методичного характеру у даному випадку є складність фіксації моменту відриву плівки. У зв'язку з цим нами виготовлена лабораторна установка з електронним датчиком зміщення, що дозволяє фіксувати зміну зусилля за

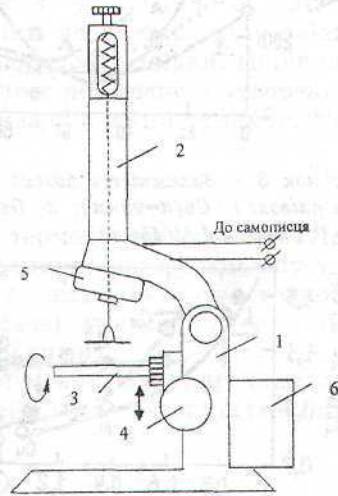


Рисунок 2 - Загальна схема приладу для визначення адгезії:

1 - станина; 2 - труба з котушками індуктивності, осердям та пружинним механізмом; 3 - столик для кріплення підкладки з плівкою; 4 - мікрогвинт; 5 - випрямляч постійного струму у кожусі; 6 - понижуючий трансформатор

залежить від довжини котушки індуктивності, феромагнітного осердя та жорсткості пружини.

Плівки *Cr*, *Cu*, *Al* і *Ge* отримували у вакуумі $\sim 10^{-3}$ Па шляхом термічного випаровування на підкладках із скла, графіту, (100) *NaCl*, слюди та міді. Безпосередньо перед напиленням поверхні підкладок відчищалися від забруднення ацетоном та зневоджувалися за допомогою спирту. Товщини плівок вимірювалися за допомогою інтерферометра Лінніка.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За описаною вище методикою було проведено дослідження адгезії плівок *Cr*, *Cu*, *Al* та *Ge* різної товщини. Величина адгезії *A* визначалася залежно від кута φ між напрямком дії сили та площиною плівки (рис.3). Слід підкреслити, що кожна точка на таких залежностях була одержана на основі

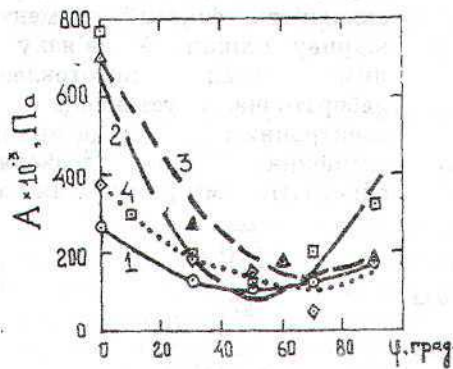


Рисунок 3 - Залежність адгезії від кута для плівок: 1 - *Cu* ($d=90\text{нм}$); 2 - *Ge* (20нм); 3 - *Cr* (70нм); 4 - *Al* (45нм)

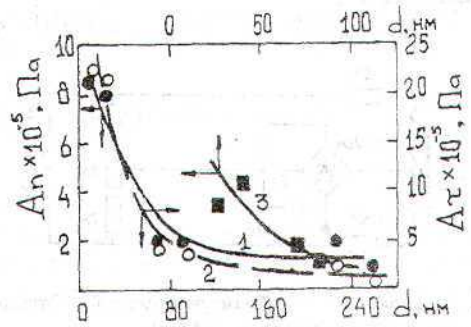


Рисунок 4 - Розмірна залежність адгезії для плівок *Cu* (1,2) і *Cr* (3)

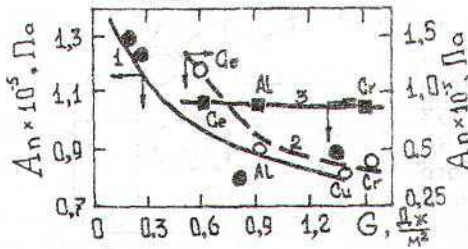


Рисунок 5 - Залежність A_n від поверхневої енергії підкладки для плівок *Ge* ($d=65\text{нм}$) (1) та від поверхневої енергії матеріалу плівки (*Ge*, *Al*, *Cu* та *Cr*) на підкладках (100) *NaCl* (2) та *Cu* (3)

трьох-п'яти вимірювань при даному куті φ у різних точках на поверхні плівки. Екстраполяція цих залежностей при $\varphi \rightarrow 0^\circ$ дає можливість визначити тангенціальну складову A_t . Значення адгезії при $\varphi=90^\circ$ відповідає так званій нормальній адгезії A_n . Адгезія зменшується від A_t до A_n , проходячи через мінімум при значенні $\varphi=50-60^\circ$. У всіх випадках тангенціальна складова більша від нормальної. Така особливість пов'язана з дією сили тертя ковзання, яка приводить до збільшення A_t порівняно з A_n . Таким чином, можна вважати, що $A_t = A_n + \Delta A$, де ΔA - величина, обумовлена міжфазною поверхневою енергією. Величина тангенціальної складової відіграє суттєву роль при обговоренні питань, пов'язаних із

розмірним ефектом у тензочутливості [8]. Зокрема, сила, яка викликає деформацію плівки, не повинна перебільшувати силу відриву плівки у тангенціальному напрямку. У протилежному випадку плівка буде просковзувати на підкладці у процесі деформації, що обумовить некоректні величини коефіцієнтів тензочутливості. Розрахунки показують, що в інтервалі деформацій до 2% сила, яка обумовлює тиск на поперечний переріз плівки, менша від величини A_T .

Вивчення адгезії металів та напівпровідників різної товщини дали можливість вперше дослідити характер розмірної залежності A від d , яка має вигляд, наведений на рис.4 на прикладі плівок Cu і Cr , сконденсованих на скляних підкладках. Аналогічний характер має A від d при інших значеннях кута відриву.

Рис.5 ілюструє залежність нормальної складової адгезії від поверхневої енергії підкладки (крива 1) та плівки (криві 2,3). Отриманий результат непогано узгоджується з уявленням про адгезію на основі співвідношення (1), згідно з яким при збільшенні поверхневої енергії плівки та підкладки величина адгезії A_n зменшується.

Розмірні та термодинамічні ефекти, досліджені у роботі, можна пояснити на основі відомого [9] експериментального факту, згідно з яким поверхнева енергія плівки є розмірно залежною величиною, при цьому σ_f зменшується при зменшенні товщини плівки. До інших факторів, які можуть вплинути на характер розмірної залежності, можна віднести утворення в плівках мікротріщин унаслідок дії структурних напружень на межі розділу плівка-підкладка, останні приводять до локального відшарування плівки. Порівняно високе значення адгезії при малих товщинах також пов'язане з утворенням проміжного оксидного шару у плівці з боку підкладки, який утримує її від відриву.

ВИСНОВКИ

Вперше проведено дослідження розмірних та термодинамічних ефектів в адгезії плівок Cr , Cu , Al та Ge . Показано, що величина адгезії зменшується при збільшенні поверхневої енергії плівки і підкладки та товщини плівкового зразка, що можна пояснити на основі уявлення про вільну енергію адгезії та розмірну залежність поверхневої енергії.

Величина нормальної складової адгезії завжди менша від тангенціальної, що пов'язано з вкладом міжфазної поверхневої енергії в тангенціальну силу тертя.

SUMMARY

It is investigated size and thermodynamic effects in adhesion of films (Cr, Cu, Al and Ge). It is possible to explain the received results by the basis of representations about free energy of adhesion and by size dependence of superficial energy.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Найда С.М., Пащенко П.В. Многокристаллические модули. Конструктивно-технологическое решение // ВАНТ, 1998.- №6(7), 7(8).- С.265-270.
2. Кемибелл Д.Е. Механические свойства тонких плёнок / Технология тонких плёнок: Справочник/ Под ред. Л. Майссела, Р.Глзига.- Москва: Сов. радио, 1977. - Т.2 - С.246-266.
3. Вакилов А.Н., Прудников В.В. К расчету адгезии металлов и диэлектриков// ФММ, 1991.- №8.- С. 11-20.
4. Борисенко Ю.Н., Грицына В.Т., Литовченко С.В. Метод пограничного стимулирования

- газовыделения и его использование для определения адгезии тонкоплёночных систем // Тезисы докладов: Межотраслевой научно-практический семинар с участием зарубежных специалистов «Вакуумная металллизация» 16-18 апреля 1996.- Харьков: ННУ ХФТИ, 1996.- С.103.
5. Цыбулёв П.Н., Сердюк Г.Н., Молчановский Н.А., Пархоменко В.Д. Влияние условий осаждения покрытий из нитрида титана на их состав и адгезию // УХЖ, 1996.- Т. 62. - №7.- С.16-20.
 6. Вакилов А.Н., Мамонова М.В., Прудников В.В. Адгезия металлов и полупроводников в рамках диэлектрического формализма // ФТТ, 1997.- Т.39.- №6. -С. 964-967.
 7. Слуцкая В.В. Тонкие плёнки в технике сверхвысоких частот.- Москва: Сов. радио, 1967.- 456 с.
 8. Проценко И.Е., Ордворец Л.В., Черноус А.М. Тензорезистивный эффект в тонких плёнках Cr, Ni, Cr/Ni и Ge // МФ и НТ, 1996.- Т.18.- №2.- С. 61-64.
 9. Гладких Н.Т., Крышталь А.П. Изменение параметра решетки в островковых вакуумных конденсатах Cu, Ag, Au // ВАНТ, 1998.- №2(3), 3(4).- С.57-66.

Надійшла до редколегії 12 лютого 1999 р.

УДК 65.011.56:539.27

МАШИННАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СРЕЗОВ

Т.А. Протасова, ассист.

При исследовании микроструктуры материалов особое внимание уделяется таким кристаллографическим характеристикам кристаллической решетки, как тип и параметры решётки, а также фазовому и элементному составу исследуемого образца. Одним из методов получения этих характеристик является электронография.

В результате применения этого метода получают изображения, представляющие собой дифракционную картину. При анализе этих изображений, например электронограммы, представленной на рисунке 1, необходимо точно измерить диаметр и яркость линий, интенсивность которых несет информацию о фазовом составе и структуре материала.



Рисунок 1. Электронограмма ОЦК Cr

Существующая методика и техника анализа дифракционных картин не удовлетворяют во многих случаях исследователей ни точностью, ни качеством измерений. Улучшить эти показатели позволяет компьютер, снабженный телекамерой или сканером, тем более, что последние модели электронных микроскопов оснащены телекамерами, с помощью которых полученное изображение передается на экран монитора и в память компьютера. Однако в этом случае требуются и новые методы обработки и анализа изображений. Таким методом является метод срезов. Его

сущность состоит в том, что полученное в электронном микроскопе