



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **90842** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
C23C 14/35 (2006.01)
C23C 28/00
G02B 1/10 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2014 00480	(72) Винахідник(и): Першин Юрій Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.01.2014	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.06.2014	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2014, Бюл.№ 11	

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ СКЛАДУ ПЕРЕМІШАНИХ ЗОН В БАГАТОШАРОВИХ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДЗЕРКАЛАХ

(57) Реферат:

Спосіб оцінки складу перемішаних зон в багат шарових рентгенівських дзеркалах полягає у нанесенні серії періодичних дзеркал на підкладки із змінною товщиною одного з компонентів, визначенні усадки періоду і порівнянні її з розрахунковими значеннями. Разом з періодичним дзеркалом на кожну підкладку напильють додаткове багат шарове дзеркало з іншою товщиною компонента змінної товщини. Усадку знаходять по відношенню до додаткового багат шарового дзеркала.

UA 90842 U

Корисна модель належить до галузі приладобудування, зокрема до відлагодження технології виготовлення багатошарових рентгенівських дзеркал (БРД), що працюють в діапазоні довжин хвиль м'якого рентгенівського випромінювання 0,3-70,0 нм. Вона може бути використана при створенні приладів на основі цих рентгенооптичних елементів.

5 Відомий спосіб оцінки складу перемішаних зон [1], згідно з яким виготовляють серію моноперіодних БРД Mo/Si (Co/Si), в якій послідовно змінюють товщину Mo (Co), записують малокутові спектри жорсткого рентгенівського відбиття ($\lambda=0,154$ нм) для кожного БРД, визначають параметри БРД (період, товщина і склад шарів, міжфазні шорсткості) шляхом підгонки теоретичної кривої відбиття до експериментальної і порівняння отриманих параметрів підгонки з параметрами, отриманими з електронної мікроскопії поперечних зрізів. Недоліком цього методу є значна помилка в підгонці, пов'язана з великою кількістю підгінних параметрів (мінімум 12) і її неоднозначність. Крім того, існує також неоднозначність у визначенні параметрів БРД в електронному мікроскопі, зв'язана, наприклад, з нахилом зразка.

15 Поліпшити ситуацію можна, знизивши кількість параметрів, необхідних для оцінки складу перемішаних зон. Так в [2] для цього вимірюють швидкості осадження кожного з компонентів (Mo і Si), виготовляють серію багатошарових БРД (Mo/Si), в якій послідовно змінюють товщину одного з компонентів (Mo), визначають лише величини періодів і знаходять максимальну усадку БРД [тобто різницю між очікуваними ($d_{0ч}$) і експериментально отриманими періодами ($d_{ЕКСП}$)], яка пов'язана з утворенням перемішаних зон. Склад перемішаних зон оцінюють, зіставляючи експериментальну усадку з товщиною перемішаних зон, виміряних на електронно-мікроскопічному знімку поперечного зрізу БРД, а також порівнюючи її з очікуваними усадками, що заздалегідь обчислюються для перемішаних зон різного складу і відомої товщини. Недоліком цього методу також є невисока точність визначення величини усадки. Це пов'язано з тим, що швидкості осадження компонентів і усадки багатошарових зразків вимірюють в різних експериментах. При цьому швидкості осадження від експерименту до експерименту можуть трохи мінятися, наприклад унаслідок ерозії мішеней, зміни складу атмосфери розпилення, малого окислення поверхні мішеней тощо. Крім того, при виготовленні серії зразків послідовно міняється товщина лише одного компонента (Mo), а швидкість осадження може мінятися для обох. В результаті помилка виміру усадки може перевищувати 30 %, що є критичною величиною і може наводити до неоднозначності визначення складу. Зберігаються також помилки у визначенні товщини перемішаних зон, вимірюваних в електронному мікроскопі, як про це було вказано вище.

Задачею корисної моделі є підвищення точності визначення складу перемішаних зон за рахунок використання "внутрішнього" еталону.

35 Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі оцінки складу перемішаних зон в багатошарових рентгенівських дзеркалах, що полягає у нанесенні серії періодичних дзеркал на підкладку із змінною товщиною одного з компонентів, визначенні усадки періоду і порівнянні її з розрахунковими значеннями, згідно з корисною моделлю, разом з періодичним дзеркалом на кожну підкладку напілюють додаткове багатошарове дзеркало з іншою товщиною компонента змінної товщини, а усадку знаходять по відношенню до додаткового багатошарового дзеркала товщину компонента змінної товщини в додатковому багатошаровому дзеркалі вибирають рівній товщині цього компонента в іншому періодичному дзеркалі серії; товщину компонента змінної товщини в додатковому періодичному дзеркалі для всіх зразків серії вибирають однаковою.

45 Суть корисної моделі полягає в тому, що визначення усадки по відношенню до додаткової стопки наводить до усунення більшості помилок, пов'язаних з дрейфом швидкостей осадження в різних експериментах, оскільки періоди обох багатошарових стопок несуть інформацію про ці помилки. Тому віднімання періодів цих стопок наводить до повної компенсації помилок в дрейфі швидкості для компонента фіксованої товщини (наприклад, Si), а також знищенню помилок тієї частини компонента змінної товщини (наприклад, Mo), які рівні в досліджуваній і додатковій стопках.

Нижче наведений приклад, що ілюструє ефективність вживання пропонованого способу при визначенні складу перемішаних зон в БРД Mo/Si. Товщина перемішаних зон в даному типі рентгенівських дзеркал в основному знаходиться в межах від $\sim 0,5$ нм до $\sim 1,5$ нм. Перемішані зони мають силіцидний характер, тобто їх утворення супроводиться усадкою періоду, і по її величині можна судити про склад перемішаних зон. Для здобуття залежності усадки від товщини Mo необхідно мати декілька експериментальних значень, наприклад 3-5. Тому для однозначного визначення параметрів (складу) перемішаних зон необхідно змінювати товщину Mo з кроком менше 0,1 нм. При цьому усадка, супроводжуюча таку зміну товщини, залежно від складу зон може змінюватися від 0,03 до 0,1 нм. Використання рівняння Брега з врахуванням

заломлення дозволяє визначати період БРД з точністю краще, ніж 0,01 нм, тому зафіксувати таку усадку у відсутність помилок не складає труднощів.

Ми виготовили серію багат шарових дзеркал Mo/Si, в якій товщина кремнію була фіксована (~5 нм), а товщина Mo змінювалася в межах від 0,2 до 1,2 нм з кроком 0,05-0,10 нм. На фіг. 1 показана залежність усадки періоду $\Delta d (=d_{оч} - d_{ЕКСП})$ від номінальної товщини молибдену для випадку відсутності компенсації помилок. Як видно з фігури, спостерігається значний розкид усадок (до 50 %), викликаний головним чином впливом дрейфу швидкості кремнію, оскільки його товщина щонайменше в 5 разів вище за товщину молибдену.

Додатково на кожну підкладку разом з досліджуваним дзеркалом була також нанесена додаткова багат шарова стопка з товщиною молибдену, що відрізняється. У відповідність з пропонованою корисною моделлю ми використовували два прийоми виміру усадки. Коли товщина молибдену в досліджуваному дзеркалі була відносно невеликою ($t_{Mo} < 0,6$ нм), ми фіксували товщину молибдену в додатковій стопці ($t_{Mo} \sim 1,6$ нм). А коли товщина в досліджуваному дзеркалі перевищувала 0,6 нм, ми виготовляли зразки так, щоб додаткова стопка для попереднього зразка в серії була досліджуваною стопкою для подальшого зразка; наприклад 0,63 нм (у досліджуваній стопці) і 0,83 нм (у додатковій стопці) молибдену для попереднього зразка і 0,83 нм (у досліджуваній стопці) і 1,03 нм (у додатковій стопці) молибдену для подальшого зразка в серії. При побудові графіка залежності усадки від товщини молибдену ми послідовно додавали до мінімальної товщини молибдену (яка в нашому випадку складала 0,23 нм) приріст товщини молибдену в подальших зразках серії і усадку періоду, відповідну даному приросту. На фіг. 2 приведена перебудована залежність усадки періоду БРД Mo/Si від товщини Mo, показана на фіг. 1, відповідно до пропонованої корисної моделі. Як видно з фіг. 2, розкид спостережуваних усадок значно знизився і склав $\pm 4,3$ %, тобто став на порядок нижче при використанні додаткової стопки. Отримані значення лягають на пряму з тангенсом кута нахилу -0,37. Ми також розраховали величини об'ємних усадок і відповідний об'єм Mo, що витрачався, при утворенні різних силіцидів. Ці величини склали 0,980 в разі утворення дисиліциду молибдена ($MoSi_2$); 0,306 - для Mo_5Si_3 ; і 0,179 - для Mo_3Si . Порівняння з розрахунками показують, що склад зон найбільш близький до Mo_5Si_3 . Якщо вважати, що щільність шарів в БРД Mo/Si близька до табличних величин, то точніше можна вказати, що частка Mo_5Si_3 в зоні складає щонайменше 90 %, а решту може займати $MoSi_2$.

Знання складу перемішаних зон дозволяє оптимізувати структуру дзеркала і підвищити її ефективність. Для наведеного вище прикладу ця величина складає щонайменше 2 %. Хоча це невелика величина, проте в разі багатодзеркальних схем, наприклад в рентгенівській літографії і ін., загальну ефективність системи можна підвищити мінімум на 20-30 %.

Позитивною якістю пропонованого способу також є можливість визначення складу аморфних перемішаних зон субнанометрової товщини, що практично неможливе іншими способами, наприклад дифрактометричними. Крім того, немає необхідності виготовляти поперечні зрізи і вимірювати величини перемішаних зон з електронному мікроскопі.

Запропонована корисна модель може також знайти вживання в мікроелектроніці, при створенні дифузійних бар'єрів, захисних покриттів тощо.

Джерела інформації:

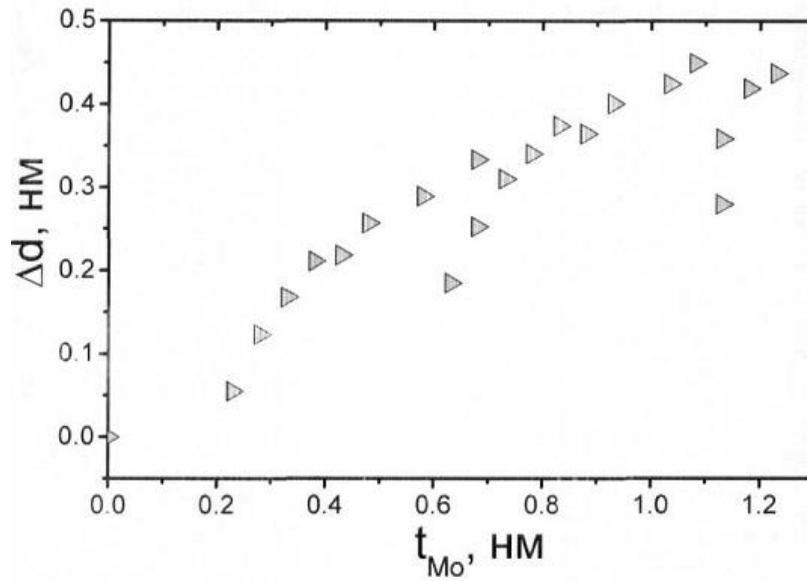
1. P. Boher, Ph. Houdy et al. "Structural characteristics and performances of RF-sputtered Mo/Si and Co/Si multilayers for soft X-ray optics", Proc. SPIE, 1547,21-38(1991).
2. D. G. Steams, R. S. Rosen and S. P. Vernon /High-performance multilayer mirrors for soft x-ray projection lithography", Proc. SPIE, 1547, 2-13 (1991).

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

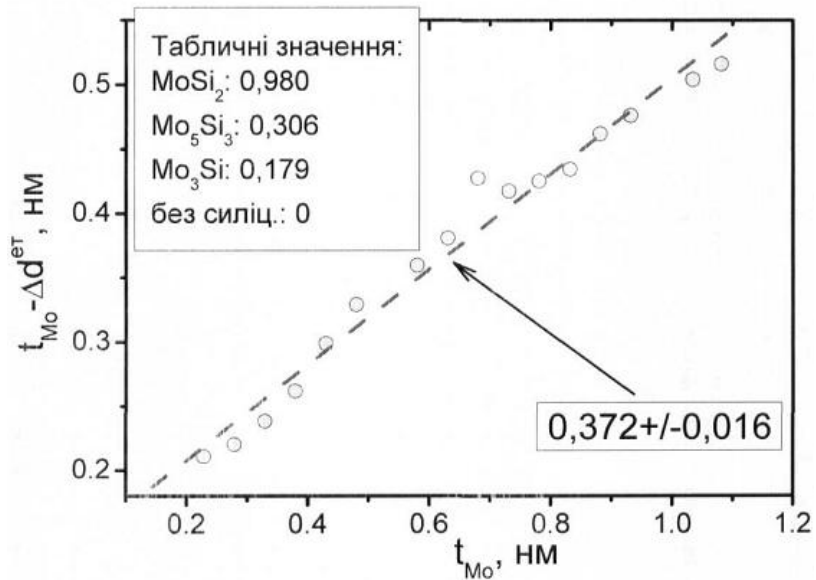
1. Спосіб оцінки складу перемішаних зон в багат шарових рентгенівських дзеркалах, що полягає у нанесенні серії періодичних дзеркал на підкладки із змінною товщиною одного з компонентів, визначенні усадки періоду і порівнянні її з розрахунковими значеннями, який **відрізняється** тим, що разом з періодичним дзеркалом на кожну підкладку напілюють додаткове багат шарове дзеркало з іншою товщиною компонента змінної товщини, а усадку знаходять по відношенню до додаткового багат шарового дзеркала.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що товщину компонента змінної товщини в додатковому багат шаровому дзеркалі вибирають рівній товщині цього компонента в іншому періодичному дзеркалі серії.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що товщину компонента змінної товщини в додатковому періодичному дзеркалі для всіх зразків серії вибирають однаковою.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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