



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **90841** (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

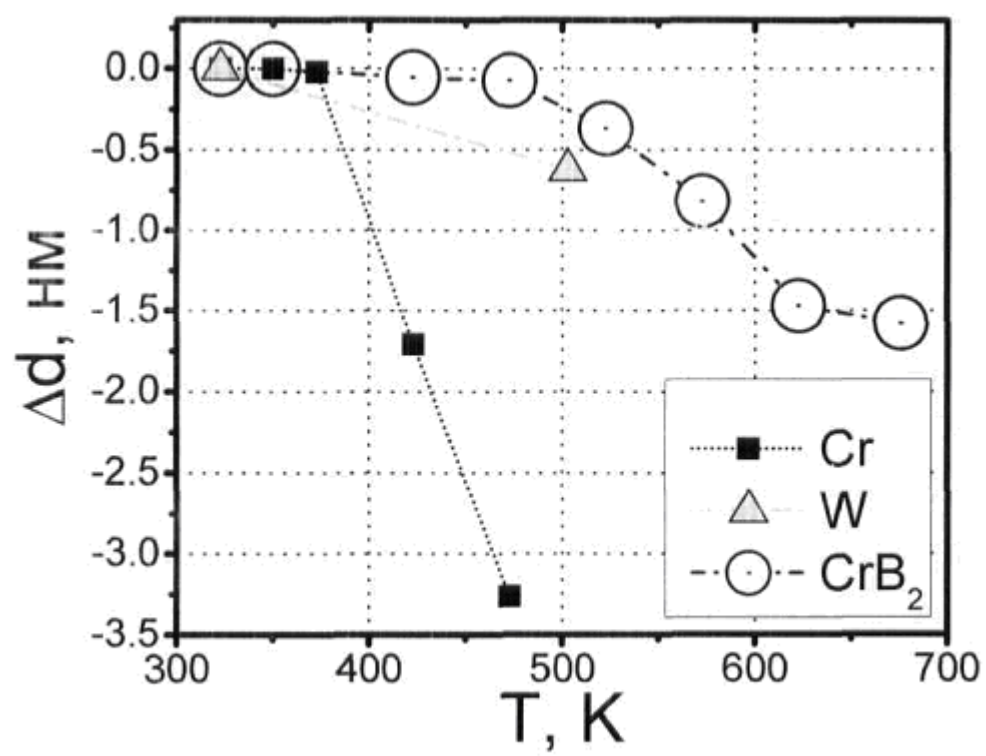
(21) Номер заявки: u 2014 00477	(72) Винахідник(и): Першин Юрій Павлович (UA), Девізенко Олександр Юрійович (UA), Севрюков Денис Валерійович (UA), Кондратенко Валерій Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.01.2014	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.06.2014	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2014, Бюл.№ 11	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)

(54) БАГАТОШАРОВЕ РЕНТГЕНІВСЬКЕ ДЗЕРКАЛО

(57) Реферат:

Багатошарове рентгенівське дзеркало складається з почергових основних шарів двох або більше матеріалів і бар'єрних шарів, розташованих щонайменше на одній з міжфазних меж основних шарів. Бар'єрний шар складається зі сплаву проникнення з атомною щільністю більше 90 атомів/нм³.

UA 90841 U



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

Відомі багатошарові рентгенівські дзеркала, що складаються з шарів металу (Me) і кремнію, що чергуються: Mo/Si, W/Si, Sc/Si і ін. Такі дзеркала мають невисоку термічну і радіаційну стабільність, оскільки системи Me-Si термодинамічно нестабільні. Тому при відносно невеликій зовнішній дії вони деградують за рахунок взаємної дифузії компонентів, утворення сполук, зміни періоду тощо.

Для підвищення стабільності таких багатошарових систем використовують бар'єрні шари на міжфазних межах. Наприклад, в дзеркалах скандій-кремній початкові стадії деградації спостерігаються вже при температурах -323 К. Відомі БРД Sc/Si, в яких для підвищення стабільності використовують бар'єрні шари хрому завтовшки ~0,7 нм [1]. Бар'єрні шари хрому наносять або на одну (Si-Ha-Sc), або на обидві міжфазні межі (Si-на-Sc і Sc-на-Si). Причиною збільшення стабільності є менша дифузійна рухливість атомів Si в Cr [2] в порівнянні з Sc [3]. Проте використання бар'єрних шарів Cr такої товщини зміщує початок дифузійного руйнування БРД Sc/Si приблизно на 50°, що порівняно мало і не забезпечує гарантовану стабільність дзеркала при тривалих термічних навантаженнях (наприклад, в телескопах) і відносно невисоких температурах (333-363 К), чи при накопиченні великого числа малих руйнівних змін при короточасних нагрівах до температур, близьких до граничних (~373 К) [4].

Відомо, що енергія активації взаємодифузії залежить від температури плавлення дифузійного середовища [5]. Тому застосування бар'єрного шару з вищою температурою плавлення дозволяє підвищити стабільність БРД. Так відоме використання вольфраму (температура плавлення $T_{пл} \sim 3660$ К) як матеріалу для бар'єрного шару замість хрому ($T_{пл} \sim 2176$ К). Така заміна покращує ситуацію зі стабільністю БРД W/Sc/W/Si (кресл.), внаслідок чого вони можуть працювати при температурі приблизно на 100° вище в порівнянні з БРД Cr/Sc/Cr/Si без істотного погіршення рентгено-оптичних характеристик. Проте ця система також деградує внаслідок дифузії кремнію через бар'єрний шар вольфраму, хоча і при вищій температурі.

Задача корисної моделі полягає у розширенні температурного діапазону роботи БРД шляхом підбору матеріалу для бар'єрного шару, що має високу атомарну щільність.

Поставлена задача вирішується тим, що у багатошаровому рентгенівському дзеркалі, яке складається з почергових основних шарів двох або більше матеріалів і бар'єрних шарів, розташованих щонайменше на одній з міжфазних меж основних шарів, згідно з корисною моделлю, бар'єрний шар складається зі сплаву проникнення з атомною щільністю більше 90 атомів/нм³; також бар'єрний шар складається з бориду, карбіду, нітриду або їх суміші; також на міжфазних межах з бар'єрним шаром є прошарки, що складаються з продуктів реакції між бар'єрним і основними шарами, в яких міститься щонайменше один з продуктів реакції з атомною щільністю більше 90 атомів/нм³.

Суть корисної моделі полягає в тому, що подальшого підвищення стабільності БРД Me/Si можна добитися, якщо використовувати наступний підхід для уповільнення дифузійних процесів, що відбуваються всередині багатошарової системи. Існують два основні механізми дифузії в тонкоплівкових системах: вакансійний і міжвузловий. Дифузія по вакансіях сповільнюється, якщо вона, як вказано вище, відбувається в речовині що має вищу температуру плавлення, оскільки в такій речовині атоми міцніше зв'язані один з одним в порівнянні з речовиною з нижчою температурою плавлення, і атома, який дифундує, для здійснення стрибка на місце вакансії необхідно мати велику енергію для того, щоб розсунути сусідні атоми.

Дифузія по міжвузлях перебігає тим повільніше, чим менше розмір міжвузлового простору, тобто, чим більше атомів в одиниці об'єму або, іншими словами, чим вища атомарна щільність. Таким чином, якщо використовувати поєднання цих підходів, можна підвищити стабільність багатошарової системи.

У таблиці представлені дані про температури плавлення деяких чистих речовин, а також їхня атомарна щільність. Як видно з таблиці, вольфрам має одну з найвищих температур плавлення. Тому багатошарова система Sc/Si з бар'єрним шаром W стабільніша в порівнянні з аналогічною системою з бар'єрним шаром Cr (див. кресл.). Відповідно до пропонованої корисної моделі, для подальшого підвищення стабільності багатошарової системи необхідно використовувати бар'єрний шар з високою атомарною щільністю, наприклад CrB₂. Результати випробувань БРД Sc/Si з бар'єрними шарами CrB₂ товщиною 0,3 нм (міжфазна межа Si-на-Sc) і 0,7 нм (міжфазна межа Sc-на-Si), наведені на кресл., показують що дана система найбільш стабільна в порівнянні з попередніми аналогами. Незважаючи на те, що CrB₂ майже в 1,5 рази

поступається вольфраму за температурою плавлення, його атомарна щільність удвічі вища, ніж у вольфраму. В результаті БРД $\text{CrB}_2/\text{Sc}/\text{CrB}_2/\text{Si}$ має ширший діапазон роботи.

Сплави проникнення, що мають високу атомарну щільність, у деякому розумінні є металевою ґратницею, в міжвузлях якої знаходяться відносно невеликі атоми бору, вуглецю, азоту і ін. [6]. Тому бар'єрні шари з цих сплавів мають знижену проникність для атомів, що дифундують, зокрема для кремнію. Аналіз щільності чистих елементів показав, що їхня щільність як правило не перевищує 90 атомів/нм³. При цьому достатньо велика кількість сплавів проникнення мають щільність вище 90 атомів/нм³ (див. таблицю). При цьому вони також можуть мати досить високу температуру плавлення.

Наприклад TiC , VC , TiN , ZrB_2 мають атомну щільність ~ 100 атомів/нм³ і більше, при цьому їх температура плавлення перевищує 3000 К, щонайменше на 650 °С перевищує температуру плавлення CrB_2 . Не дивлячись на те, що вказані вище матеріали формально мають кращі характеристики в порівнянні з CrB_2 , при використанні їх як бар'єрних шарів доводиться також враховувати їхні оптичні характеристики в робочому діапазоні довжин хвиль (35-50 нм). Так CrB_2 має найнижче поглинання серед порівнюваних матеріалів, і тому його використання буде найменшим чином впливати на зниження відбитої здатності БРД Sc/Si в діапазоні довжин хвиль рентгенівського випромінювання 35-50 нм, що неминуче при введенні бар'єрних шарів. Однак, якщо потрібна в першу чергу стабільність, то замість CrB_2 можуть бути використані і інші матеріали, наприклад TiC , VC , TiN , ZrB_2 .

Бар'єрний шар може також взаємодіяти з матеріалами основних шарів ще на стадії виготовлення БРД. Наприклад, на міжфазних межах БРД Sc/Si при використанні бар'єрного шару CrB_2 залежно від конкретних умов осадження і товщини шару можуть утворюватися продукти реакції бар'єрного шару і кремнію: силіциди (CrSi_2) і бориди (B_3Si , B_6Si , ScB_2). Хоча атомарна щільність CrSi_2 відносно невелика (83,1 атомів/нм³), щільність боридів компенсує це високими атомними щільностями (>100 атомів/нм³). В результаті, як видно на кресленні, стабільність БРД $\text{CrB}_2/\text{Sc}/\text{CrB}_2/\text{Si}$ залишається високою в досить широкому діапазоні температур.

Хоча ми показали роботоздатність корисної моделі для БРД Sc/Si з бар'єрним шаром CrB_2 , очевидно, що його застосування не обмежується конкретним прикладом. Так для БРД на основі кремнію (W/Si , Mo/Si , Ni/Si і ін.) можна використовувати бар'єрні шари з бориду (наприклад, TiB_2 , VB_2 , ZrB_2 , Mo_2B_5 , W_2B_5) і нітриду (наприклад, CrN , TiN); а для БРД, що містять такі метали, як W , Ta , Mo , Ni і ін., - бар'єрні шари з карбідів (наприклад, TiC , VC , Cr_3C_2) і так далі.

Джерела інформації:

1. Yulin S., Schäfers F. et al. "Enhanced reflectivity and stability of Sc/Si multilayers", Proc. SPIE, 5193, doi:10.1117/12.505582 (2004).

2. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС. - Москва: Мир, 1986. - 176 с.

3. Voronov D.L., Zubarev E.N. et al. "Initial stages of diffusion and phase formation in Sc/Si layered systems", Functional Materials, 15, №1, 30-37 (2008).

4. Juha L., Hájková V. et al. "Radiation damage to amorphous carbon thin films irradiated by multiple 46.9 nm laser shots below the single-shot damage threshold", J. Appl. Phys., 105, 093117 (2009).

5. Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. - Москва: Металлургия, 1978. - 248 с.

6. Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения, выпуск 1. - Москва: Мир, 1971. - 424 с.

Таблиця

Температури плавлення і атомна щільність для деяких чистих елементів і сплавів проникнення

	Елемент (сплав)	Тпл., К	Атомна щільність, атомів/нм ³
1	Cr	2176	83,3
2	Mo	2890	64,1
3	Ta	3270	55,3
4	W	3660	63,1
5	TiC	3423	99,1
6	VC	3123	102,5
7	Cr_3C_2	2168	111,7
8	TaC	4153	90,4
9	WC	3058	96,1
10	TiB_2	3193	115,7

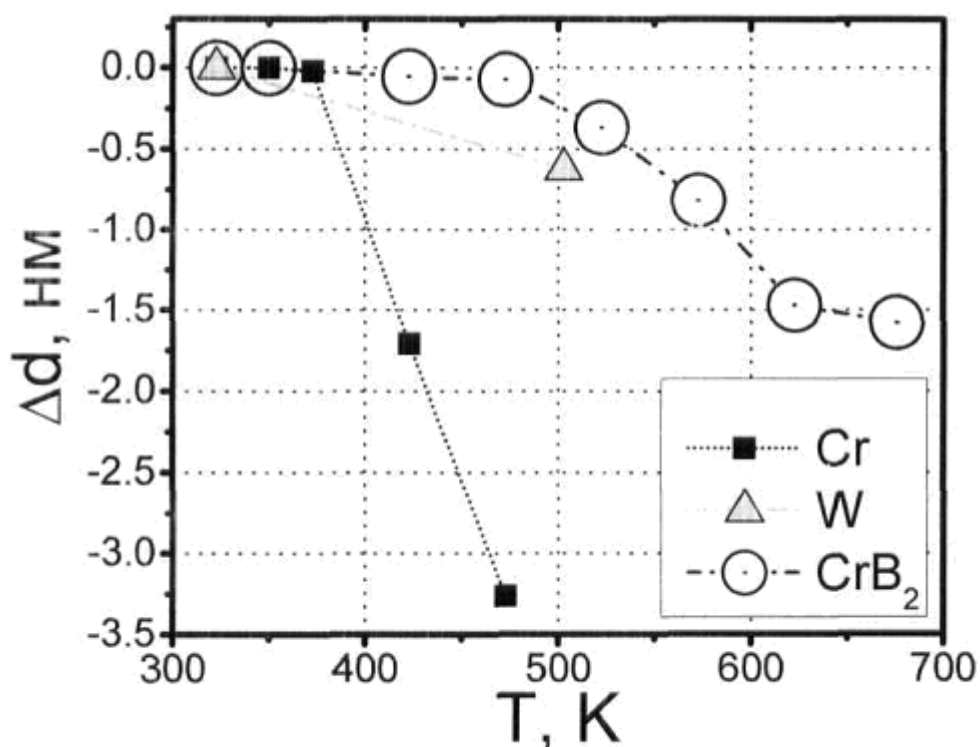
Таблиця

Температури плавлення і атомна щільність для деяких чистих елементів і сплавів проникнення

	Елемент (сплав)	Тпл., К	Атомна щільність, атомів/нм ³
11	VB ₂	2673	131,5
12	CrB ₂	2473	137,4
13	ZrB ₂	3313	98,8
14	Mo ₂ B ₅	2473	120,2
15	W ₂ B ₅	2643	129,9
16	TiN	3223	105,7
17	CrN	1773	111,3

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 1. Багатошарове рентгенівське дзеркало, яке складається з почергових основних шарів двох або більше матеріалів і бар'єрних шарів, розташованих щонайменше на одній з міжфазних меж основних шарів, яке **відрізняється** тим, що бар'єрний шар складається зі сплаву проникнення з атомною щільністю більше 90 атомів/нм³.
- 10 2. Багатошарове рентгенівське дзеркало за п. 1, яке **відрізняється** тим, що бар'єрний шар складається з бориду, карбіду, нітриду або їх суміші.
3. Багатошарове рентгенівське дзеркало за п. 1, яке **відрізняється** тим, що на міжфазних межах з бар'єрним шаром є прошарки, що складаються з продуктів реакції між бар'єрним і основними шарами, в яких міститься щонайменше один з продуктів реакції з атомною щільністю більше 90 атомів/нм³.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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