



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57053 (13) U
(51) МПК (2011.01)
C23C 14/35
C23C 28/00
G02B 1/10
G01N 23/083 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДЗЕРКАЛ

1

2

(21) u201008583

(22) 09.07.2010

(24) 10.02.2011

(46) 10.02.2011, Бюл.№ 3, 2011 р.

(72) ПЕРШИН ЮРІЙ ПАВЛОВИЧ, СЕВРЮКОВА
ВІКТОРІЯ АНАТОЛІЇВНА, ЗУБАРЄВ ЄВГЕНІЙ МИ-
КОЛАЙОВИЧ, КОНДРАТЕНКО ВАЛЕРІЙ ВОЛО-
ДИМИРОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

(57) 1. Спосіб виготовлення багатошарових рент-
генівських дзеркал, який полягає у вакуумуванні
установки, напуску розпиляючого газу до робочого
тиску, подачі напруги на мішені, які розпиляються,

для підпалу розрядів і почерговому нанесенні ша-
рів двох або більше речовин на підкладку, який
відрізняється тим, що при нанесенні шарів робо-
чий тиск і відстань мішень-підкладка вибирають
так, щоб їх добуток знаходився в межах від 3 до
20Па×мм.

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що ро-
бочий тиск розпиляючого газу змінюють в межах
від 0,1 до 0,5Па при фіксованій відстані мішень-
підкладка.

3. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що від-
стань між мішенню і підкладкою вибирають в межах
від 0,5 до 2 довжин вільного пробігу атомів газу
при фіксованому тиску розпиляючого газу.

Корисна модель відноситься до галузі прила-
додування, зокрема до багатошарових рентге-
нівських дзеркал (БРД) на основі пар матеріалів
метал-кремній, що працюють в діапазоні довжин
хвиль м'якого рентгенівського випромінювання 0,4-
70,0нм. Вона може бути використана при створен-
ні приладів на основі цих рентгенооптичних еле-
ментів.

Відомий спосіб виготовлення багатошарових
рентгенівських дзеркал [1], згідно якому у вакуум-
ній камері на підкладку здійснюють почергове оса-
дження шарів двох речовин з термічних джерел
випаровування, зокрема з електронно-променевих
гармат. Оскільки енергія осаджених атомів, при
термічному випаровуванні мала (<0,1эВ), а темпе-
ратура підкладки як правило не перевищує 400К,
покриття на дзеркалах ростуть з шорсткими між-
фазними межами розділу (>2нм), причому зі збі-
льшенням числа шарів шорсткість зростає. Крім
того, низька швидкість осадження (як правило ме-
нша 0,1нм/с), пов'язана з необхідністю контролю
товщини кожного з шарів з атомарною точністю,
призводить до великих витрат часу на виготов-
лення одного дзеркала, які становлять декілька
годин. Ці недоліки призводять до того, що такий

спосіб дозволяє виготовляти БРД лише з періода-
ми, d, не меншими 10нм і відбивною здатністю, яка
становить приблизно половину від теоретично
можливої.

Застосування іонно-променевого травлення [2,
3] поверхні всіх шарів або шарів однієї з речовин
після їх нанесення знижує міжфазні шорсткості, що
розвиваються при термічному осадженні, і збіль-
шує ефективність БРД. Проте це не вирішує про-
блему виготовлення короткоперіодних дзеркал (з
періодами d<5нм), що пов'язано з недоліками,
притаманними методу термічного випаровування
(шорсткість і низька швидкість осадження), і скла-
дністю контролю товщини тонких шарів (менше
3нм). Крім того, введення додаткової процедури
травлення істотно ускладнює сам процес виготов-
лення БРД і збільшує його тривалість, особливо
для випадку дзеркал з великим числом періодів
(N>60), що підвищує можливість здійснення поми-
лок в структурі БРД і, відповідно, знижує вираш
від використання травлення.

Принципово проблема шорсткості міжфазних
меж в БРД і зростання їхньої відбивної здатності
вирішується при використанні методів розпилення.
Одним із основних методів розпилення речовин,

(19) UA (11) 57053 (13) U

використовуваних при виготовленні БРД, є магнетронне розпилення [4]. При цьому істотно підвищується гладкість меж розділу шарів, спрощується технологія виготовлення короткоперіодних дзеркал (з періодами $d \sim 2-4$ нм) і розширюється круг використовуваних матеріалів. Проте балістичні ефекти, які супроводжують осадження шарів при розпиленні, призводять до часткового перемішування сусідніх шарів і формування міжфазних прошарків, що негативно впливає на ефективність БРД.

Завданням корисної моделі є підвищення ефективності багатозарових рентгенівських дзеркал, виготовлених методом розпилення, шляхом зниження товщини міжфазних прошарків за рахунок ослаблення балістичних ефектів.

Завдання вирішується тим, що у відомому способі виготовлення багатозарових рентгенівських дзеркал, який полягає у вакуумуванні установки, напуску розпиляючого газу до робочого тиску, подачі напруги на мішені, які розпиляються, для підпалу розрядів і почерговому нанесенні шарів двох або більше речовин на підкладку, при нанесенні шарів робочий тиск і відстань мішень-підкладка вибирають так, щоб їх добуток знаходився в межах від 3 до 20 Па·мм, також тим, що робочий тиск розпиляючого газу змінюють в межах від 0,1 до 0,5 Па при фіксованій відстані мішень-підкладка, а також тим, що відстань між мішенню і підкладкою вибирають в межах від 0,5 до 2 довжин вільного пробігу атомів газу при фіксованому тиску розпиляючого газу.

Суть корисної моделі полягає в тому, що вплив балістичних ефектів ослабляється за рахунок зниження енергії атомів, які потрапляють на підкладку. Зниження енергії здійснюється за рахунок вибору умов осадження шарів БРД, при якому атоми, що летять на підкладку, стикаються з атомами газу, що розпиляє. Це досягається або підвищенням тиску розпиляючого газу, або збільшенням відстані мішень-підкладка, або погодженою зміною цих двох параметрів таким чином, що відстань від зони травлення мішені до підкладки стає порівнянною або більше довжини вільного пробігу в середовищі газу, що розпиляє. При виготовленні МРЗ одна з речовин вибирається з легких матеріалів (Be, B, C, Mg, Si і ін.), а друга - метал (Sc, V, Co, Ni, Mo, W і ін.), який як правило має порівняно велику атомну масу. Перемішування на міжфазних межах створюють важкі атоми металу та атоми розпиляючого газу, відбиті від мішені (коли маса атомів мішені більша маси атомів газу, що розпиляє). При однократному зіткненні атомів металу і інертного газу може втрачатися до 90 % енергії (наприклад, у випадку пари атомів Sc і Ar). При зіткненні відбитих атомів розпиляючого газу з термалізованими атомами розпиляючого газу налітаючий атом втрачає до 50% енергії (унаслідок симетрії зіткнення).

Нижче наведено два приклади, які ілюструють вплив на ефективність дзеркал зміни параметрів осадження багатозарових рентгенівських дзеркал Sc/Si і Mo/Si відповідно до пропонованої корисної моделі.

На Фіг.1 показана залежність товщини перемішаних зон ($t_{Sc/Si}$) в багатозарових рентгенівських дзеркалах Sc/Si з періодами ~ 27 нм від тиску робочого газу аргону (p_{Ar}). З цієї фігури видно, що при збільшенні тиску Ar від 0,21 до 0,32 Па товщина перемішаних зон зменшується приблизно з ~ 5 до $\sim 1,5$ нм, тобто більш ніж у три рази. Кружки і квадрати відносяться до різних експериментів. На Фіг.2 показано, що при такому зниженні товщини перемішаних зон відбивна здатність, R, для БРД Sc/Si при нормальному падінні на довжині хвилі м'якого рентгенівського випромінювання 46,9 нм повинна зрости з 33% до 44% (лінія з позначкою "теорія"). Це підтверджується експериментально (кружки). Зі зростанням тиску збільшується також міжшарова шорсткість приблизно з 0,7 до 1,0 нм. Проте з урахуванням періоду дзеркал її вплив на відбивну здатність неістотний.

На Фіг.3 показаний графік залежності зміни товщини перемішаних прошарків $t_{Mo/Si2}$ в багатозарових рентгенівських дзеркалах Mo/Si з періодами ~ 7 нм при зміні тиску розпиляючого газу Ar (p_{Ar}) від 0,13 до 0,35 Па. На цій залежності видно, що товщина перемішаних прошарків змінюється майже в три рази. Очікуване збільшення відбивної здатності БРД Mo/Si на довжині хвилі 13,5 нм при нормальному падінні становить $\sim 3\%$. Оскільки зростання тиску газу, що розпиляє, для даного типу БРД також супроводжується зростанням шорсткості, то для максимального ефекту від зниження товщини перемішаних прошарків для даного типу дзеркал необхідно оптимізувати граничні параметри осадження (найбільший тиск, найбільша відстань мішень-підкладка або обидва ці параметри). З урахуванням того, що наростання шорсткості носить більш поступовий характер, встановлення цих параметрів не викличе великих труднощів.

При роботі приладів, оснащених БРД, часто використовується два і більше дзеркал. Тому навіть невеликий вигреш у відбивній здатності дозволить помітно підвищити ефективність всього приладу. Наприклад в системах рентгенівської літографії на довжині хвилі 13,5 нм, основними елементами яких є БРД Mo/Si, може використовуватися до 9 дзеркал. Підвищення відбивної здатності кожного БРД Mo/Si на 3% призведе до підвищення оптичної ефективності літографа і його продуктивності майже на 25%.

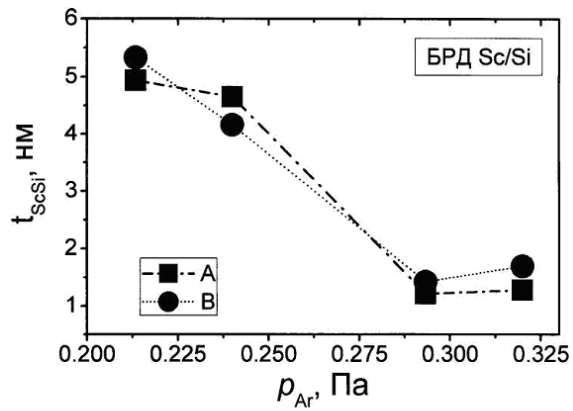
Джерела інформації:

1. E. Spiller, L. Golub, Fabrication and testing of large area multilayer coated X-ray optics, Applied Optics, 1989, Vol. 28, # 14, pp.2969-2974.

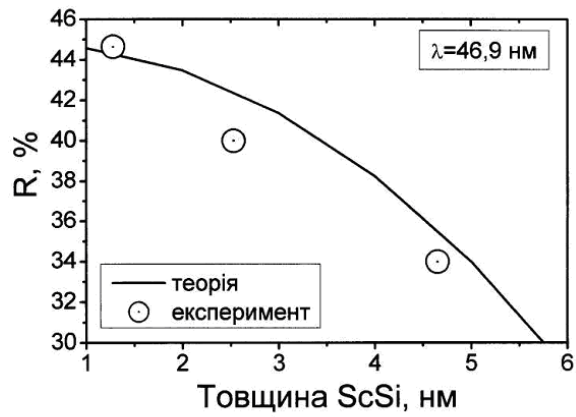
2. R. Schlattmann, C. Lu, J. Verhoeven, E.J. Puijk, M.J. van der Wiel, Modification by Ar and Kr ion bombardment of Mo/Si X-ray multilayers. Applied Surface Science, 1994, vol. 78. pp.147-157.

3. A. Yakshin, E. Louis, F. Bijkerk. Method for the production of multilayer systems. US Patent 6,483,597; Nov. 19, 2002.

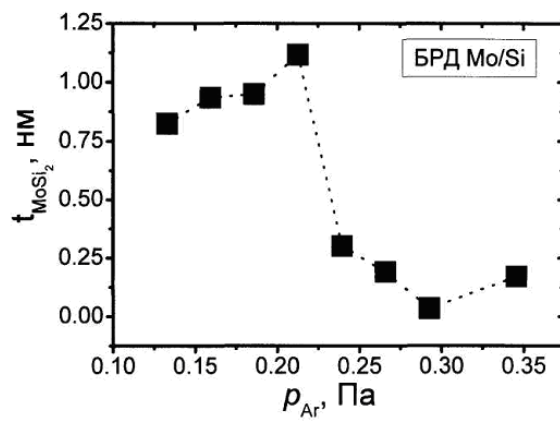
4. S.S. Andreev, S.V. Gaponov, S.A. Gusev, M.N. Haidl, E.B. Kluev, K.A. Prokhorov, N.I. Polushkin, E.N. Sadova, N.N. Salashchenko, L.A. Suslov, S.Yu. Zuev. The microstructure and X-ray reflectivity of Mo/Si multilayers, Thin Solid Films, 2002, Vol. 415, pp. 123-133.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3