

ДОНЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Волоконська Анжела Анатоліївна

Моделювання процесів нанесення тонкоплівкового покриття іонно-плазмовими методами.

01.04.07 - "Фізика твердого тіла"

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Донецьк-1995

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00486057 (U)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

На правах рукопису

Волоконська Анжела Анатоліївна

Моделивання процесів нанесення тонкоплівкового
покриття іонно-плазмовими методами.

01.04.07 - "Фізика твердого тіла"

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Донецьк-1995

АБ 33.368

Дисертація є рукопис.

Робота виконана у Донецькому державному університеті.

Наукові керівники: доктор фізико-математичних наук,
професор Бажин А.І.,
кандидат фізико-математичних наук,
Теплов С.В.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
Лозовський В.З.
кандидат фізико-математичних наук,
Мелихов Ю.В.

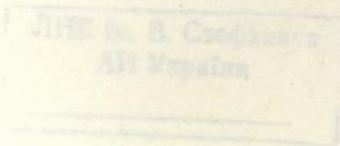
Провідна організація: Запорізьський технічний університет.

Захист відбудеться "___"_____1995р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 06.06.03 при Донецькому державному університеті (340055, м. Донецьк, вул. Університетська, 24).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Донецького державного університету.

Автореферат розісланий "___"_____1995р.

Вчений секретар спеціалізованої ради
кандидат фізико-математичних наук О.С.Забанов



Загальна характеристика роботи.

Актуальність проблеми.

За теперішнього часу практично усі галузі промислового виробництва використовують нанесення тонких плівок різних речовин, які додають конструкційним матеріалам необхідні технологічні та експлуатаційні властивості. Для нанесення плівки використовують різні фізичні процеси, дозволяючи одержувати та здійснювати перенесення синтезованої речовини від джерела на підкладку. Основні з них є термічне випарювання, іонне розпилення (іонно-плазмове, магнетронне), газотранспортні реакції. Одержання плівок пучками іонів та іонно-плазмовими методами на відміну від інших методів з огляду керування та синергічного характеру з'являється найбільш перспективним. У технології плівкового осадження у формі плазми або іонно-променевої технології для виробництва плівок вбираючих металічні, напівпровідникові та діелектрики використовується гіпертермальна область значення енергії (1-1000eV) [1]. Серед переваг його використання слідуючі: епітаксимальний ріст кристалічних плівок при низькій температурі підкладки, виробництво метастабільних фаз, зростання густини та твердості добра адгезія. Хоч обширні експериментальні дані, відносячися до осадження плівок низькоенергетичними видами характеризуються не достіть повним фундаментальним зрозумінням та малим набором точних контролюємих параметричних даних. Це в значній ступені викликано складної хіміко-фізичної природою систем практичного осадження де первичні параметри мають гіпертермальний розподіл їх важко визначати та контролювати [2-4]. Падаючий пучок звичайно включає суміш іонів, свободні радикали та атоми з великими розкидами в енергіях розподілу та кутках падіння. Крім того, осадження плівки іонними пучками супроводжується цілим рядом супутніх-часто протилежного ха-

рактору успішне керування характеристиками плівки при відомих умовах осадження (густини потоку, енергії пучка, температури підкладки) вимагає обліку одного або суперпозиції процесів, супроводжуваних осадження (адсорбцію, субплантацію, каскадне перемішування, термічну та радіаційно-стимульовану дифузію, сегрегацію, хімічні реакції і т. д.). Існуючі у літературі дані свідчать про те, що у теперішній час нагромаджен обширний експериментальний матеріал та проведені теоретичні дослідження, дозволяючи проводити оцінки для окремих процесів, відбуваючих при осадженні плівки різними методами, у тому числі йонними пучками. Але, у плані теоретичних досліджень, взагалі, для розрахунку процесу осадження низькоенергетичних частинок використовується метод молекулярної динаміки, який не завжди є досить зручним по-перше тому що спроба взяти на увагу одночасно усі фізичні процеси супроводжувачі осадження приводять до того, що модель стає менш рухливою, а по-друге, до великих витрат машинного часу. Разом з тим, результати проведення таких процесів як утворення тонких плівок заданної стехіометрії з необхідними властивостями, вирівнювання порігів та утворення мілких переходів за допомогою йонної імплантації, становлять все більш чутливі до змін технологічних параметрів та вимагають кращого розуміння фізики вищезгаданих процесів.

ЦІЛЬ РОБОТИ

Метою цієї дисертації є утворення дифузійних моделей осадження плівки у широкому енергетичному діапазоні (1-1000 eV) та розроблення на основі запропонованих моделей найбільш прийнятих з технологічної точки зору (з найменшими витратами машинного часу) численних методів розрахунку стехіометричного та для окремих випадків фазового складу плівки та підкладки в процесі її осадження. Теоретично дослідити у рамках дифузійної моделі вплив процесів, супутніх осадженню плівки на концентраційний профіль

- Створені програми дозволяють розраховувати концентраційний профіль підкладки та плівки при нанесенні її іонними пучками з контролюваними параметрами осадження: густинами потоків, енергіями пучка, температурою підкладки (у тому числі з одночасним бомбардуванням іонами інертного і хімічно активного газу).

- Вперше теоретично досліджені особливості формування структурного і фазового складу карбідних плівок при напыленні їх іонними пучками.

О С Н О В Н І П О Л О Ж Е Н Н Я Щ О В И Н О С Я Т Ь С Я Н А З А Х И С Т

1. Ефективний засіб опису субплантаційних ефектів при напыленні багатоконпонентних плівок іонними пучками.

2. Теоретичне дослідження у рамках дифузійного наближення впливу каскадного перемішування та вакансійно-стимульованої дифузії на концентраційний профіль підкладки і плівки, осаджуваної іонним пучком у широкому енергетичному діапазоні. Модель модифікована для випадку одночасного осадження з бомбардуванням іонами інертного газу.

3. Модель осадження плівок пучками іонів хімічно активних елементів. Ступінь впливу фізико-хімічних властивостей контактуючих матеріалів на формування концентраційного профілю плівки та

підкладки при іонно-активуючим синтезу.

М. Теоретичне дослідження особливостей формування структури вуглицевих півок при осадженні іонно-плазмовими та іонно-пучковими методами при різних технологічних умовах.

Апробація роботи.

Результати доповідалися на наступних конференціях:

XI міжнародна конференція "Взаимодействие ионов с поверхностью", 1993р.

XII міжнародна конференція "Взаимодействие ионов с поверхностью", 1995р.

Основні результати дисертації були представлені і обговорювались на науковій конференції студентів і викладачів Донецького університету.

СТРУКТУРА И ОБСЯГ РОБОТИ

Дисертація складається з вступу, шести глав, висновка та списку бібліографічних найменувань. Обсяг роботи складає 114 сторінок друкованого тексту.

З М І С Т Р О Б О Т И

У ВСТУПІ обгрунтовано актуальність теми, якій присвячена дисертаційна робота, сформульовані основні проблеми та практична цінність їх рішення, перераховані основні положення, які виносяться автором на захист, дається структура дисертації по главам.

ПЕРВА ГЛАВА має оглядний характер. На основі аналізу літератури у ній коротко розглянуто основні явища супроводжувачі процес осадження покриття іонно-пучковими та іонно-плазмовими методами: фізична та хімічна адсорбція, розпилення, десорбція газу іонним бом-

бардуванням, міграція атомів на поверхні, радіаційно-стимульована дифузія, іонно-активуючий синтез хімічних сполучень.

Розглянуто основні, найбільш загальновідомі модельні уявлення цих явищ, а саме метод статистичного іспиту (Монте-Карло), числене рішення транспортного рівняння Больцмана, метод моментів розподілу, вихідною точкою якого також є рішення рівняння Больцмана та математичні методи їх опису. Обговорювались досягнення та недостатки методів, вказувалось на невирішені актуальні проблеми.

Розглянуто існуючі у літературі дифузійні моделі окремих процесів, супроводжуваних осадження тонкої плівки іонно-пучковими та іонно-плазмовими методами та можливість їх використання при деяких технологічних умовах.

У ДРУГІЙ ГЛАВІ запропонована дифузійна модель осадження тонких плівок іонними пучками невеликих енергій (включаючи багатоконпонентні плівки).

У розділі 2.1. дається опис математичної моделі з обліком адсорбції падаючих частинок, неглибоку приповерхневу імплантацію (субімплантацію), розпилення (як з верхнього монослою, так і з декількох нижчележачих монослоїв). У роботі [5] побудована феноменологічна модель атомного перемішування в умовах одночасної адсорбції та розпилення. У рамках цієї моделі припускалось, що розпилення відбувається тільки з першого монослою та осадження відбувається на верхній монослой. В теперішній главі береться спроба обліку у рамках вищеописаної моделі розпилення не тільки з верхнього монослою а з нижчележачих монослоїв, а також деякі процеси пов'язані з субімплантацією [1] осаджуваних частинок.

Запропоновано нестационарне рівняння, описуюче зміну концентрації у момент часу t зміни числа атомів i -го компоненти у l -му шару:

$$\frac{dC_i^{(e)}}{dt} = - \sum_j \frac{I_j \cdot Y_{ij}}{C_s} e^{-x/\lambda} \cdot C_i^{(e)} \sum_j \frac{I_j \cdot d_{ij}}{C_s} C_j^{(e)} + C_i^{(e+1)} \sum_j \frac{I_j \cdot Y_{ij}}{C_s} C_j^{(e)} +$$

$$+ C_i^{(e-j)} \sum_{i,j} \frac{I_{ij} d_{ij}}{C_s} C_j + C_j^{(e)} C_s \quad (1)$$

X-координата, розрахована від поверхні півки в глибину зразку,

C_s - повна поверхнева концентрація,

d_{ij} - коефіцієнт прилипання атомів сорта i до j-виду,

Y_{ij} - коефіцієнт розпилення,

I - густина потоку падаючих частинок,

C_s - частотна імовірність субплантації.

Записано дифузійне рівняння, яке дозволяє розраховувати концентраційний профіль з обліком різних супутніх процесів:

$$(D_i^* + D_{i-term}) \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} + v_i \frac{\partial C_i}{\partial z} - \frac{I Y_i}{C_s} C_i - \frac{I d_{ij} C_j}{C_s} e^{-\frac{(z-R_0)}{2\lambda}} = \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (2)$$

$$D_i^* = \frac{z_0^2}{2} \left(\sum_{i,j} \frac{I Y_{ij} C_j^{(i)}}{C_s} + \sum_{i,j} \frac{I d_{ij} C_j^{(i)}}{C_s} \right); \quad v_i = z_0 \left(\sum_{i,j} \frac{I Y_{ij} C_j^{(i)}}{C_s} + \sum_{i,j} \frac{I d_{ij} C_j^{(i)}}{C_s} \right) \quad (3)$$

D_i^* - коефіцієнт стохастичного перемішування,

v_i - швидкість зростання півки.

$$D_{i-term} = D_0 \exp(-Q/RT) \left[1 + \frac{z_0 C_s}{RT} (1-C) \right] \quad (4)$$

z_0 - відаль між монослоями.

Можливі умови уявляють собою закон збереження числа частинок на межі рухомих півки.

В розділі 2.2. приведено результати розрахунків та порівняння з експериментальними даними.

Досліджена залежність розподілу концентрацій в півки та підкладки від технологічних режимів осадження (енергії осаджуваних частинок, густин потоків) для різних систем. Як тест запропонованої моделі та методики розрахунку використовували результати розрахунків, виконані методом молекулярної динаміки [1]. Як показує

розрахунки, додатки, зв'язанні з субплантацією осаджуваних частинок та з розпиленням з нижележачих слоїв доцільно узяти на увагу при енергіях більших 30-40 эВ (у залежності від матеріалу плівки та підкладки), при більш низьких енергіях пайка частинок, адсорбованих на поверхні та покидаючих поверхню значно перевищує частку частинок, пов'язаних з субплантацією та "глибинним" розпиленням.

В розділі 2.3. досліджено вплив термічної дифузії на формування концентраційного профілю підкладки та плівки (у тому числі багатокomпонентної).

В ТРЕТІЙ ГЛАВІ запропонована модель дисконтовуюча вплив каскадного перемішування на кінетику формування перехідного шару при осадженні покриття іонними пучками більш високих енергій, порядку сотень эВ (вбирая одночасне бомбардування іонами інертного газу, а також одночасне осадження атомів та потоку прискорених іонів).

У розділі 3.1. дається математичний опис моделі з обліком процесів каскадного перемішування, досліджена проблема релаксації упругих напружень при каскадному перемішуванні у процесі осадження тонкої плівки. Автором запропоноване наступне рівняння для частотної імовірності каскадного перемішування:

$$W^{k,0} = \frac{1}{6N} \left(\frac{0.4 I_d}{E_d} \right) \left(\frac{dE}{dx} \right)_n < z_0^2 > \exp \left[- \left(\frac{z_0 (k-1) R_{ppl}}{\Delta R_{ppl}} \right)^2 - 1 \right]$$

У рівнянні (1) дописуться два доданки, описуючих переходи за рахунок каскадів зіткнень, та відповідно два доданки, дозволяючих зберігати баланс частинок у моношару. Внаслідок неважких математичних обчислень одержано дифузійне рівняння з коефіцієнтами каскадного перемішування:

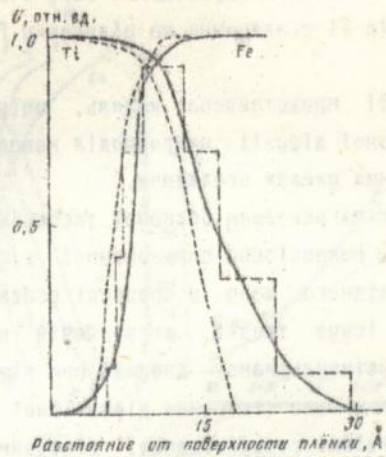
$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = (D_i + D_{i, \text{кас}}) \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + (b + \sigma_{\text{ел}}) \frac{\partial C_i}{\partial x} + (1 - C_i) \left(W_{\text{а}}^{k+1} + W_{\text{г}}^{k+1} \right)$$

$$D_{\text{каскад}} = \frac{z_0^2}{2} [W^{k+1, k, k+1} C^{k+1} + W^{k+1, k, k+1} C^{k+1} + W^{k, k, k+1} - W^{k, k, k+1}]$$

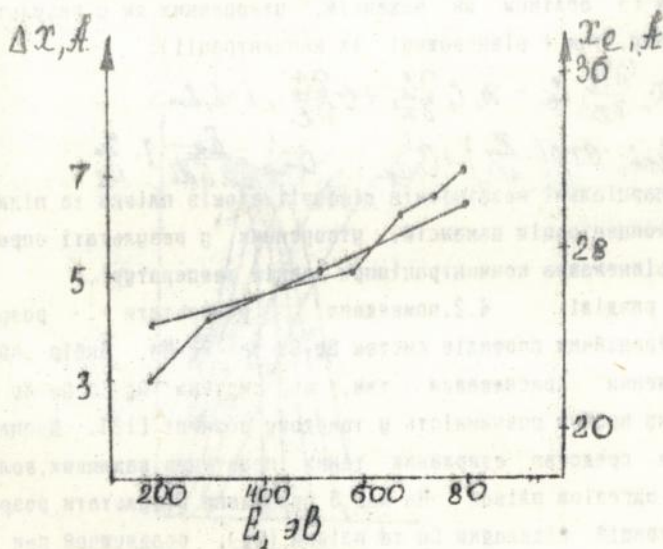
та густиною колективного струму, необхідні для підтримання незмінної загальної концентрації вузлів решітки:

$$C_{\text{вс}} = z_0 [(W^{k+1, k, k+1} C^{k+1} + W^{k+1, k, k+1} C^{k+1}) - (W^{k, k, k+1} - W^{k, k, k+1})]$$

У розділі 3.2. приведені результати розрахунків концентраційних профілів плівки та підкладки при різних енергіях пучка та різних енергіях бомбардування поновлючої плівки іонами інертного газу. В якості тесту запропонованої моделі використовували результати розрахунків концентраційних профілів покриття та підкладки, одержані методом Монте-Карло з работ [6,7]. На мал. 1 приведені результати розрахунку концентраційного профілю плівки та підкладки при її осадженні з пучка іонів Ti з енергією 500 эВ та густиною потоку 10 ион/см с на підкладку Fe (суцільна лінія). Пунктирною лінійю зображено результати розрахунків цього розподілу узяті з роботи [6]. Кралками показані результати розрахунку концентраційного профілю покриття та підкладки одержані без обліку ролі каскадного перемішування. Як видно, облік ролі каскадного перемішування впливає як на форму концентраційного профілю покриття та підкладки так и на товщину перехідного шару. Зрозуміло, що у результаті каскаду зіткнень відбувається більш глибоке проникнення матеріала плівки у підкладку, розмір перехідного шару збільшується, з'являються характерні "хвости" у глибину підкладки. Як видно з малюнка при вказаній вище енергії модель, обліковуюча каскадне перемішування знаходиться у задовільній відповідальності з результатами роботи [6]. Для інтерпретації одержаних результатів та використання їх на практиці приведено



мал.1



мал.2

графік залежності товщини перехідного шару від енергії наносючого покриття для іонів Ti осаджуваних на підкладку Fe(мал. 4. 02 4).

В ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ представлена модель, оцінює вплив радіаційно-стимульованої дифузії на розподіл концентрацій у плівки та підкладки при різних умовах осадження.

В літературі нагромаджен обширний експериментальний матеріал, вказуючий на роль вакансійно-прискореної дифузії на кінетику формування перехідного шару у процесі осадження тонкої плівки [8-11]. Однак не існує теорії, дозволяючої кількісно оцінювати вплив радіаційно-стимульованої дифузії при різних умовах напылення. Метою цієї глави було створення дифузійної моделі, зберігаючої вплив радіаційно-стимульованої дифузії на формування концентраційного профілю підкладки та тонкої плівки, осаджуваної пучками іонів низьких енергій (50-200 эВ).

У розділі 4.1. записано рівняння, описуюче дифузії по вакансіях (з обліком як вакансій, утворених як у результаті опромінення, так і рівноважної їх концентрації):

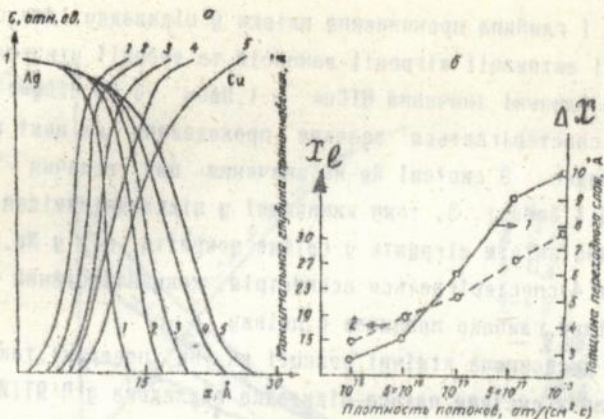
$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} C_v - A_i C_i \frac{\partial C_v}{\partial x} + v \frac{\partial C_i}{\partial x}, \quad i=1,2$$

$$C_v = C_{v0} \exp\left(-\frac{x}{L_{Dv}}\right) + C_{v0}^{\text{равн}}, \quad C_{v0}^{\text{равн}} = \frac{E_a}{2E_d v} \cdot I \cdot \frac{Z}{C_s}$$

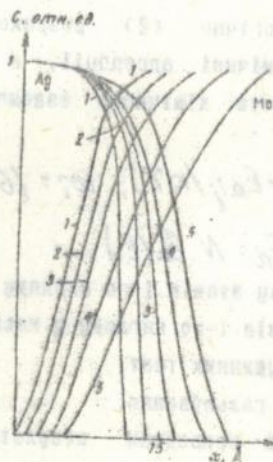
D_i - парціальні коефіцієнти дифузії атомів плівки та підкладки,

C_v - концентрація вакансій, утворених у результаті опромінення та їх рівноважна концентрація при даній температурі.

У розділі 4.2. повідомлено результати розрахунку концентраційних профілів систем Ag-Cu та Ag-Mo. Вибір об'єктів дослідження пояснюється тим, що система Ag-Cu, Ag-Mo мають обмежену крайню розчинність у твердому розчині [12]. Напылення можливе средством одержання таких практично важливих, володіючих гарною адгезією плівок. На мал.3 приведені результати розрахунків концентрацій підкладки Cu та плівки (Ag), осаджуваної при енергії пучка 100 эВ та різних густинах потоків. Як видно з малюнка при збільшенні густини потоків збільшується як нахил концентраційних



МЛ.3



МЛ.4

кривих, так і глибина проникнення плівки у підкладку. Для системи Ag-Cu енергії активації міграції вакансій та енергії утворення вакансій мають близькі значення $UfCu = 1.1, UmCu = 0.86, UfAg = 1.2, UmAg = 1.0$ тому спостерігається взаємне проходження на межі розділу плівка-підкладка. У системі Ag-Mo значення цих величин істотно різні $UfMo = 5.4, UmMo = 1.3$, тому виникаєчі у підкладці зміщені атоми з більшою імовірністю мігрують у срібне покриття, ніж у Mo, отже на графіку (мал.4) спостерігається асиметрія, концентраційний профіль підкладки більш глибоко проникає у плівку.

Модель, дисконуюча хімічні реакції як на поверхні, так і в глибинних шарах системи плівка-підкладка викладена у П'ЯТІЙ ГЛАВІ дисертації. Теоретично вивчено ступінь впливу фізико-хімічних властивостей (взаємної реакційної здатності) контактуючих матеріалів на іонно-стимульовану адгезію плівки до підкладки, у розділі 5.1. дається опис моделі, вибраної адсорбції (фізичну та хімічну) атомів на поверхні, розпилення поверхні, стохастичне перемішування та каскадне перемішування, хімічне зв'язування атомів плівки з підкладкою та атомів плівки між собою. У системі рівень, записаної аналогічно (2) розраховували частотні імовірності фізичної та хімічної адсорбції, а також додавали доданки, пов'язані з імовірністю хімічного взаємодія у глибинних шарах системи:

$$dN_{imij} = \omega_i D_{ij} C_i \exp(-E_{aij}/kT); \quad \omega_i = (6\pi V)^{1/2};$$

$$V = 0.42 \cdot I F_d / (NE_d); \quad F_d = N S_n(E)$$

ω_i - середня швидкість руху атомів і-го вигляду у каскаді,

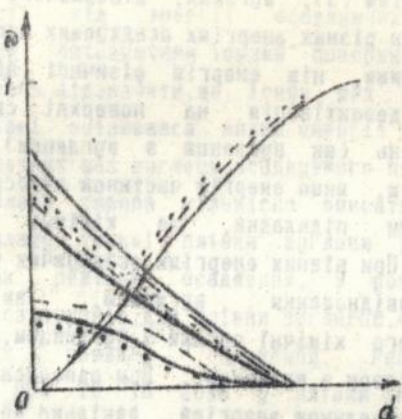
V - частота стрибків атомів і-го вигляду у каскаді,

F_d - функція розподілу пружинних трат,

$S_n(E)$ - переріз електронного гальмування.

У розділі 5.2 за приклад приведені результати розрахунків концентраційного профіля плівки осаджуючим пучком іонів вуглецю на підкладку кремнію. На мал.5 показано розподіл концентрацій елементів у перехідному шарі (вуглецю не утворюючого хімічні зв'яз-

Сотн. @



1-C1
2-C2
3-C3
4-C4
— 238
--- 838
-·- 1238

нах.5

ки ні з вуглицем, ні з кремнієм(1), кремнія (2), вуглецю, хімічно зв'язаного з кремнієм (3), вуглеця, утворюючого хімічні зв'язки з вуглицем (4)) при різних енергіях осаджуваних частинок.

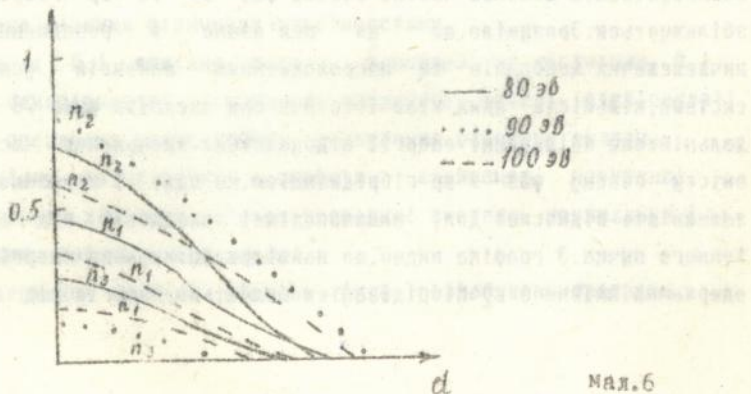
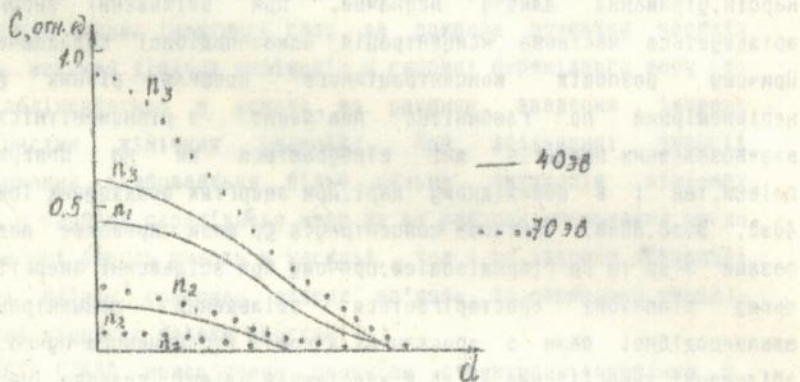
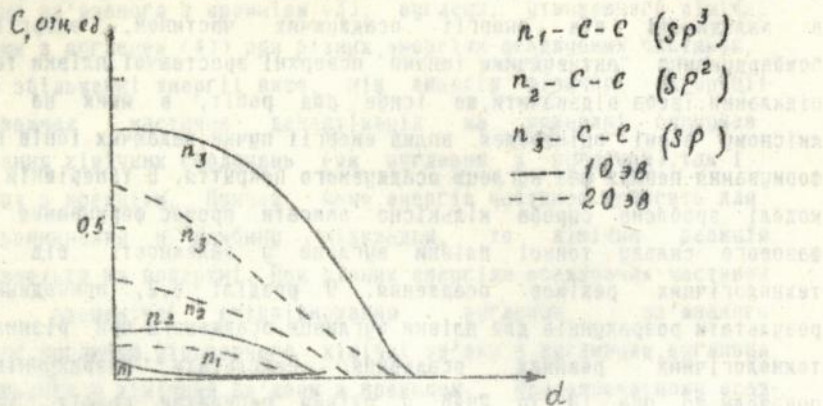
При збільшенні енергії вище, ніж енергія фізичної адсорбції відбуваюча частинна дезактивація на поверхні спонукає утворення хімічних сполучень (як вуглецю з вуглицем), так і вуглеця з кремнієм. Причём, якщо енергія частинок недосить для її проникнення у глибину підкладки, то хімічна реакція відбувається на поверхні. При різних енергіях осаджуваних частинок різне процентне співвідношення вуглецю, зв'язаного фізично, вуглецю, утворюючого хімічні зв'язки з вуглицем, вуглецю вступившого у хімічний зв'язок з кремнієм. При одночасному осадженні частинок (навіть з невеликою енергією, декілька еВ) та бомбардуванням іонами інертного газу за рахунок розвідку каскаду зіткнень можливо хімічне взаємодія у глибині перехідного шару (що також обліковується у моделі за рахунок введення імовних характеристик хімічних реакцій). При збільшенні енергії бомбардування відбувається більш сильна активація хімічних реакцій у глибині перехідного шару як за рахунок збільшення числа частинок які беруть участь у каскаді, так і за рахунок активації поверхні плівки (разриву старих зв'язок та утворення нових), адгезійна міцність плівки зростає.

ШОСТА ГЛАВА присвячена процесам структуроутворення у вуглецевих плівках, здатних виявляти різний тип зв'язку між атомами (sp, sp^2, sp^3) та володітичх у залежності від їх співвідношення принципово різними фізичними властивостями.

У розділі 6.1 описана модель, основана на частотних б.і. Виписана вімовірностях утворення сполучень певної стехіометрії. Основними процесами, визначаючими формування фазового складу вважали хімічну та фізичну адсорбції, активацію поверхні, утворення певних хімічних зв'язок усередині системи, розпилення і саморозпилення плівки і підкладки.

Для одержаної системи рівнянь була розроблена програма.

дозволяючи оцінювати одержання плівок з певним типом гібридизації в залежності від енергії осаджуваних частинок, енергії бомбардування "активуючими іонами" поверхні зростаючої плівки та підклади. Треба відзначити, що існує ряд робіт, в яких на якісному рівні оцінювався вплив енергії пучка падаючих іонів на формування певних фаз вуглецю осаджуемого покриття. В теперішній моделі зроблена спроба кількісно описати процес формування фазового складу тонкої плівки вуглецю у залежності від технологічних режимів осадження. У розділі 6.2. приведені результати розрахунків для плівки вуглецю, осадженого при різних технологічних режимах осадження. Результати розрахунків показали, що при 10 та 20 eV у плівки переважає графіт та карбін, утримання алмазу незначне, при збільшенні енергії збільшується часткова концентрація алмазоподібної складової. Причому розподіл концентраційного профілю різних фаз нерівномірний по глибині. Це пов'язано з різноманітністю взаємозалежних процесів які відбуваються як на поверхні плівки, так і в перехідному шарі. При енергіях осаджуваних іонів 40 eV, 50 eV, 60 eV, часткова концентрація Sp^3 фази превалює над фазами з sp^2 та sp гібридизацією, причому при збільшенні енергії у цьому діапазоні спостерігається збільшення концентрації алмазоподібної фази з зростанням енергії вуглецевого пучка. При збільшенні енергії вище 70 eV в зростаючій плівці дольова частка об'єму фази з sp^3 гібридизацією валентних електронів зменшується, а дольова частка об'єму фаз sp^2 та sp гібридизації збільшується. Зрозуміло, що це пов'язано з розпиленням з низькоелектронних монослоїв та нагромадженням вакансій усередині системи, кількість яких стає істотним при енергіях вище 70 eV. При подальшому збільшенні енергії відбувається зменшення часткового вмісту об'єму фаз з sp -гібридизацією. На мал. 8 показано графік залежності відносної долі алмазоподібної складової від енергії іонного пучка. З графіка видно, що найбільш оптимальна енергія для одержання плівки з sp гібридизацією являється енергія від 40 до



мая.6

ВИСНОВКИ

Коротко сформульовано основні результати та висновки, одержані у теперешній дисертаційній роботі.

1. Запропонована дифузійна модель, описуюча процес осадження однокомпонентної та багатоконпонентної плівки, обліковуюча не тільки адсорбцію та розчинення з верхнього монослоя, але й "глибинні" ефекти, пов'язані з субплантацією та розпиленням з нижчележачих слоїв.

2. Розроблен комплекс ефективних алгоритмів та пакет програми, реалізуючих схему рішення диференціальних рівень, описуючих розподіл концентрацій плівки та підкладки у процесі осадження при різних технологічних режимах напилювальної установки.

3. У рамках дифузійної моделі проаналізована роль каскадного перемішування на концентраційний профіль плівки та підкладки у процесі її осадження плівки у діапазоні енергій 100-1000 eV. Одержані результати розрахунків розподілу концентрацій для системи Fe-Ti. Модель модифікована для випадку одночасного осадження потоку атомів та прискорених іонів. Результати розрахунку по запропонованій моделі та методиці розрахунку добре узгоджуються з результатами, одержаними методом машинного моделювання.

4. Розроблена модель, здисконуюча вплив вакансійно-прискореної дифузії на кінетику формування перехідного шару при напиленні низькоенергетичними іонами (40-200 eV) у різних температурних режимах.

5. Вперше розроблена дифузійна модель здисконуюча роль хімічних реакцій у кінетиці формування перехідного слою при осадженні плівок при різних технологічних умовах.

6. Теоретично вивчено вплив енергії та густини потоку

іонів, осаджуваних на кремнієву підкладку на формування стехіометричного та фазового складу системи.

Розроблена модель, дозволяюча оцінювати утворення вугліцевої плівки з заданим співвідношенням фаз (sp , sp^2 , sp^3) у залежності від технологічних режимів осадження (енергії осаджуваних частинок, енергії бомбардуючого пучка).

7. Запропоновані моделі дозволяють оптимізувати вхідні параметри установки для одержання плівок (у тому числі багатокомпонентних) з необхідними властивостями у досить широкому енергетичному діапазоні (1-1000эВ).

Основні результати дисертації опубліковані у наступних роботах:

1. Волоконская А.А., Теплов С.В. Влияние каскадного перемешивания на кинетику формирования переходного слоя при нанесении покрытий ионами низких и средних энергий. // Поверхность, 1994, №12, стр.31.

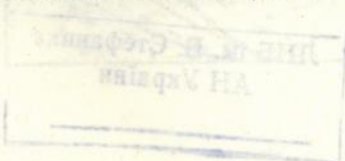
2. Теплов С.В., Волоконская А.А. Расчет распределения состава многокомпонентных покрытий при напылении их ионными пучками. // Поверхность, 1995, № 4, стр.20.

3. Бажин А.И., Волоконская А.А., Теплов С.В. Влияние радиационно-стимулированной диффузии на кинетику формирования переходного слоя при нанесении пленки ионами низких энергий. // Поверхность, 1995, №4, стр.67.

4. Бажин А.И., Волоконская А.А. Расчет распределения состава многокомпонентных покрытий при напылении ионно-плазменным методом. Материалы Одиннадцатой международной конференции "Взаимодействие ионов с поверхностью", 1993г., стр.167.

5. Бажин А.И., Волоконская А.А. Модель осаждения многокомпонентных пленок пучками ионов химически активных элементов. Материалы Двенадцатой международной конференции "Взаимодействие ионов с поверхностью", 1995г., стр.304.

Список прочитованої літератури.



1. Y. Lifshith, S. R. Kasl and J. W. Rabalais // Phys. Rev. B // Volume 41, N 15, p. 1134.
2. T. Takagi, Thin Solid Films 92, 1 (1982), T. Takagi, J. Vac. Sci. Technol. A 2, 382 (1984).
3. R. A. Zuhr, S. J. Penntcook, Nucl. Instrum. Methods Phys. Rev., B37/38, 16 (1989).
4. P. J. Martin, J. Mater. Sci. 21, 1 (1986).
5. Василий И. И., Пранявичис Л. И. // Поверхность. 1989, №6, стр. 68.
6. U. M. Konopiev // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 42, 1989, p. 229-232.
7. T. S. Pugacheva // Radiation Effects, 1987, Vol. 102, p. 143-155.
8. H. P. Kaukonen and R. M. Nieminen // Physical Review Letters.
9. V. Pailthorpe and P. Mahon // Thin Solid Films, 193/194 (1990) 34-41.
10. В. А. Лабунюв, В. Е. Борисенко // Электронная техника. Серия материалы, 1974, вып. 11, стр. 72.
11. В. Е. Борисенко, В. А. Дидик // ИТФ, №1, 1982, стр. 167.
12. Tsaur B. Y., Lau S. S., Mayer J. W. // Appl. Phys. Lett. 1980, V36(10) p. 823.

Волоконская А. А. Моделирование процессов нанесения трикомпонентных покрытий ионно-плазменными методами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07. "Физика твердого тела", Донецкий государственный университет, Донецк, 1995.

Предложена модель роста многокомпонентной пленки при осаждении ее из ионных пучков с контролируемыми параметрами (энергией и плотностью потока) в диапазоне энергий 1-1000 эВ. Модель включает приповерхностную имплантацию (часто называемую субплантацией), расплывание пленки и подложки, каскадное перемешивание, термическую и радиационно-стимулированную диффузию, химические реакции. Полученные уравнения описывают изменение распределения концентрации со временем по слоям как для однокомпонентных так и для многокомпонентных пленок. Показано влияние каскадного перемешивания на кинетику формирования переходного слоя при бомбардировке осаждаемой пленки ионами аргона. Результаты эксперимента хорошо согласуются с выведенными в литературе экспериментальными данными.

The model is proposed for growth of multicomponent thin films that are deposited by using ion beams with controlled parameters (energy and current density) in an energy range 1-1000 eV. The model includes subsurface implantation (often called subplantation), sputtering of film and substrate, ion beam mixing, thermal and radiation-stimulated diffusion, chemical reactions. The equation is constructed that describes components distributions as function of deposition time and numerical solution has been obtained for the deposition both one-component and multicomponent films. It has been shown influence ion beam mixing on the kinetics of formation of transition layer under the argon ion irradiation during the film growth. The results of calculations are in a good agreement with the experimental data known from literature.

Ключові слова:

субплантація, каскадне перемішування, радіаційно-стимульована дифузія, багатокomпонентна плівка, осадження плівки.

Подп. к печати 4.10.95г. Формат 80x84/16. Бумага типо-
графская №1. Усл. печ. л. - 1,5. Тираж 100 экз. Зак. № 715.

Ротапринт ин-та "Донецкий Стройпроект". г. Донецк - 114,
ул. Университетская, 80.

336722

AB 33.368

AB 33.368

010808