

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖИВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

на тему:

«Вплив імплантації іонів Au⁻ в багатошарові (TiAlSiY)N/CrN покриття на структуру та властивості»

Студент групи Фе-61:

Остольський В. В.

Науковий керівник:

Доктор фізико-математичних наук

Погребняк О. Д.

Реферат

Об'єктом дослідження дипломної роботи є вплив імплантації іонів Au⁻ в багат шарові (TiAlSiY)N/CrN покриття.

Мета роботи полягала у проведенні дослідження структури багат шарового покриття (TiAlSiY)N/CrN після імплантації негативних іонів Au.

Робота присвячена вивченню іонної імплантації, як способу покращення фізичних властивостей багат шарових наноструктурних покриттів. Її актуальність зумовлена більш детальним вивченням більш якісних захисних покриттів для різного виду протезів.

В даній бакалаврській роботі розглянутий вплив імплантації важких іонів, на прикладі Au⁻, в багат шарові покриття, яким в ході дослідження було покриття (TiAlSiY)N/CrN. Були використані два метода дослідження, а саме метод дифузії агара та «time-kill» тест. На основі цих методів можна прослідкувати покращення антибактеріальних властивостей покриття. Завдяки цьому подібна імплантація може використовуватись для покращення властивостей захисних покриттів протезів.

Робота викладена на 30-ти сторінках, зокрема містить 9 рисунків та список літератури складає 24 джерела.

Рік виконання кваліфікаційної роботи – 2020 рік

Рік захисту роботи – 2020 рік

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІОННА ІМПЛАНТАЦІЯ, ІМПЛАНТАЦІЯ ВАЖКИХ ІОНІВ, БАГАТОШАРОВІ ПОКРИТТЯ, НАНОРОЗМІРНІСТЬ,

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| 1. Іонна імплантація. Імплантація важких іонів | 4 |
| 2. Методи і матеріали..... | 10 |
| 2.1. Підготовка зразків та їх характеристика | 10 |
| 2.2. Визначення антимікробної активності..... | 11 |
| 2.2.1. Метод дифузії в агар | 11 |
| 2.2.2. The «time-kill» test | 12 |
| 3. Результати експериментів | 13 |
| 4. Охорона праці | 21 |
| 4.1. Техніка безпеки при роботі з високовольтним електронним устаткуванням в лабораторному приміщенні..... | 21 |
| Висновок..... | 27 |
| Список літератури..... | 29 |

1. Іонна імплантація. Імплантація важких іонів

Іонна імплантація - це метод легування, шляхом впровадження в тверде тіло прискорених, високоенергетичних, іонізованих атомів. Даний метод часто застосовується в напівпровідникової промисловості, завдяки якому створюються домішкові напівпровідники. Енергія прискорених іонів варіюється в діапазоні від десятка кеВ до декількох МеВ. Енергія підбирається в залежності від вихідних матеріалів і глибини впровадження іонів.

Процеси імплантації іонів вперше використовувались для моделювання процесів, що проходять при радіаційній обробці твердих тіл. Було встановлено, що в результаті впровадження одного іона важких елементів в поверхневий шар число дефектів в 10^6 разів більше в порівнянні з числом дефектів, що утворюються в результаті впливу одного нейтрона. Отже, використовуючи обробку поверхні іонами, можна в 10^6 разів знизити дозу опромінення для отримання такого ж ефекту, значно інтенсифікувати процеси генерації радіаційних ушкоджень і скоротити, таким чином, тривалість досліджень по вибору радіаційно-стійких матеріалів.

Підвищення стійкості металообробного інструменту безпосередньо впливає на ефективність виробництва і собівартість готової продукції, що, в свою чергу, стає одним із шляхів підвищення рентабельності і прибутку підприємства, а збільшення термінів експлуатації інструменту – одним із засобів ресурсозбереження.

Існує ряд широко відомих традиційних способів підвищення експлуатаційних характеристик металообробного інструменту: створення нових мастильних середовищ, різні обробки поверхні і ін. Поряд з ними останнім часом все більше застосування для модифікації міцності і тріботехнічних властивостей поверхонь знаходять методи, засновані на використанні іонних пучків.

Пучкові технології в принципі засновані на отриманні іонів відповідних елементів і надалі їх прискоренні. Використовуються як розфокусовані, так і добре

сфокусовані пучки, що складаються з іонів, молекул, кластерів, багатозарядних і негативних іонів.

Існують два основні методи іонної імплантації:

- 1) пряма імплантація, коли зміна властивостей поверхневих шарів матеріалу відбувається безпосередньо під дією пучка іонів;
- 2) імплантація атомами віддачі (іонну перемішування), коли властивості поверхневого шару змінюються за рахунок атомів попередньо нанесеною на мішень тонкої плівки, а опромінюють іони (зазвичай інертних газів) тільки забезпечують балістична перемішування атомів плівки і матриці.

У порівнянні з іншими методами іонна імплантація має ряд переваг, зокрема вона дозволяє:

- модифікувати властивості поверхневих шарів без зміни властивостей обсягу виробу;
- створювати в поверхневих шарах сплави і сполуки, що не лімітуються рівноважної термодинаміки або дифузії;
- з достатньою точністю контролювати температуру оброблюваної мішені;
- задавати режим розподілу імпантованих іонів;
- уникнути відшаровування і розтріскування модифікованого шару, оскільки він на відміну від покриття не має чітко вираженої межі розділу з основним матеріалом;
- проводити фінішну обробку виробу, не змінюючи його розмірів;
- зменшити час обробки поверхні;
- екологічно безпечна.

Як недоліки іонної імплантації можна відзначити неможливість створення модифікованих шарів великої товщини, високу вартість обладнання та існування побічних ефектів - дефектоутворення, посилення дифузії та інших, важливих в разі обробки напівпровідникових матеріалів і не є визначальними для металів і інструментальних матеріалів зокрема.

Для іонної імплантації характерні такі основні переваги:

1) Повна відсутність термодинамічних обмежень за складом, що утворюються в поверхневих шарах сплавів і хімічних сполук. Використовуючи іонну імплантацію, принципово можливе одержання складних систем з поєднанням різних необхідних компонентів.

2) При застосуванні методів іонної імплантації відбувається формування метастабільних структур, які в деяких випадках мають унікальні фізико-механічні властивості. Дана особливість обумовлена тим, що процеси структуроутворення протікають при швидкому охолодженні (швидкість охолодження має приблизне значення 100-10⁶ К/с);

3) Метод іонної імплантації є універсальним та гнучким процесом. Завдяки методу іонної імплантації вдається отримати шари з необхідними профілями концентрації легуючих елементів, структурним станом. Для керування розподілом імпантованих атомів в поверхневому шарі використовується додаткова термообробка;

4) Висока чистота процесу (процес відбувається в високому вакуумі); висока автоматизація; широкі можливості в керуванні іонними пучками, можливість локальної обробки;

5) Іонна імплантація може здійснюватись при різних умовах і режимах, в тому числі і при досить низьких температурних параметрах поверхні;

6) Має можливість для створення поверхневих шарів за високими фізичними та механічними властивостями, які досить важко отримати іншими методами обробки

До основних недоліків процесу іонної імплантації можна віднести:

1) На поверхневих шарах відбувається утворення високої концентрації дефектів. За високих доз опромінення утворюються аморфні. Для запобігання утворення дефектів проводиться термічна обробка, зокрема, короткочасний відпал при температурі 400 - 700 °С;

2) Складність побудови технологічного обладнання та низький вихід продукту при процесі обробки.

В процесі імплантації важких іонів Au⁺ ми отримуємо досить високу щільність каскадів та областей, в яких має місце утворення локальних дефектів, при взаємодії іонів між собою та при подальшій радіаційно-прискореній дифузії.

Зазначимо, що іони Au⁺ мають досить високі показники коефіцієнту розпилення, саме тому при процесі високодозової імплантації буде відбуватися часткове розпорошення з поверхні атомів азоту через їх слабкий атомний зв'язок. При імплантації утворюється досить висока щільність індивідуальних каскадів для зміщених атомів, а також утворення дефектів з високою ефективністю, а саме петлі міжвузлового та вакансійного типу. Імпантовані іони в покритті дозволяють формувати нанокристаліти, розмірами близько до нанометрів, які мають кулясту форму. Тому, при опроміненні іонами Au⁺ дозами 1×10^{17} см⁻² утворюється іонне переміщення на границях утвореного моношару. З іншого боку утворені нанокompatитні пориття з структурою нанорозмірних шарів забезпечують непогані захисні показники підкладок. Зформовані з наночарів багатокomпонентні покриття, що чергуються, з декількох (двох або трьох) типів матеріалів з різною структурою, демонструють підвищені показники твердості. Вони можуть утворювати епітаксіальну структуру або навіть демонструвати ефекти надтвердості в залежності від їх структури і періоду модуляції.

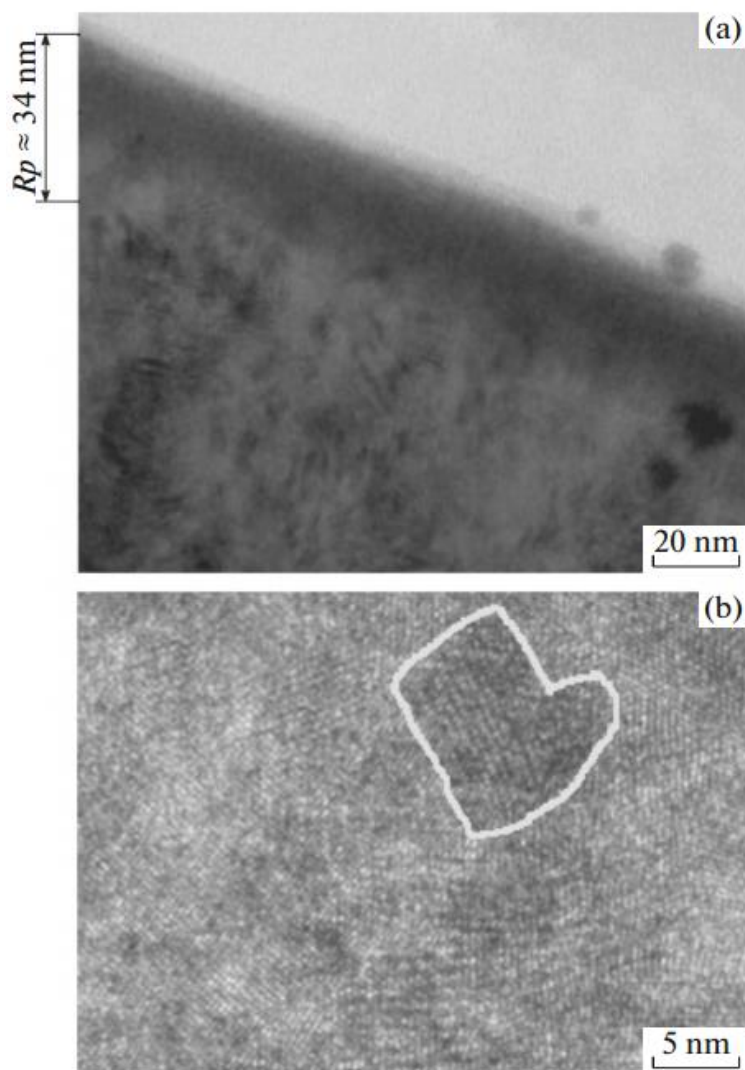


Рисунок 1. Зображення TEM в поперечному перерізі покриття: (а) поверхневий шар з глибиною імплантації приблизно 34 нм та (б) фрагмент цього покриття, розташований на глибині близько 50 нм.

На рисунку 1 (а) показаний фрагмент ділянки покриття, з імплантованими іонами Au⁺. Поверхневий шар неупорядкований до глибини приблизно 34 нм та має полікристалічну структуру, близьку до аморфно-нанокристалічної. Структура нижче цього шару - нанокристалічна з розміром нанозерна близько 7 нм (рис. 4, б). Зона, що обведена білим кольором, це наногранули розміром близько 7 нм, розташовані на глибині, яка дещо перевищує глибину імплантації. Можна також відзначити, що наногранули в імплантованому шарі мають значно менші розміри ~ 0,8–1 нм.

Подібні модифіковані структури, які використовуються в галузях біомедицини активно вивчаються в останні роки завдяки утворенню великої кількості нових технологій, підходів та пристроїв в цій області. Матеріали до яких додаються наночастинки срібла, золота та цинку мають сильні антибактеріальні ефекти та показники біосумісності, що фактично дає змогу використовувати їх у якості захисних шарів для протезування та використання у якості елементів біологічних імплантів. Утворення наночастинок завдяки імплантації іонів, яка в свою чергу підвищує антибактеріальні параметри, знижує ризики до утворення запалень та інфекцій і підтримує остеоінтеграцію імплантів (наприклад зубних протезів)

Беручи увесь набір наноматеріалів, які варіюються від іонів металів та полімерів до вірусних капсидів, наночастинки золота знайшли велику популярність завдяки хорошим показникам стабільності, контрольованому розміру синтезу, функціоналізації поверхні і модифікації з аміновими (-SH) та тіоловими (-NH₂) групами для кон'югації з ДНК і білками.

Багатошарові нанокомпозитні покриття являють собою адаптивний ієрархічний матеріал, що складається з нано- та мікробарів, що чергуються, з різним хімічним складом. Вони являють собою складну нерівноважну систему, в якій відбуваються нелінійні процеси з утворенням дисипативних структур з фазовими переходами, які сприяють утворенню нанокристалічної або нанокластерної структури з унікальними функціональними властивостями.

У даній роботі вивчалися особливості утворення дефектів в багатошарових (TiAlSiY)N/CrN покриттях до і після імплантації іонів Au⁻ і вплив цієї імплантації на структуру і властивості.

2. Методи і матеріали

2.1. Підготовка зразків та їх характеристика

Під час експерименту були використані зразки з наступними параметрами (2,2×2,0 см та товщина досягала 2 мм) з нержавіючої сталі. Після того, як ці зразки піддали механічній обробці, вони були покриті катодами з концентрацією елементів TiAlSiY і Cr. Шари наносилися послідовно, чергуючи два катода. Товщина одного такого шару досягала приблизно 18-20 нм, а загальна товщина покриття більш 4 мкм. Кожен зразок розділили на 4 частини, і одну з цих частин, використовували для імплантації іонів Au⁺ з використанням іонного прискорювача Nissin High Voltage Co Ltd.

Наноструктура плівок до і після введення іонів золота була охарактеризована з використанням скануючого/просвічуючого електронного мікроскопа JEOL F200 (S/TEM), що працює при 200 кВ. Зразки готували для TEM з використанням скануючого електронно мікроскопу FEI Helios G4 PFIB. Мікроскоп JEOL F200, який використовується для візуалізації, має роздільну здатність решітки 0,16 нм в режимі ADF STEM і 0,1 нм в режимі TEM при 200 кВ. Визначення аморфізованих областей в імплантованих шарах було виконано з використанням HRTEM, а елементний аналіз був виконаний з використанням рентгенівського спектрометра (EDX).

Щоб визначити модуляцію шару в стані осадження покриття, деякі зразки були вивчені з використанням спектроскопії Резерфордського зворотного розсіювання (RBS). В експериментах використовувалися іони He⁺ з енергією 1,4 MeV, а енергетична роздільна здатність іонного детектора становило 14 кеВ.

Для розрахунку змін концентрації елементів по глибині використовувалося спеціалізоване програмне забезпечення TRIM (Транспорт іонів в речовині), яке є частиною програмного забезпечення SRIM-2013. Програмне забезпечення TRIM включає в себе чисельне моделювання переносу іонів в некристалічних структурах використовуючи метод Монте-Карло виключаючи при розрахунках непружні ядерні реакції.

Нановдавлення проводили з використанням скануючого наноіндентора Hysitron Triboindenter 950 при кімнатній температурі, забезпеченого алмазним наконечником Берковича. Твердість і модуль Юнга були оцінені з використанням стандартної процедури, запропонованої Олівером і Фарро. Розрахування зниженого модуля пружності (E_r) покриттів проводили за наступною формулою:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu_d^2}{E_d} + \frac{\nu_f^2}{E_f}, \quad (1)$$

де E_d – модуль пружності алмазу, ν_d і ν_f - коефіцієнти Пуассона.

2.2. Визначення антимікробної активності

Антимікробні властивості багатошарового (TiAlSiY)N/CrN покриття до і після імплантації іонів тестують наступними двома способами. Антимікробну активність вивчали на грамнегативних (кишкової (ATCC 8799) і синьогнійної палички (ATCC 9027)) і грампозитивних бактеріях (золотистому (ATCC 6538) і епідермальному стафілококу (ATCC 14990)).

2.2.1. Метод дифузії в агар

Середовище Мюллера-Хінтона, що є стерильним живильним середовищем, виливали в стерильні чашки Петрі (товщина шару була 4 мм) і залишали культивувати при кімнатній температурі. Рідину з тестуємими мікробами готують в іншому середовищі з розбірливим виділенням ізольованих колоній. Клітини, що були взяті з однієї з цих колоній, перемістили в пробірку простерилізованим із соляним розчином, мутністю 0,5, і, за стандартом МакФарланда, це відповідає $1,5 \times 10^8$ клітин в мл. Потім чашки залишали при кімнатній температурі відкритими приблизно на 10 хвилин для сушіння. Зразки, що були покриті (TiAlSiY)N/CrN, змочували в стерильній воді, та потім розміщували на поверхні живильного середовища. Після установки зразків з покриттям (TiAlSiY)N/CrN, чашки Петрі інкубували при 37 °C протягом 24 годин в термостаті, потім заміряли затримку росту використовуваних колоній в зоні, за якою проводились спостереження.

2.2.2. The «time-kill» test

Матеріали, що досліджувались, стерилізували в автоклаві при 120 °С протягом 15 хвилин. Зразки (TiAlSiY)N/CrN розміщували в стерильну рідину і використовували у якості контролю стерильності. Досліджувана група, що складається з матеріалу (TiAlSiY)N/CrN, поміщеного в чашку Петрі з живильним середовищем, інокулювала тестуємими мікроорганізмами з титром 5×10^6 клітин/мл, і потім розміщувалась на поживний агар і культивувала при 37 °С протягом 48 годин. Щоб підрахувати кількість життєздатних клітин, відповідний метод підрахунку колоній був проведений після деякого часу. Він використовує розподіл бактеріальних штамів на шарі агару, що був узятий в чашці Петрі. Після цього проводилися порівняння шляхом підрахунку клітин для штамів бактерій, інкубованих в присутності і відсутності нанокompозитних матеріалів (TiAlSiY)N/CrN без Au, взятих в якості контролю. Коефіцієнт зменшення бактерій оцінювали по такому співвідношенню:

$$R(\%) = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

де R – це відсоток зниження, A – кількість колоній з необробленої суспензії, а B – кількість колоній бактерій, оброблених (TiAlSiY)N/CrN.

3. Результати експериментів

Багатошарове (TiAlSiY)N/CrN покриття отримували катодним вакуумно-дуговим випаровуванням з двох катодів в азотному середовищі. Середня товщина нанесеного покриття становить 6,44 мкм. Склад покриття і його інтегральний спектр: 19,37% Ti, 7,18% Al, 0,39-0,85% Si, 18,0-18,2% Cr, легованого 0,29-0,32% Y, і залишилися 54,35 - 54,84% N. Потім для імплантації іонів Au⁺ використовували полірований зразок з шорсткістю поверхні 0,02-0,15 мкм.

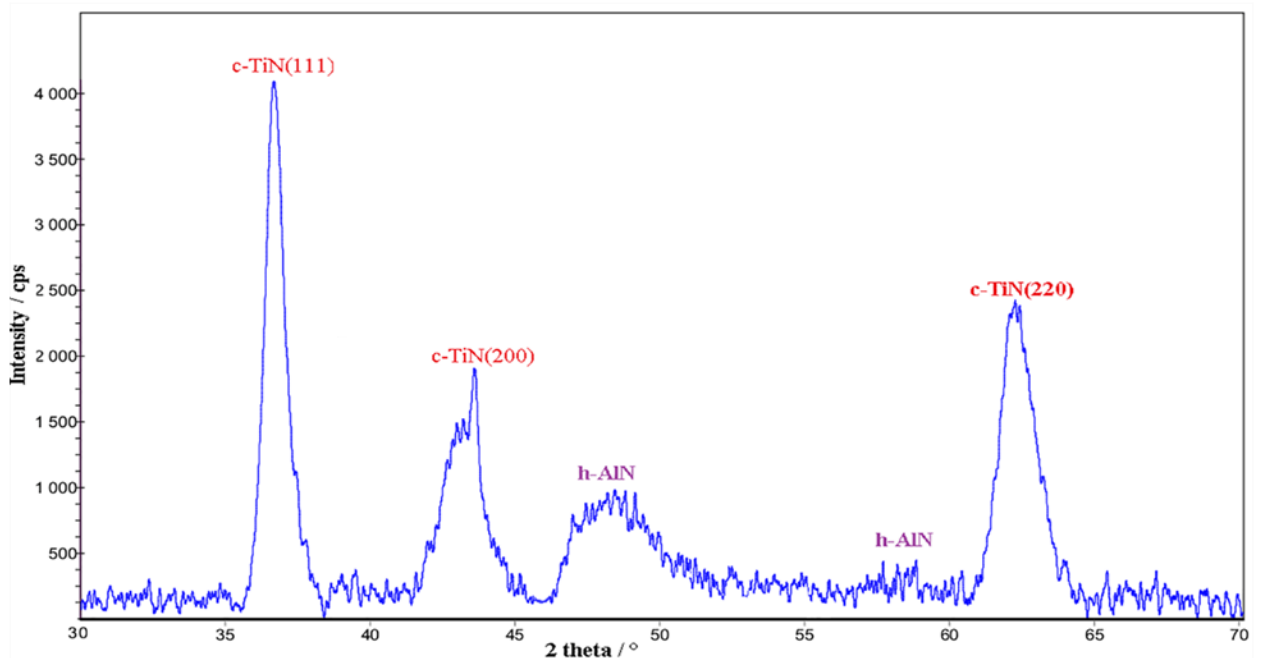


Рисунок 2. GI-XRD діаграма для вихідного (не імплантованого) (TiAlSiY)N покриття (настільний кут падіння 15°).

На рисунку 2 показані результати GI-XRD-аналізу осажденного зразка на глибині проникнення 1,68 мкм. Незважаючи на те, що покриття з нітриду титану характеризуються широким діапазоном гомогенності, спостерігається зменшення періоду решітки при відхиленні від стехіометричного вмісту азоту (Ti = 19,37% і N ~ 54% в нашому випадку).

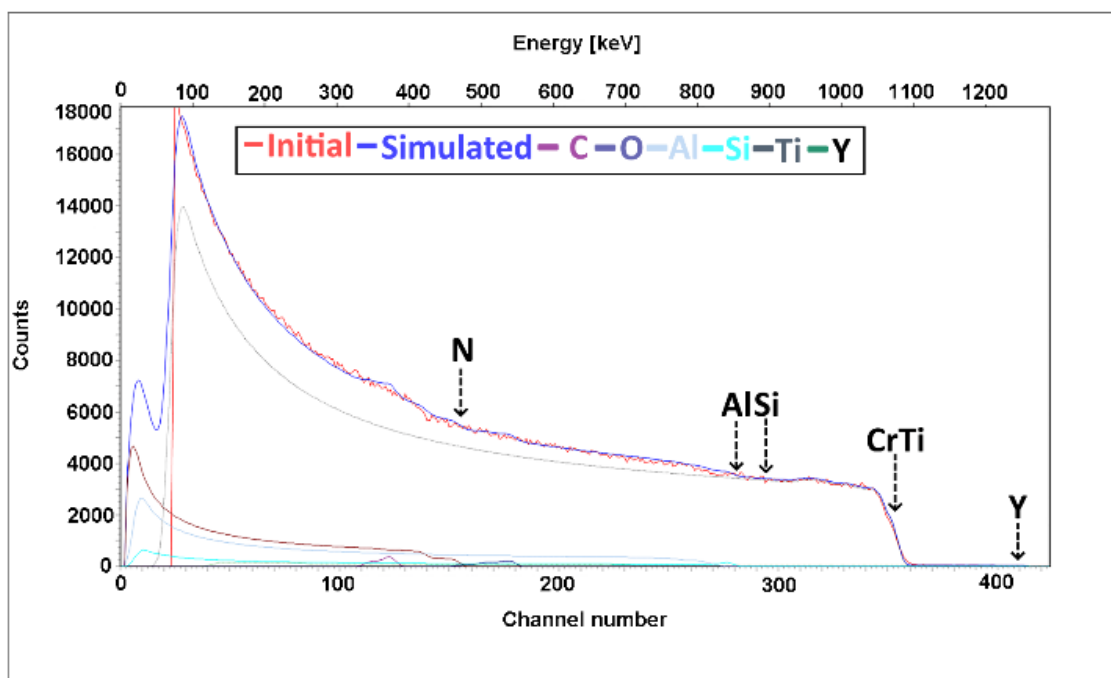


Рисунок 3. Спектр RBS обложеного багат шарового покриття (TiAlSiY)N/CrN.

На рис. 3 приведені спектри RBS, отримані для зразків до опромінення іонами Au⁺. На рисунку чітко показані кінематичні кордони елементів покриття: N, Al, Si, Ti, Cr і 0,15-0,17% Y.

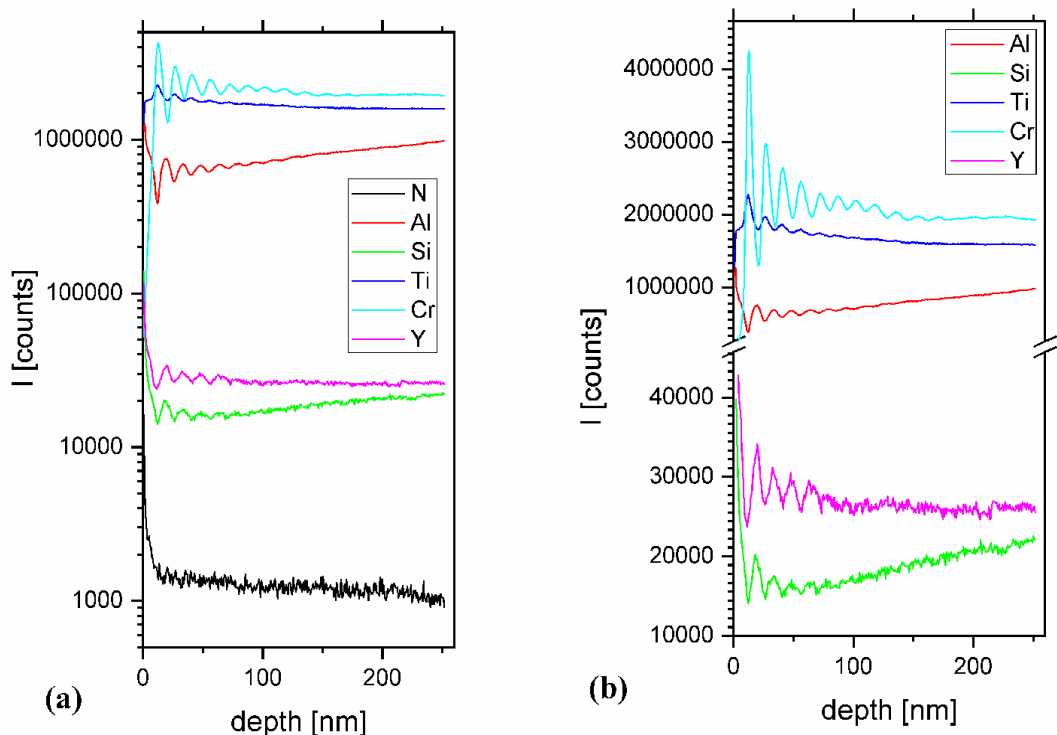


Рисунок 4. Аналіз профілю глибини SIMS зразків $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{CrN}$. Іонні струми N^+ , Al^+ , Si^+ , Ti^+ , Cr^+ і Y^+ показані в залежності від глибини в нм: (а) Площа сканування становила $300 \text{ мкм} \times 300 \text{ мкм}$, (б) Площа сканування становила $500 \text{ мкм} \times 500 \text{ мкм}$.

На рис. 4 (а, б) показані результати SIMS-досліджень багатошарового $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{CrN}$ покриття. В ході експерименту було зроблено дві спроби. Таким чином, можна отримати інформацію від 2 окремих кратерів. Профілі глибини, виміряні при глибині аналізу $\sim 1,4 \text{ мкм}$, розділяють шари покриття аж до шостого шару CrN (86,9 нм). Середня глибина біслою становить 14,4 нм, і вона рівномірно розподілена по всьому покриттю.

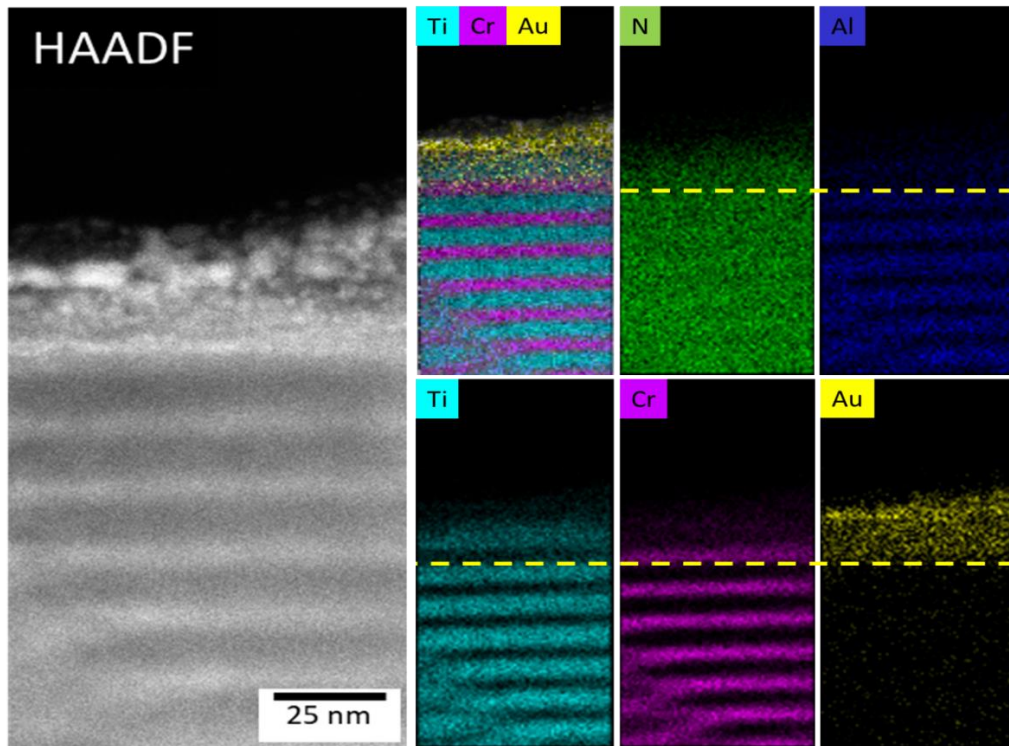


Рисунок 5. HAADF-STEM зображення і EDX-відображення шарів $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{CrN}$ з імпантованим Au і EDS карти елементів, що показують просторовий розподіл N, AlTiCr і Au. Пунктирна жовта лінія вказує на проникнення іонів Au в шари.

На рисунку 5 представлені картографічні зображення HAADF-STEM і EDX імпантованих іонів Au. Глибина, на яку змогли проникнути іони Au^+ , була близько 18-20 нм від поверхні та проникли в шар CrN приблизно на 5 нм.

Дані EDX показують, як імпантация впливає на приповерхневий біслої $(\text{TiAl})\text{N}/\text{CrN}$. Це показує, що титан та алюміній знаходяться в протифазі з хромом, оскільки присутні елементи з різних шарів, що чергуються. На поверхні, де очікується, що імпантация іонів Au^+ надасть найбільший вплив, елементи знаходяться в нерівноважному стані. В верхній частині області імпантування, концентрація азоту значно знизилася через втрату наплення іонами Au^+ . Це показує, що іони Au^+ повністю проникли в шар $(\text{TiAlSiY})\text{N}$ і зупиняються всередині шару CrN. Глибина проникнення іонів становить близько 20 нм.

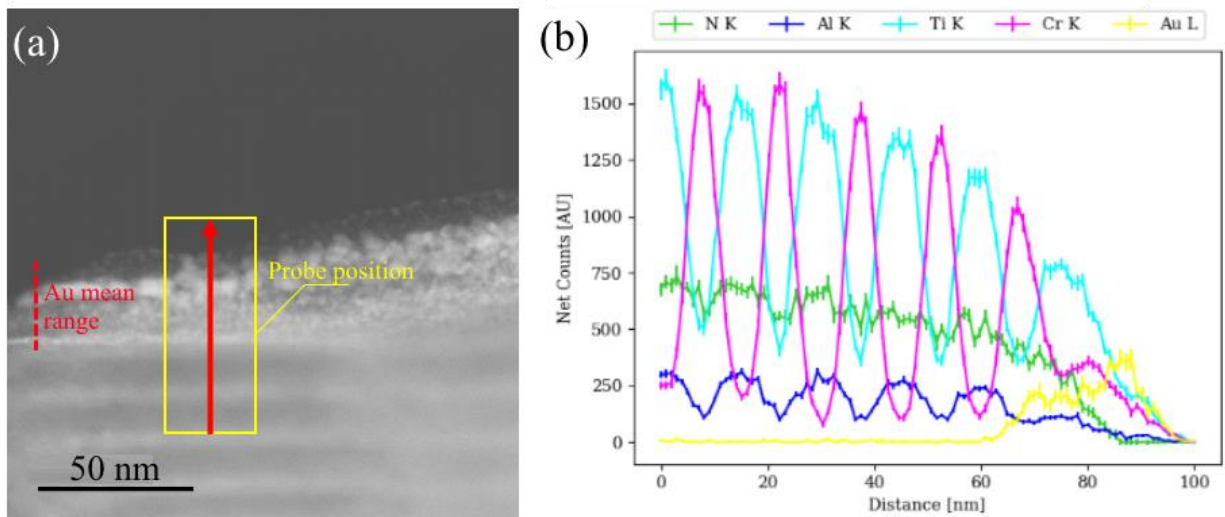


Рисунок 6. EDS-аналіз імпантованої поверхні: (а) SEM-зображення області сканування; (б) Профіль розподілу елементів по глибині зразка.

На рис. 6 показаний профіль розподілу елементів (рис. б), як елементів з яких становлять шари, так і іони золота, показаних на рис. 5. Це показує, що іони негативно зарядженого золота розподілялися нерівномірно в області імпантування. Найбільша концентрація іонів розташована близько до поверхні.

Крім того, поверхневий шар багатшарових покриттів (TiAlSiY)N показує дуже слабкі сліди іонів Au, що свідчить про те, що іони повністю проникають через цей шар та зупиняються на шарі CrN не досягаючи наступного шару.

Глибина проникнення іонів Au⁻ в (TiAlSiY)N/CrN покриття була оцінена з використанням пакета програм SRIM 2013 з щільністю шарів, близької до експериментального складу.

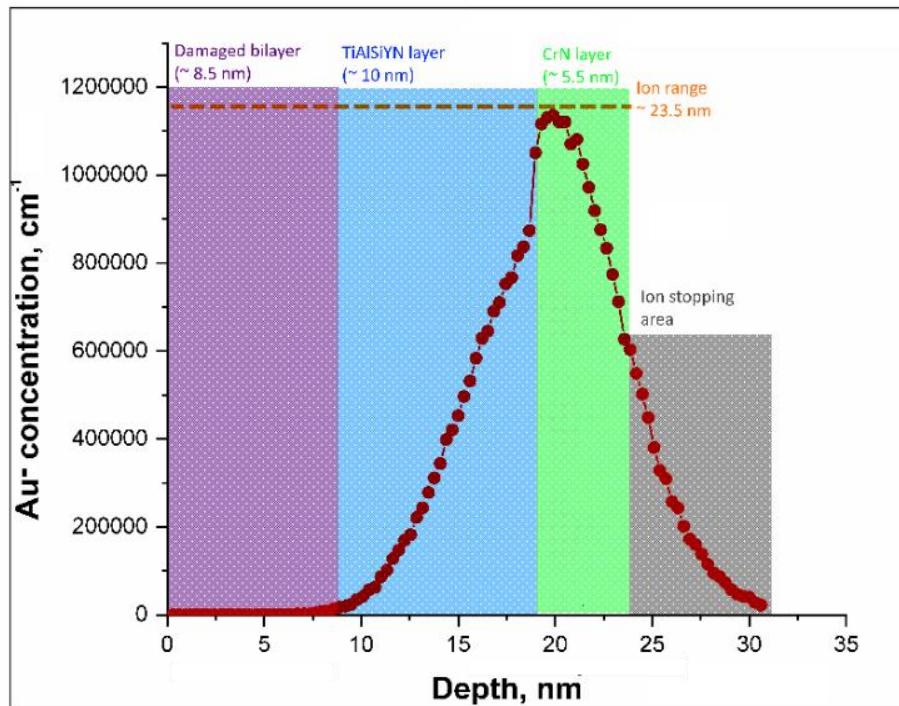


Рисунок 7. TRIM-модельовання глибини проникнення іонів Au⁺ (за результатами експерименту).

Для заданої прискорюючої напруги і флюенса був оцінений діапазон високих доз іонів. Іони Au проходили через пошкоджену поверхню з обложеним шаром Au та іонів TiAlN і CrN. Після цього іони золота повністю проходять перший видимий шар (TiAlSiY)N, товщина якого становить приблизно 10 нм, і зупиняються на глибині близько 4,8 нм від границі розділу в шарі CrN.

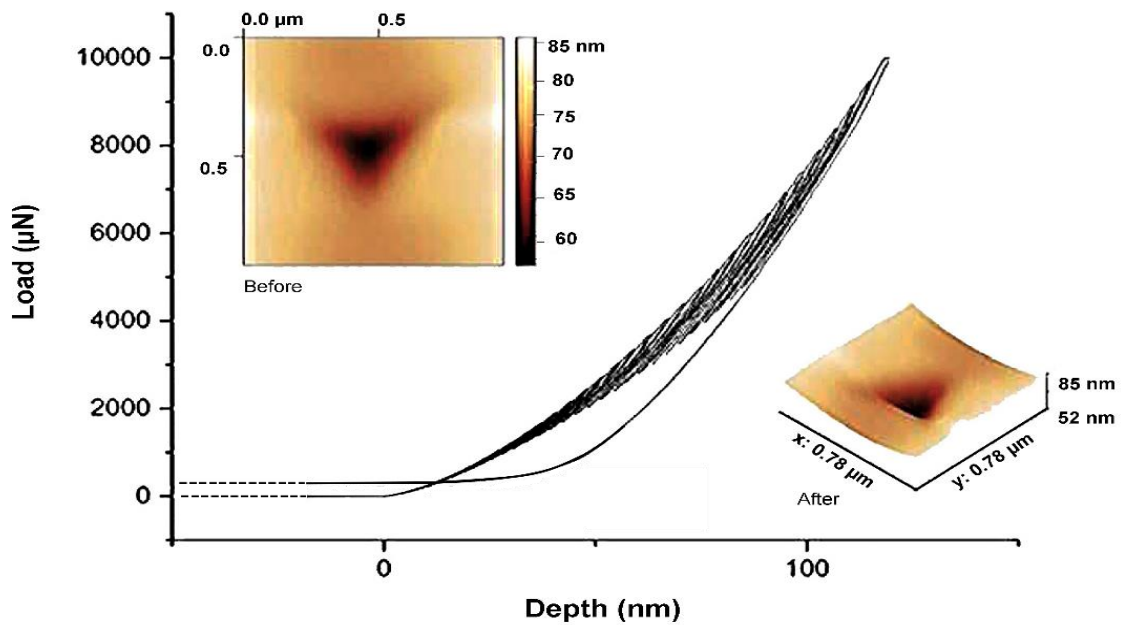


Рисунок 8. Навантажувально-розвантажувальна крива, що була отримана для досліджуваного багатошарового покриття (TiAlSiY)N/CrN, і зображення AFM індентора до і після імплантації.

На рисунку 8 показана залежність навантаження на індентор від глибини вдавнення. Відбитки кінчика індентора Берковича до і після імплантації представлені на вставках. Глибина, на яку проник індентор збільшилася для імплантованих зразків, що свідчить про те, що після опромінення нанотвердості зменшилась. Індекс пластичності Н/Е непомітно знизився з 0,1 до 0,096, що все ще вказує на поліпшення фізичних характеристик, тобто збільшеної зносостійкості.

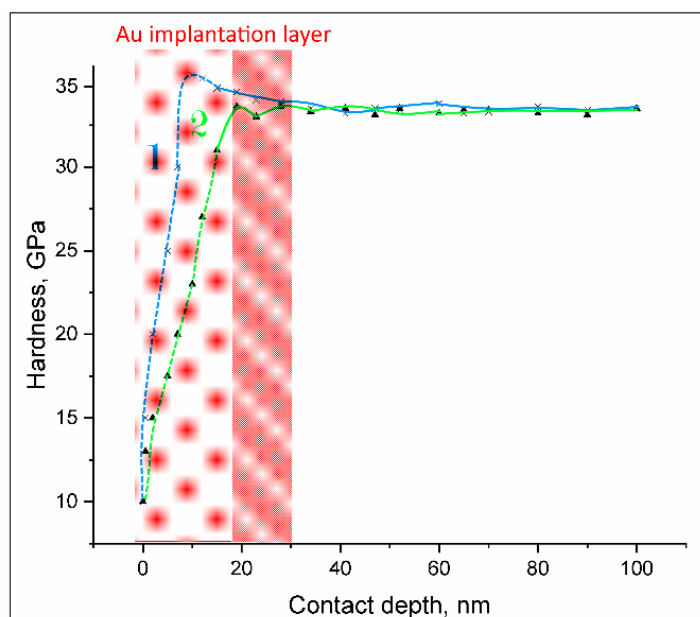


Рисунок 9. Розподіл твердості багат шарового покриття: 1 - після нанесення, 2 - імпантований Au⁺.

Вимірювання нанотвердості (рис. 9) зразків (TiAlSiY)N/CrN до і після імпантації показали невелике зниження з $H = 35,5$ і $E = 367 \pm 2,8$ ГПа (до імпантації) до $H = 33,6 \pm 0,3$ ГПа і $E = 348 \pm 2,6$ ГПа (після імпантації).

Методи «дифузії агару» і так званий «time-kill» метод - це два традиційних методу тестування чутливості до протимікробних препаратів. У першому методі агар Мюллера-Хінтона використовується в якості середовища, що було взяте в чашці Петрі. До цього середовища завдають бактеріальну суспензію золотистого і епідерміального стафілокока, що має концентрацію $1,5 \times 10^8$ клітин/мл. Зразки (TiAlSiY)N/CrN покриття з імпантованими іонами золота розміщували на поверхню агарових пластинок. Ці пластини інкубували протягом 24 годин, щоб забезпечити ідеальні умови для зростання бактерій.

4. Охорона праці

4.1. Техніка безпеки при роботі з високовольтним електронним устаткуванням в лабораторному приміщенні

При роботі з високовольтним електронними обладнанням потрібно дотримуватися певних вимог, які будуть вказані нижче. (Слід зазначити що подібним устаткуванням слід називати установки експериментальних електростанцій, вимірювальних лабораторних пристроїв які використовуються в лабораторіях, підприємствах, організаціях та інше за умов зо ці установки працюють з струмом, значення якого перевищують 1000 В):

1. Установки повинні задовольняти норми ПВЕ. Обслуговування пристроїв повинно проходити за спеціальних вказаних в інструкціях правилах та підготовленими до цього працівниками.

2. В електростанції повинні знаходитися комплект креслень стендів та експериментальних схем. Усі стенди мають бути маркованими під кодом креслень

3. Ремонтні роботи та профілактичні заходи до електричних кіл станції та лабораторій повинні проводитися тільки з дозволу уповноваженої особи та усі зміни повинні заноситися до креслень.

4. Експериментальні установки повинні бути оснащені тимчасовими/постійними огороженнями, що дозволяє запобігати прямому контакту до ізольованих або голих дротів або інших струмопровідних частин.

5. За правилами безпеки, відстань до струмопровідних частин повинна бути не меншою ніж:

1) для імпульсних навантажень:

до 100 кВ – 0,5 м; до 150 кВ – 0,75 м; до 400 кВ – 1,0 м; до 500 кВ – 1,5 м; до 1000 кВ – 2,5 м; до 1500 кВ – 4,5 м; до 2000 кВ – 5,0 м; до 1500 кВ – 6,0 м;

2) для навантажень промислової частоти (ефективні значення) і постійного струму:

до 6 кВ – 0,17 м; до 10 кВ – 0,23 м; до 20 кВ – 0,3 м; до 50 кВ – 0,5 м; до 250 кВ – 1,5 м; до 100 кВ – 1,0 м; до 400 кВ – 2,5 м; до 800 кВ – 4,0 м.

При тимчасових огороженнях значення дистанцій повинні бути в два рази більшими за вищевказані величини.

6. Висота постійних огорожень (ширми, щити, ізольовані накладки та сітки) за нормами повинна бути не нижче 1,7 м, а тимчасові огороження не нижче 1,8 м. При проведенні експериментів з обладнанням, при яких є можливість знаходження людей всередині огороження, двері постійних огорожень повинні відчинятися назовні або розсуватися. Замки повинні мати функції самостійного зачинення, а двері відчинятися зсередини без ключів за допомогою ручки або кнопки.

7. Пульти керування в експериментальних приміщеннях повинні бути відгородженими. Пульти керування станціями та лабораторіями не огорожуються за умови, що вони розташовані в окремому приміщенні або конструкція пульта надає доступ до струмопровідних частин без зняття повного навантаження.

8. У разі існування проходів під схемами підключення або струмопровідними частинами/дротами, їх слід огорожувати знизу стаціонарними сітками.

9. При використанні відкрито встановлених кенотронних ламп для працівників повинні бути забезпечені засоби захисту від шкідливого впливу рентгенівського випромінювання металевими екранами товщиною більше 0,5 мм.

10. Огороження експериментальних полів, установ, схем та стендів повинні мати двері та мають бути оснащені засобами блокування, сигналізаціями, запобіжниками та плакатами з правилами використання вищезазначених установ.

11. Блокування огорожені експериментальних полів мають задовольняти такі вимоги:

1) Під час відчинення дверей повинно зніматися навантаження поля (стенди);

2) За зачинених дверей неможливість подання навантажень на поля (стенди).

12. Подання навантажень на поле повинно супроводжуватися звуковими та світловими сигналами.

13. Під час проведення експериментів з експериментальним полем, які не мають огорожень зверху, слід забезпечити спеціальні засоби блокування та вжити заходи

що не дають можливості проходженню крюка крана над експериментальним полем за ймовірностей електричного перекриття з експериментальних полів на кліюк.

14. Передбачити на стендах можливості відключення всіх джерел живлення загальним комутаційним апаратом (лічильником) Також слід звертати увагу на зворотною трансформацію навантаження.

15. Трансформатори для випробувань електричної міцності та пробоїв в ізоляції слід забезпечити автоматичними вимикачами, які будуть знімати напругу у разі пробою в ізоляції та при високих значення омного пробою для обмеження струму КЗ.

16. Для створення безпечних умов слід керуватися нормами освітлення вказаними в техніці безпеки:

- 1) шкали вимірювальних приладів – 150 лк;
- 2) комутаційна апаратура – 100 лк;
- 3) експериментальний об'єкт – 50 лк;
- 4) на експериментальній станції і в лабораторії слід передбачити аварійне освітлення.

17. Над входом дверей експериментальних полів повинні встановлюватися ліхтарі сигналу та застережні плакати з пунктами безпечної експлуатації приладів.

18. Пульти керування експериментальних станцій мають бути розміщені таким чином, щоб вони знаходились в полі зору осіб, що проводять випробування. Якщо в експериментальних установках неможливе виконання вищезазначених правил, має бути передбачений зв'язок по радії або телефонний зв'язок з попереджувальними сигналізаціями.

19. Пульти керування станцій та лабораторій слід забезпечити спеціальними сигнальними лампами, які увімкнені у коло апаратів, які дають напругу в пункти керування установками та блокуванням дверей огороження спеціальних експериментальних полів.

20. Металеві корпуси або металеві частини устаткування необхідно заземлювати. За умов якщо експериментальний прилад заземлювати неможливо, його потрібно огородити на безпечну відстань, які вказані за пунктом 5.

21. Експериментальні установки, які мають призначення для випробування засобів з великими ємнісними характеристиками, а також елементи (кабелі, провідники, конденсатори, індуктори) слід забезпечувати пристроями для зняття надлишкових зарядів.

22. В імпульсних генераторах напруги та струмів, каскадних генераторів постійного струму потрібно передбачати пристрої автоматичних заземлюванні усіх видів під час зняття навантаження.

23. Для демонтування, ремонту та розставлення переносних огорожені потрібно отримати дозвіл уповноваженого по розпорядженням або головного керівника.

24. При початку робіт та експериментів, керівник повинен перевірити:

- 1) Правильність зібраної схеми;
- 2) Наявність та надійність заземлення усіх складових схеми;
- 3) Справність складових схеми;
- 4) Наявність засобів захисту;
- 5) Дію сигналізації, запобіжників;
- 6) Відсутність людей на експериментальному полі.

25. Перед початком подачі експериментальних навантажень на експериментальне поле оператор повинен надавати попереджувальні звукові та світлові сигнали, попереджуючи голосом при подачі навантажень та упевнитися у тому, що сигнал усі отримали.

26. Переносні кабелі, дроти, які застосовуються для приєднання обладнань та виробів, які випробуються і складання тимчасових схем, повинні підлягати періодичному огляду, який повинен бути прописаний у розпорядку уповноваженої особи та за необхідністю випробуватись з періодичністю, яка вказана в календарному плані за дозволу уповноваженої особи.

27. Усі працівники експериментальних станцій та лабораторій повинні бути проінструктовані з приводу знаходження вимикачів, рубильників аварійного зняття напруги з випробувальної станцій або з кожного окремого стенду.

28. У ланцюгах живлення установок повинно бути не менше двох розривів, при цьому один з них повинен бути видимим. Високовольтні виводи експериментальних трансформаторів у разі збирання експериментальної схеми слід заземлити включенням заземлювального провідника за допомогою штанги в тимчасових схемах.

29. Робота при експериментальних станціях, при лабораторних установках та при переносних випробувальних установках повинні проводитися:

- 1) В порядках масових контрольних випробувань за установленими типовими програмами;
- 2) За розпорядженнями установлених людей або начальника експериментальної станції, лабораторії під запис в журнал;
- 3) За нарядами в діючих електроустановках;
- 4) У порядку виконання наукових дослідів за спеціальними програмами;
- 5) За навчальних робіт.

30. Усі роботи які проводяться за спеціальними типовими програмами та посадовими інструкціями повинні затверджуватися керівниками кафедри або предметною комісією.

31. Усім працівникам які проводять експеримент або експериментальні роботи суворо заборонено залишати робочі місця до закінчення експерименту або експериментальних робіт без дозволу керівника роботи або без дозволу викладача.

32. Знаходження сторонніх осіб на експериментальній станції та проводити певні роботи з ними дозволяється тільки з дозволу особи, яка несе відповідальність за електроустановку та під наглядом особи, яка має при собі третю кваліфікаційну групу.

33. Особи, які навчаються на установках або проводять роботи в навчальних лабораторіях за подач напруги понад 1000 В мають допускатися до роботи з установками тільки після проведення попереднього інструктажу та під підпис у особистому журналі інструктажу охорони праці.

34. Кількість осіб які можуть одночасно навчатися та одночасно виконувати роботи під керівництвом викладача в навчальних лабораторіях з напругами які мають значення понад 1000 В. має бути не більше 8 чоловік на кожного керівника/викладача групи. Вимірювання діелектричних витрат в ізоляції та роботи з осцилографами та мостами слід проводити при дотриманні усіх засобів безпеки що вказані в інструкції.

35. Усі механічні та електричні випробування устаткування та апаратів потрібно проводити згідно інструкції яка передбачає засоби захисту працівників від ураження електричним струмом, механічних пошкоджень та інших небезпек.

36. Приєднування клем машин зо випробовуються слід проводити тільки після їх повного відключення і зупинки за дозволу керівника групи.

37. Місце постійного перебування оператора випробувальної установки повинне мати ізоляцію на основі та / або бути забезпеченим ізоляційними підкладками.

Висновок

Іонна імплантація - це універсальний інструмент для того, щоб модифікувати поверхню твердих тіл. Незаперечними перевагами методу є:

- невелика товщина поверхневого шару, що легується;
- постійна шорсткість поверхні;
- метод не залежить від адгезії і місця дії;
- непогана відтворюваність результатів.

Імплантація важких іонів, таких як Au^+ , дозволяє отримати високу щільність каскадів і областей утворення локальних дефектів в результаті взаємодії і проникнення іонів, а також подальшої радіаційно-прискореної дифузії.

Іонна імплантація відкриває можливості для виготовлення сплавів, які практично неможливо отримати іншими способами, наприклад через хімічної несумісності компонентів, що перешкоджає їх взаємному проникненню. Обробка шарів компонентів пучками важких іонів дозволяє "придушити" їх несумісність і отримати сплави з незвично високими параметрами міцності, термостійкості, антикорозійності, тощо. Таким же шляхом можна покращувати властивості існуючих і створювати нові, в тому числі і високотемпературні надпровідники.

Багатошарові покриття являють собою матеріал з ієрархічною структурою та можливістю адаптації, що складається з нано- та мікрошарів, які в свою чергу чергуються, з різним хімічним складом. Наноструктурні багатошарові покриття являються складною нерівноважною системою, в якій протікають нелінійні процеси з формуванням дисипативних структур, які мають фазові переходи, які в свою чергу сприяють утворенню нанокристалічних або нанокластерних структур матеріалів з унікальними властивостями та функціоналом.

Введення важких іонів в багатошарові покриття змінює не тільки склад самого покриття, але й властивості оною. Введення іонів Au^+ в будь-яке покриття формує нанокристаліти «сферичної» форми розміром у кілька нанометрів. Це можна добре відстежити за допомогою просвічуючого електронного мікроскопу (ТЕМ) та електронного мікроскопу високої роздільної здатності.

Підсумовуючи можна сказати, що нанокompозит $(\text{TiAlSiY})\text{N}/\text{CrN}$ у вигляді багатофункціональної ієрархічної структури з високою адгезією дає можливість контролювати механічні властивості і з іонними присадками забезпечує сильний антибактеріальний захист поверхні.

Список літератури

1. Alexander D. Pogrebnyak, Chun-Hua (Charlie) Kong, Richard F. Webster, Richard D. Tilley, Yoshihiko Takeda, Keiji Oyoshi, Oleksandr V. Bondar, Vladimir V. Buranich, Stanislav V. Konstantinov, Lazat S. Baimoldanova, Marek Opielak, Pawel Zukowski, Piotr Konarski: Antibacterial effect of Au implantation in ductile nanocomposite multilayer (TiAlSiY)N/CrN coatings.
2. Камаров Ф. Ф. Ионная имплантация в металлы. М.: Наука и техника, 1980. – 164 с.
3. Белый А. В., Карпенко Г. Д., Мышкин Н. К. Структура и методы создания износостойких поверхностных слоев. М.: Наука и техника, 1991. –175 с.
4. Белый А. В., Кукареко В.А., Лободаева О. В., Таран И. И., Ших С. К. Ионно-лучевая обработка металлов, сплавов и керамических материалов. Мн.: Наука и техника, 1997. –185 с.
5. Научно-технический прогресс в машиностроении. Современные методы упрочнения поверхностей деталей машин/Под ред. Фролова К.В. –М.: Институт машиноведения АН СССР, 1989. – 286 С.
6. Белый А. В., Симонов А. В., Ших С. К. Применение ионного легирования для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и оборудования. Мн.: БелНИИТИ, 1985. – 44 с.
7. *Inoue M., Suzuki Ya., Takagi T.* // Nucl. Instr. and Methods B in Phys. Res. 1997. Vol. 121. P. 1–6.
8. *Lempert G. D.* // Surf. and Coat. Technol. 1988. Vol.34. P. 185–207.
9. *Straede C. A.* // Nucl. Instr. and Methods B in Phys. Res. 1996. Vol. 113. P. 161–166.
10. Флеров Г. Н., Барашенков В. С., Практические применения пучков тяжелых ионов, "УФН", 1974, т. 114, в. 2, с. 351.
11. А.Д. Погребняк, И.В. Якущенко, О.В. Бондар, О.В. Соболев, В.М. Береснев, К. Oyoshi, Н. Amekura, Y. Takeda. Влияние имплантации ионов Au⁻ на

микроструктуру и механические свойства многоэлементного наноструктурного покрытия (TiZrHfVNbTa)N.

12. Ф.Ф. Комаров. Ионная имплантация в металлы. Металлургия, М. (1990). 216 с.
13. A. D. Pogrebnjak, I. V. Yakushchenko, O. V. Bondar, O. V. Sobol', V. M. Beresnev, K. Oyoshi, H. Amekura, and Y. Takeda. The Microstructure of a Multielement Nanostructured (TiZrHfVNbTa)N Coating and Its Resistance to Irradiation with Au⁻ Ions.
14. V. Ivashchenko, S. Veprek, A. Pogrebnjak, and B. Postolnyi, Sci. Technol. Adv. Mater. **15**, 025007 (2014).
15. V. Braic, A. Vladescu, M. Balaceanu, C. R. Luculescu, and M. Braic, Surf. Coat. Technol. **211**, 117 (2012).
16. S.-Y. Chang, S.-Y. Lin, Y.-C. Huang, and C.-L. Wu, Surf. Coat. Technol. **204**, 3307 (2010).
17. D.-C. Tsai, Y.-L. Huang, S.-R. Lin, S.-C. Liang, and F.-S. Shieu, Appl. Surf. Sci. **257**, 1361 (2010).
18. Z.-C. Chang, D.-C. Tsai, and E.-C. Chen, Mater. Sci. Semicond. Process. **39**, 30 (2015).
19. F. Meng and I. Baker, J. Alloys Compd. **645**, 376 (2015)
20. A.D. Pogrebnjak, I.V. Yakushchenko, A.A. Bagdasaryan, O.V. Bondar, R. Krause-Rehberg, G. Abadias, P. Chartier, K. Oyoshi, Y. Takeda, V.M. Beresnev, O.V. Sobol. Mater. Chem. Phys. **147**, 3, 1079 (2014).
21. А.Д. Погребняк, С.Н. Братушка, В.М. Береснев, N. Levintant-Zayonts. Успехи химии **82**, 12, 1135 (2013)
22. N. Kishimoto, V.T. Gritsyna, Y. Takeda, C.G. Lee, T. Saito. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B., Beam Interactions with Materials and Atoms 141, 299 (1988). J. Surf. Sci. **4**, 220 (1998).
23. Руссел Х., Руге И. Ионная имплантация. — М.: Наука, 1983.
24. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.