

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра наноелектроніки

Кваліфікаційна робота бакалавра

**«ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА МОРФОЛОГІЇ
ПОВЕРХНІ МОНО- ТА БАГАТОШАРОВИХ (AL₅₀TI₅₀)N/ZRN
ПОКРИТТІВ»**

Студент гр. ФЕ-61

Р. О. Мельніков

Науковий керівник,
асистент кафедри НЕ

Я. О. Кравченко

Суми – 2020

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження: процеси формування структури багатошарових нітридних покриттів, що осаджуються вакуумно дуговим способом.

Предмет досліджень: елементний та фазовий склад, морфологія поверхні та мікроструктура багатошарових (AlTi)N/ZrN покриттів

Метою бакалаврської роботи є вивчення елементного складу та особливостей фазоутворення у багатошарових покриттях (Al₅₀Ti₅₀)N/ZrN з ламінатною структурою, що отримані методом вакуумно-дугового осадження.

Під час виконання роботи використовувалися методи растрової електронної мікроскопії, рентгенодифракційний та енергодисперсійний аналізи, також було використане програмне середовище X'Pert Panalytical та Origin

У результаті проведених досліджень встановлено еволюцію мікроструктури і механічних властивостей при переході від базового (Al₅₀Ti₅₀)N покриття до наноламінатної архітектури з поетапним зменшенням періоду модуляції бішару. Результати рентгенодифракційного аналізу показали, що бінарний шар в (Al₅₀Ti₅₀)N/ZrN наноламінатах росте з переважною орієнтацією (111) для (Ti,Al)N зерен та формуванням суміші малої кількості зерен з орієнтацією (200)+(220)+(311).

Робота викладена на 43 сторінках, у тому числі містить 15 рисунків, 3 таблиці, список цитованої літератури із 15 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОКРИТТЯ, МІКРОСТРУКТУРА, НІТРИДИ, МОРФОЛОГІЯ, РАСТРОВА МІКРОСКОПІЯ.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ГЦК-Граніцентований кубіт

XRD- Рентгенівська дифракція

SEM- Растрова електронна мікроскопія

PVD –вакуумне розпилення

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ФУНКЦІОНАЛЬНІ НІТРИДНІ КОНДЕНСАТИ ОТРИМАНІ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАДЖЕННЯ	
1.1 Актуальність та необхідність.....	6
1.2 Багатокомпонентні та багат шарові покриття.....	6
1.3 Процеси на підкладці.....	7
1.4 Процеси на аноді.....	10
1.5 Рентгенівська дифракція (XRD).....	12
1.6 Растрова електронна мікроскопія (SEM).....	13
1.7 Мікродеформації в одновимірно упорядкованих структурах...16	
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО ФАЗОВОГО СТАНУ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ	
2.1 Основні способи нанесення покриттів.....	19
2.2 Методи отримання зразків.....	20
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОГО І ФАЗОВОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ (Al ₅₀ Ti ₅₀)N та (Al ₅₀ Ti ₅₀)N/ZrN	
4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я.....	32
Висновок.....	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	42

ВСТУП

Незважаючи на те, що за останні кілька десятиліть, покриття на основі тугоплавких нітридів були досить добре вивчені та широко застосовуються в багатьох областях людської діяльності, науково-практичний інтерес до них тільки розростається, оскільки ці сполуки, завдяки своїм специфічним фізико-механічними властивостями (велика твердість, абразивна здатність, тугоплавкість, пластичність при високих температурах та ін.), є особливо привабливими для створення нанокомпозитних матеріалів на їх основі. Серед існуючих методів нанесення покриттів на робочі поверхні, найбільшого поширення набув метод формування покриттів з потоків металеві плазми вакуумної дуги.

До теперішнього часу опубліковано велику кількість робіт по вивченню і дослідженню процесів генерації, фокусування і сепарації потоків частинок вакуумно-дугових, іонно-плазмових систем. Актуальність проблеми формування іонно-плазмових потоків металів визначається широкими можливостями і перспективами їх застосування для зміни фізико-механічних, електрофізичних, електрохімічних поверхонь матеріалу і виробів з них. Проте опубліковані в науковій літературі результати досліджень властивостей покриттів, отриманих вакуумно-дуговим методами, мають розрізнений характер. Тому в цьому огляді зроблено спробу проаналізувати результати досліджень складу, структури і фрикційних характеристик покриттів, отриманих з потоків металеві плазми, що генерується стаціонарної вакуумної дугою.

РОЗДІЛ 1

ФУНКЦІОНАЛЬНІ НІТРИДНІ КОНДЕНСАТИ ОТРИМАНІ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАДЖЕННЯ

1.1 Актуальність та необхідність

У сучасному світі зростає вимога до якості матеріалів в умовах жорстких термобаричних навантажень, постійний дефіцит матеріалів з високими зносостійкими характеристиками вимагає знаходити альтернативні способи покращення цих характеристик, зокрема, за рахунок нанесення покриттів. Тому розробки багат шарових покриттів, та вдосконалення методів їх нанесення становляться все більш актуальними. Одним із найкращих типів таких покриттів, є покриття, на основі нітридів. Нанесення багат шарових та багатокомпонентних покриттів призводить до значного покращення захисту поверхні від корозії, дозволяє досягти більш довговічної служби та підвищення працездатності ріжучої поверхні інструментів, також такі покриття використовуються для підвищення стійкості поверхонь до тертя.

Відомо, що для збільшення ресурсу роботи виробів (його експлуатаційних характеристик) достатньо змінити характеристики поверхневого шару, тому для підвищення стійкості деталей можна змінити ці характеристики нанесенням покриттів. Одними з найбільш ефективними в цьому випадку будуть покриття на основі багатоелементних сполук нітриду титану. Саме ці покриття найчастіше використовують в сучасності.

1.2 Багатокомпонентні та багат шарові покриття

У більшості робіт вивчалися властивості покриттів на основі нітриду титану без домішок. Однак з часом вимоги до тугоплавких сполук в якості покриття для пар тертя збільшились. Тому все більше застосування знаходять багат шарові та багатокомпонентні покриття, що можуть краще чинити опір

крихкому руйнуванню сильними пластичними деформаціями при терті, ніж монокомпонентні матеріали.[1]

Існують лише два методи отримання багатокомпонентних покриттів:

- 1) нанесення покриттів із сплавів,
- 2) одночасне розпилення декількох матеріалів.

Результати досліджень свідчать, що багат шарові багатокомпонентні покриття за своїми властивостями перевершують звичайні на основі TiN. Однак питання причини досягнення високих фізико-механічних властивостей в поверхневих шарах і можливістю керувати цими властивостями, залишилися відкритими.

Метою даної роботи було дослідження можливості отримання багатокомпонентних і багат шарових покриттів вакуумно-дуговим методом, вивчення їх властивостей та характеристик.

1.3 Процеси на підкладці

При синтезі покриттів вирішальне значення мають процеси, що проходять на підкладці. Ці процеси сильно впливають на властивості покриттів що осаджуються на її поверхню.

Взаємодія плазми з матеріалом підкладки (при рівних умовах) визначається енергією іонів та щільністю їх потоку. При бомбардуванні іонами підкладки енергія цих іонів складається з їх початкової енергії, та енергії що виникає в дебаєвському шарі, який примикає до підкладки, якщо подати на неї негативний потенціал:

$$E_i = E_0 + eZU_{\text{п}} \quad (1.1)$$

де E_i - енергія іона; E_0 - початкова енергія; Z - кратність заряду іона, $U_{\text{п}}$ - потенціал підкладки.

Як ми бачимо на рисунку 1.1 швидкість осадження (розпилення) залежить від потенціалу підкладки при взаємодії з поверхнею підкладки потоків плазми хрому-1, молібдену-2, цирконію-3 і титану-4. В області з

малими енергіями іонів переважає процес конденсації; зі збільшенням енергії зростає роль розпилення. Швидкості процесів конденсації та розпилення можуть стати рівними при певних значеннях енергії іонів.[1]

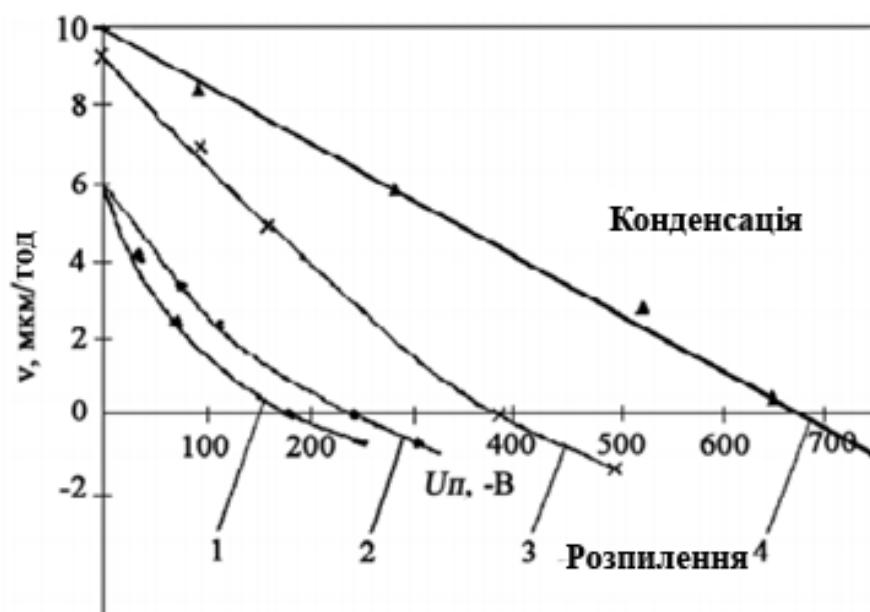


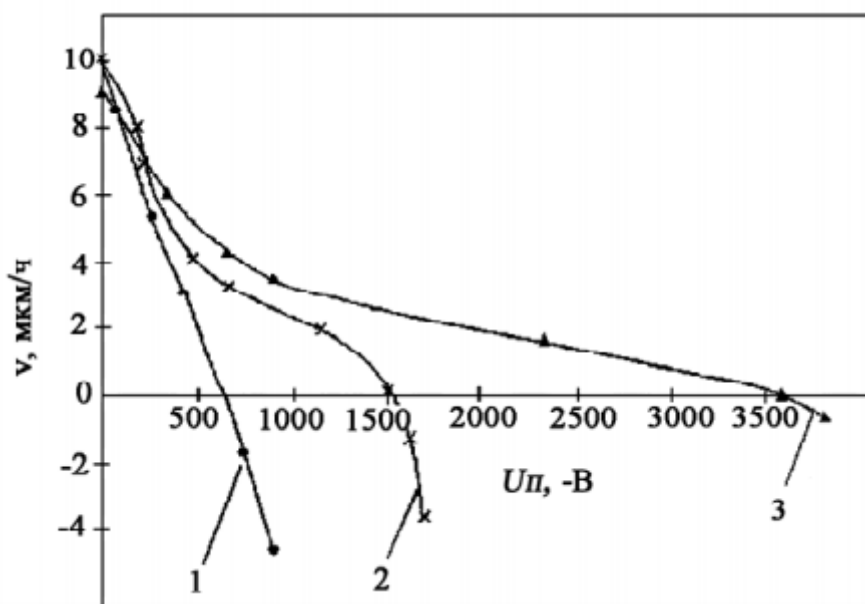
Рис. 1.1. Залежність швидкості осадження (розпилення) від потенціалу підкладки при взаємодії з потоками плазми 1-Хром, 2-Молібден, 3-Цирконій, 4-Титан

Потенціал, при якому процеси конденсації і розпилення врівноважуються, визначається природою матеріалу, що випаровується. Якщо збільшити значення потенціалу на підкладці-відбувається розпилення частинок що осаджуються та матеріалу самої підкладки. Також слабо пов'язані атоми видаляються з підкладки разом з різними забрудненнями та підвищується температура підкладки, особливо на її поверхні. Відбувається радіаційно-стимульоване проникнення атомів речовини що осаджується у підкладку. Володіючи надлишкової енергією атоми речовини мігрують по поверхні підкладки, затримуючись у різних дефектах її структури, заповнюючи мікротріщини, що гарно сприяє підвищенню міцності підкладки. Бомбардування протягом декількох хвилин пластин з твердих сплавів іонами титану і хрому, при високому вакуумі, та потенціалі 1000 В збільшує їх

середню міцність на вигин на 10-15% і знижує варіаційні розкид міцності на 40-80%. З часом при нанесенні покриття утворюється дифузійна зона шириною до 2-2,5 мкм. Така обробка забезпечує гарне зчеплення (адгезію) покриття з підкладкою, що сягає 20-25 МПа. Це, в свою чергу, забезпечує можливість гарту сталевих виробів з покриттями, нанесеними вакуумно-дуговим методом, без втрати їх фізико-механічних властивостей.

При підвищенні тиску газу кількість і кратність заряду іонів металу знижується, в наслідок чого зменшується інтенсивність розпилення. Якщо додати хімічно активний газ який утворює сполуки з металом що випаровується то швидкість розпилення ще більше знижується. При випаровуванні титану з підвищенням тиску азоту, на підкладці утворюється тверде покриття з TiN, більш стійке до розпорошення, ніж титан, та «рівноважний» потенціал зсувається в бік збільшення.

Як видно з графіків на рисунку 1.2 зміна швидкості осадження в залежності від потенціалу підкладки при випаровуванні титану.



На Рис. 1.2. Графіки зміни швидкості осадження (Розпилення) покриттів на поверхні підкладки в залежності від її потенціалу при випаровуванні титану і тисках азоту $2,66 \cdot 10^{-3}$ Па (1), $2,66 \cdot 10^{-2}$ Па (2) и $9,3 \cdot 10^{-2}$ Па (3)

Можна побачити, що при потенціалі підкладки 1000 В(такий потенціал зазвичай використовують у промислових вакуумно-дугових установках) для якісного очищення підкладки бомбардуванням іонами титану, тиск не повинен перевищувати $2,66 \cdot 10^{-3}$ Па, якщо тиск буде перевершувати ці значення, на поверхні підкладки покриття осадиться поверх забруднень що значно знизить адгезію. Для металів, що мають більшу здатність до розпилення (наприклад молібдену) тиск може бути більшим.

При очищенні підкладки іонним бомбардуванням на її поверхні з'являються катодні плями. Ці плями є наслідком мікродугових розрядів між камерою та підкладкою. Такі плями залишають ерозійні сліди та пошкоджують поверхню підкладки. Ймовірність появи катодних плям збільшується при підвищенні щільності плазми безпосередньо біля підкладки. Також ймовірність появи та стійкого існування катодних плям збільшується в залежності від збільшення тиску в камері. Для боротьби з мікродугами найбільш надійним способом є високий потенціал на підкладці у вигляді коротких імпульсів з паузами. Тривалість таких імпульсів та пауз складає лише кілька мікросекунд. За такий час існування імпульсу розвинути катодна пляма не може.

Після очищення підкладки потенціал на ній знижують до оптимальних значень(для чистих металів 20-50 В), після чого осаджують на неї покриття.

1.4 Процеси на аноді

Падінням потенціалу анода називають різницю потенціалів між анодом та кінцем необуреного анодними явищами позитивного стовпа плазми . Падіння анодної напруги по відношенню до плазми може бути як позитивним так і негативним. В умовах, коли підведення електронів до анода ускладнений, наприклад при малих розмірах анода, позитивне падіння виникає. При великій площі стику аноду з плазмою виникає негативне анодне падіння потенціалу. В цьому випадку іонний струм має напрям, протилежний напрямку іонів у позитивному стовпі, тобто до анода рухаються як електрони так і іони.

Забезпечують анодний струм в основному електрони, а частина іонів становить менше 1%. Всі процеси в анодній області, що збільшують генерацію позитивних іонів, призводять до збільшення концентрації заряджених частинок та до зменшення позитивного або утворення негативного анодного падіння. Підвищення тиску азоту та концентрації іонів титану та азоту створюють негативне падіння потенціалу аноду. Енергія, яка витрачається у вакуумній дузі, виділяється приблизно порівну на анод і катод. Частина цієї енергії витрачається в міжелектродному просторі та передається на анод. Тому для підтримки в робочому стані катода та анода необхідне досить інтенсивне охолодження. Температуру на катоді потрібно підтримувати на мінімально можливому рівні. Зазвичай це рівень кімнатної температури, це називають вакуумно-дуговим розрядом з холодним катодом. Анодна температура може бути різною, при зменшенні розміра анода та зниження інтенсивності його охолодження, його температура істотно збільшується, і може доходити до температур плавлення та випаровування, наприклад для нанесення покриттів з матеріалу анода.

Якщо підвищити температуру анода до декількох сотень градусів Цельсія, то можна досягти високої щільності покриття що на ньому осідає. Адгезія покриття до поверхні анода стає відносно високою, хоча помітна дифузійна взаємодія між ними при цих умовах відсутня. У присутності реакційних газів на аноді осідають покриття зі з'єднань, металів з цими газами. Наприклад, при випаровуванні титану в присутності азоту на аноді з температурою близько 500°C осідає покриття з нітриду титану з мікротвердістю 20-24 ГПа. Однак зносостійкість таких покриттів значно нижча, ніж покриттів TiN, отриманих при негативному потенціалі на підкладці.

Зазвичай температура анода знаходиться на рівні кімнатної, коли вакуумна камера установки, що і є анодом, охолоджується водою, на ньому осідають крихкі покриття, пористі і напружені, особливо при осадженні тугоплавких металів і їх з'єднань. В останньому випадку нерідкі мимовільні розтріскування покриттів з утворенням полідисперсного пилу. полідисперсний пил також

утворюється в міжелектродному просторі в процесі осадження покриттів при тисках газу більше 0,6 Па. Цей пил осідає всередині камери і сорбційно дуже активний. При напуску атмосферного повітря пористі покриття і пил насичуються вологою та киснем. При відкачуванні вакуумної камери в подальшому час відкачування збільшується, стінки камери є джерелами забруднень для технологічних газів. Особливо небажаною є розгерметизація вакуумної камери при температурі стінок 8-10°C (наприклад охолоджених водою низької температури), коли при напуску вологого атмосферного повітря на внутрішній поверхні конденсуються краплі води. При подальшій відкачці ці краплі замерзають, можуть зберігатися до досягнення тиску 10^{-3} Па та інтенсивно випаровуються при включенні вакуумно-дугових випарників, забруднюючи вакуумний обсяг. Тому технологічно правильно перед розгерметизацією камери, в процесі її перезавантаження і в початковій стадії відкачування, підтримувати температуру стінок камери (в тому числі і деталей випарників) на рівні 60-80°C, а при відкриванні напускати в камеру сухий технологічний газ. При нанесенні на вироби покриттів з оксидів діелектриків (наприклад, оксиди титану або титану), анод покривається ізоляційною плівкою, і дуговий розряд припиняється. Це ж може статися і після нанесення покриттів з алюмінію, коли його плівка на аноді окислюється атмосферним киснем при розгерметизації камери. [1]

1.5 Рентгенівська дифракція (XRD)

Рентгенівська дифракція дозволяє вивчати властивості матеріалів від порошоків і твердих речовин до тонких плівок і навіть наноматеріалів. При дослідженні матеріалів розглядають безліч аналітичних питань, пов'язаних з кристалічною структурою зразків матеріалів.

Рентгенівська дифракція (XRD) - це лабораторна технологія, яка дозволяє отримувати структурні дані, такі як кристалічна структура, розмір кристалітів, деформація, хімічний склад та товщина шару. XRD використовують для аналізу широкого спектра речовин, від порошоків до тонких плівок, та інших

твердих матеріалів. Для кожного з цих типів матеріалів є певний набір параметрів, що визначаються за допомогою рентгенодифракційного аналізу.

У полікристалічних об'єктах рентгенівська дифрактометрія дозволяє визначити такі параметри як:

- хімічні сполуки, присутні в зразку
- параметри решітки окремих з'єднань
- розмір областей когерентного розсіювання.

У монокристалічних зразках XRD дає можливість оцінити такі параметри:

- орієнтування кристала
- параметр кристалічної решітки
- товщини шарів
- ступінь структурної досконалості (мозаїчність, щільність дислокацій)
- склад твердого розчину
- якість (гладкість) інтерфейсів
- напруга решітки і ступінь релаксації.[2]

1.6 Растрова електронна мікроскопія (SEM)

Растровий електронний мікроскоп - прилад для отримання зображення поверхонь об'єктів з високою просторовою чіткістю також за його допомогою можна отримати інформацію про склад та інші параметри речовини.

Відповідно до цієї ідеї зображення об'єкта формується послідовно по точкам і є результатом взаємодії електронного пучка з поверхнею зразка. Точки зразка послідовно опромінюються сфокусованим електронним пучком, який переміщується по поверхні що досліджується. При взаємодії електронів зонда з речовиною виникають відповідні сигнали різної фізичної природи (відбиті та вторинні електрони, Оже електрони, рентгенівське випромінювання, світло, поглинений струм та ін.), які використовуються для синхронної побудови зображення на екрані монітора.

На рис 1.3. представлена схема утворення вторинних сигналів під впливом електронного зонда. Для формування зображення не використовується

електронно-оптична система. Зміна масштабів зображення здійснюється радіотехнічними засобами.

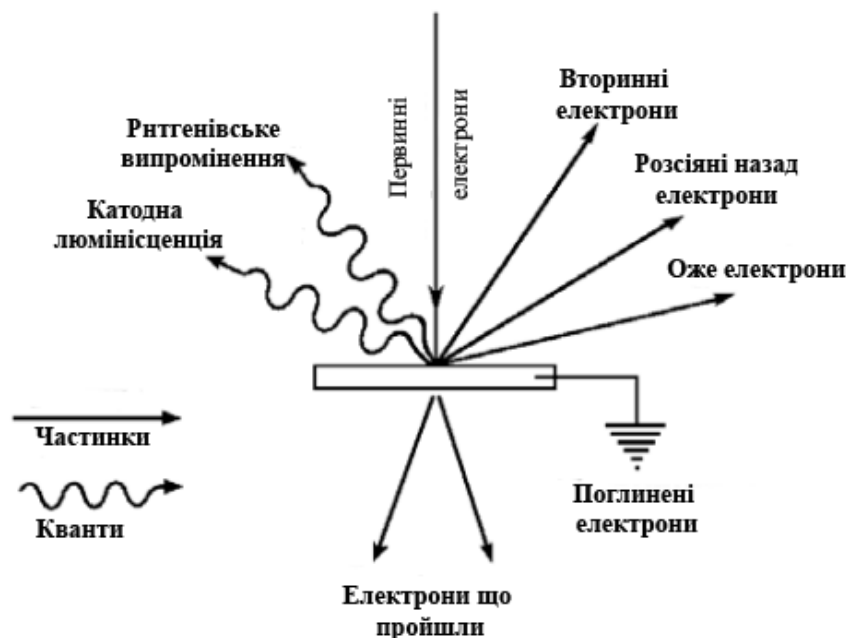


Рис. 1.3. Схема утворення вторинних сигналів при взаємодії електронів зонда з речовиною мішені.

Тому растрові електронні мікроскопи (РЕМ) принципово відрізняються від мікроскопів, як дифракційних приладів, в звичайному розумінні цього терміну. По суті РЕМ - це телевізійний мікроскоп.

Так як при нормальному атмосферному тиску електронний пучок сильно розсіюється та поглинається, що унеможливує його фокусування, РЕМ є вакуумним приладом. Тому робочий вакуум в камері мікроскопа повинен бути не менше 10^{-5} Тор. Схема основних вузлів растрового мікроскопа приведена на Рис 1.4. Електронний пучок від джерела електронів спеціальної конденсорною системою формується у вигляді добре сфокусованого зонда і проходить через систему керуючих електродів або електромагнітів, які переміщують пучок по поверхні зразка по траєкторії, що утворює растр, аналогічний телевізійному растру.

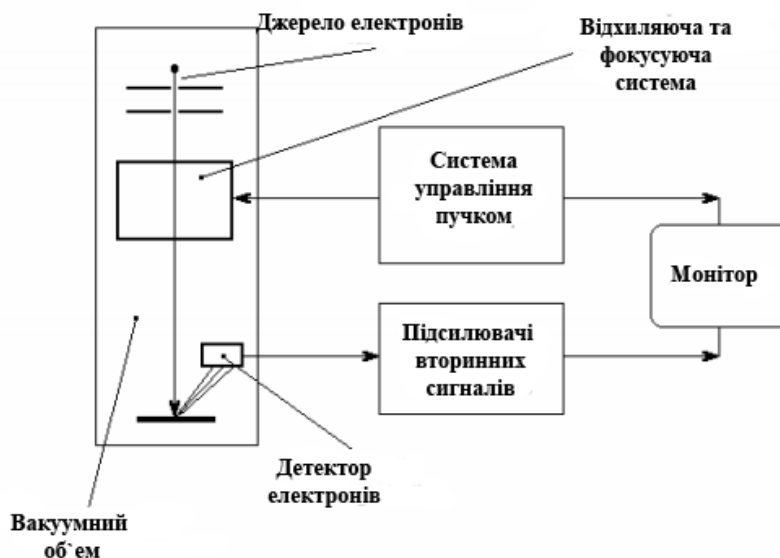


Рис.1.4. Спрощена схема роботи РЕМ.

Переміщення зонда по поверхні зразка має відбуватися з дуже високою точністю. В результаті взаємодії пучка електронів з поверхнею зразка виникає відповідна реакція, яка реєструється відповідними датчиками. Зареєстрований датчиками сигнал використовується в подальшому для модуляції яскравості електронного пучка в електронно-променевої трубки монітора. Величина цього вторинного сигналу буде залежати від фізичних властивостей поверхні зразка і може змінюватися від точки до точки. В результаті на екрані монітора утворюється зображення поверхні зразка, що відображає топографію відповідного фізичним властивостям зразка. Таким чином можна досліджувати топографію неоднорідностей дефектів і стану поверхні наприклад:

- топологію поверхні (межі зерен, пори, тріщини, неоднорідності складу та ін.)
- в відображених або вторинних електронах; розподіл елементного складу по поверхні зразка
- в характеристичний рентгенівському випромінюванні; розподіл донорних або акцепторних центрів

- за величиною поглиненої струму; топографію магнітної доменної структури

- у вторинних електронах.

Коефіцієнт збільшення зображення в РЕМ визначається відношенням лінійних розмірів растра, що освітлюється зондом, на поверхні зразка d і на екрані монітора D , тобто:

$$M=D/d. \quad (1.2)$$

Роздільна здатність, що досягається в РЕМ, обмежена ефективним розміром елемента зображення, або іншими словами, розміром досліджуваної області, порушуємо електронним зондом, що має діаметр dz . З іншого боку величина струму сфокусованого електронного пучка, що взаємодіє з поверхнею зразка, визначає інтенсивність вторинних сигналів. Тому електронно-оптична система, яка формує зонд, повинна забезпечувати отримання максимально можливого струму при мінімально можливому розмірі зонда.[6]

1.7 Мікродеформації в одновимірно упорядкованих структурах.

В реальних кристалах, на відміну від ідеальних, існують мікронапруження. Це призводить до деформації регулярної структури кристала, викликаючи флуктуації міжатомних відстаней. Розрізняють 2 типи таких деформацій а саме, мікродеформації першого та другого роду. Мікродеформації першого роду для будь-якого твердого тіла можна охарактеризувати існування середньої ідеальної решітки, від якої не дуже віддалена реальна решітка. Мікродеформації першого роду вводять флуктуації відстаней атомів, однак, передбачують такий порушений порядок на великих відстанях не більше, ніж порядок на малих відстанях. У мікродеформаціях другого роду порядку на великих відстанях не існує. У сусідніх атомах взаємні відстані піддаються незначним флуктуаціям, ці флуктуації збільшують свою амплітуду при збільшенні числа нейтральних атомів. Дифракційні картина цих типів деформацій кристалів мають дуже різний характер:

-Мікродеформації 1 роду-приводять до ослаблення береговських відображень та збільшенню дифузного фону,

-Мікродеформації 2 роду- розширюють дифракційні пікі.

До мікродеформації першого і другого роду в одновимірно розупорядкованих кристалах приводять флуктуації в положеннях шарів, це означає, що в упаковці шарів є міжшарові трансляції, що визначають способи накладення шарів один на одного.

Для обліку флуктуацій міжшарових трансляцій при розрахунку розподілу інтенсивності необхідно знати закон розподілу γ_n відхилень міжшарових трансляцій шарів m та $m+n$. Це значно спрощується за умови що весі розподіли γ_1 будуть незалежні. У такому випадку розподіл γ_n варіацій можна описати функцією розподілу γ_1 з самою собою n разів:

$$\gamma_n = \gamma_1 * \gamma_1 * \gamma_1 \dots \text{ для будь-якого } n \quad (1.3),$$

А для дисперсій розподілів виконується закон адитивності:

$$\sigma_n^2 = n\sigma_1^2 \quad (1.4).$$

Якщо розширити підхід до аналізу мікродеформацій то у загальному випадку для дисперсії σ_n^2 ми матимемо вираз:

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} \sigma_1^2 \quad (1.5)$$

де p_{ij} - коефіцієнт кореляції між відхиленнями i та j .

Відповідно до значень $p_{ij}=1$ при всіх $i=j$ можна показати, що у випадках відсутності кореляції розподілів γ_1 флуктуацій міжшарових трансляцій, коли коефіцієнти кореляції $p_{ij}=0$ ($i \neq j$), отримуємо співвідношення (1.4) а при умові максимальної позитивної кореляції розподілів γ_1 , коли всі коефіцієнти кореляції $p_{ij}=1$, отримуємо співвідношення:

$$\sigma_n^2 = n^2 \sigma_1^2 \quad (1.6).$$

Флуктуації міжшарових трансляцій з позитивною кореляцією призводять неоднорідним мікроіскаженням, коли в рамках однієї ОКР містяться як зони стиснення, так і зони розширення. Для різних значень коефіцієнтів кореляції залежності будуть різними. [7]

Якщо підсумувати то для мікродеформацій 1 та 2 роду буде справедливим співвідношення:

$$\sigma_n^2 = n^k \sigma_1^2 \quad (1.7).$$

де k - додатковий параметр моделі, що може змінюватися в межах $0 \leq k \leq 2$.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО ФАЗОВОГО СТАНУ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ

2.1 Основні способи нанесення покриттів

Один з основних методів створення покриттів на основі TiN є метод вакуумного-дугового осадження (PVD). Вакуумно-дугове осадження покриттів має великі перспективи в машинобудівництві. Унікальні можливості методу обумовлені особливостями вакуумної дуги, що використовується в якості технологічного інструменту. Розряд на парах металу, із якого виготовлений катод, генерує потоки високоіонізованої плазми з енергією іонів в десятки електронвольт. Плазма емітується катодною плямою мікрометрових розмірів, у якому розвивається достатня температура для випаровування та перетворення на плазму будь-яких металів. Температура досягає таких значень, що випаровуються навіть тугоплавкі метали. Іонний потік який виходить із плазми розряду-4-19% (в залежності від катодного матеріалу) розрядного струму. При контакті катоду з підкладкою на її поверхні конденсується шар катодного матеріалу. Товщина цього шару буде залежати від щільності іонного потоку, що поступає на підкладку, та часу експозиції. За наявності газу в реакції (наприклад азоту) в процесі конденсації металевої плазми синтезується шар з'єднання металу з цим газом. Ступінь іонізації для деяких матеріалів доходить майже до 100%. Це дозволяє керувати рухом плазмових потоків за допомогою магнітних полів, а за допомогою електричного поля, регулювати енергію конденсованих іонів, що забезпечує можливість синтезувати покриття з заданими фізико-механічними характеристиками.

Вакуумно-дуговий метод, завдяки іонному бомбардуванню перед осадженням, забезпечує гарне зчеплення з підкладкою. Для цього на підкладку подають високу негативну напругу, що прискорює іони до енергії, достатньої

для розпилення поверхневого шару підкладки разом із забруднювачами, що робить поверхню не тільки ідеально чистою але й активованою. Це і обумовлює високе зчеплення шару з основним матеріалом.

2.2 Методи отримання зразків

Багатоелементні $(Al_{50}Ti_{50})N$ та багатошарові $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ покриття були отримані вакуумно-дуговим методом на модернізованій установці «Булат-6». Сталь 12×18Н9Т (аналог сталей SUS321 та 321S51) з розміром зразка була використана в якості матеріалу підкладки 18×20×2 мм. Умови осадження покриттів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.1

Таблиця 2.1 - Параметри осадження нітридних покриттів $Al_{50}Ti_{50}$ – серії

Зразок	$(Al_{50}Ti_{50})N$ (1)	$(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ (2)	$(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ (3)	$(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ (4)
Струм дуги, А	70	70/100	70/100	70/100
Фокус котушки, А	1,0	1,0/1,0	1,0/0,8	0,5/0,5
Потенціал підкладки, В	-110	-110	-110	-200
Час осадження	1 год.	1 год.	2 год.	2 год.
Особливості синтезу			Інтервал 10сек 710 шарів	Інтервал 20сек 358 шарів
Матеріал підкладки	сталь 12X18Н9Т (аналог сталей SUS321 и 321S51)			
Тиск робочої атмосфери, Па	0,53	0,6	0,53	

Покриття наносилися з двох металевих джерел: складеного катода з співвідношенням речовини: Ti-50 ат.%; Al-50 ат.%; катод Zr (чистота матеріалу на 99,8%). Складний композитний катод був отриманий на іскровій плазмовій установці для спікання SPS 25-10. Багатошарові конденсати отримували при безперервному обертанні тримача підкладки та фіксованій відстані від випарника - 250 мм.

Перед нанесенням субстрату шліфували алмазною пастою 1 мкм, після чого очищували ультразвуком у етанолі та ацетоні від органічних забруднень. Перед початком розпилення катодного матеріалу підкладки нагрівали до 450°C за рахунок іонного обстрілу протягом 3–6 хв. Після цього температура поступово знижувалася до 250°C .

Схема роботи «Булат-6»

Зразки отримані вакуумно-дуговим методом за допомогою модернізованої установки «Булат-6». Розглянемо пристрій самої установки. Її вигляд можна побачити на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1. установка «Булат-6»

На рисунку 2.2. зображений вигляд установки з середини(вакуумна камера)

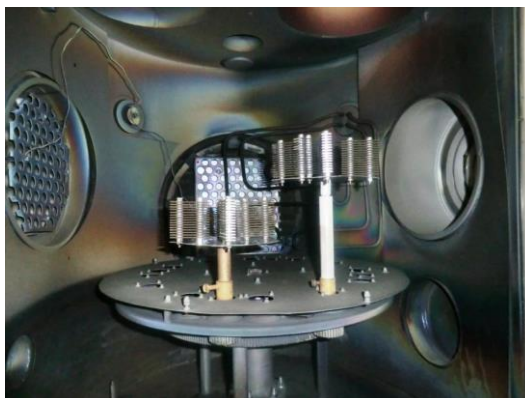


Рисунок 2.2. установка «Булат-6» вигляд з середини

На рисунку 2.3. зображена схема системи «Булат-6» для вакуумного дугового осадження

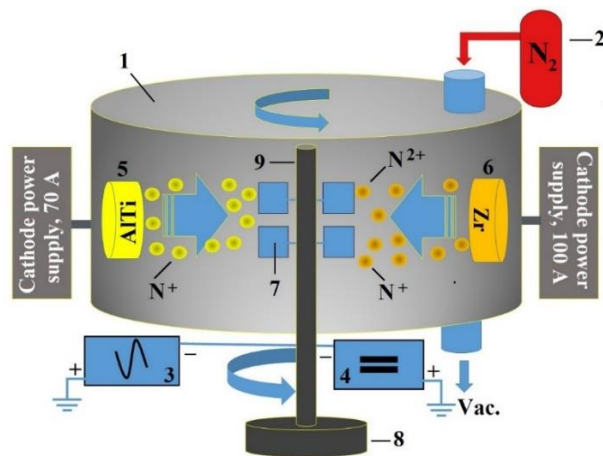


Рис. 2.3 Схематичне зображення системи «Булат-6» для вакуумного дугового осадження багат шарових покриттів: 1 - вакуумна камера, 2 - система автоматичного управління подачею азоту, 3 - імпульсний генератор високої напруги, 4 - джерело постійного струму, 5 - катод AlTi, 6 - катод цирконію, 7 - підкладки, 8 - автоматична система повороту для тримача підкладки, 9 - тримач підкладки.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОГО І ФАЗОВОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ $(Al_{50}Ti_{50})N$ та $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$

Морфологія поверхні та поперечного перерізу отриманих наноламінатів була вивчена за допомогою скануючої електронної мікроскопії. На рис.3.1. показана структура поверхні $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$. Наявність поверхневих дефектів характерно для більшості катодно-дугових конденсатів, отриманих без спеціальних фільтрів (сепараторів плазми), однак, представлений зразок має найбільш гладку поверхню і позбавлений присутності крапельної фракції, агломератів та нашарувань. Можна побачити наявність залишкових кратерів і розплавів, що пов'язано з особливостями отримання зразка. Велику частку крапельних дефектів становить Zr і його сполуки. Згідно з експериментальними даними отриманими при тривалості дугових імпульсів в кілька секунд, коефіцієнт ерозії цирконію становить 320 і 225 $\mu\text{г}/\text{Кл}$ [8,9]. Хоча значення трохи відрізняються, але вони істотно вище коефіцієнта ерозії Ti.

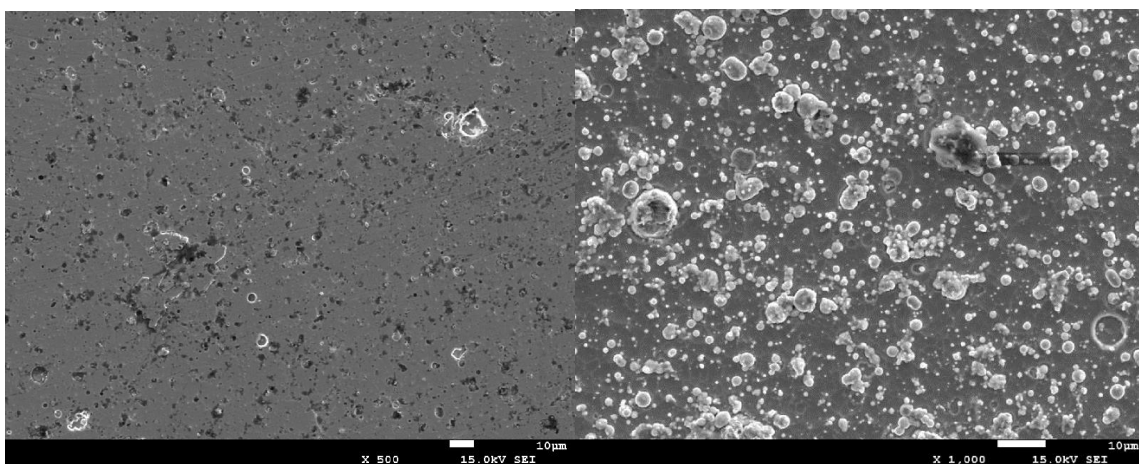


Рис. 3.1. SEM зображення поверхні наноламінатів

Поперечний переріз серії багатошарових наноламінатів показано на рис.3.2-3.4. Нано-багатошарова архітектура чітко простежується для всіх

зразків, де світлі шари це $(AlTi)N$, а темні шари - бінарний ZrN . Найменшу загальну товщину має базовий одношарових зразок 1, близько 5 мкм, і зразок 2 з товщиною 5,86 мкм. На рис. 3.2 показано поперечний переріз з вираженим контрастом нано-шарів для зразка 2, де товщина $(AlTi)N$ - шару варіюється від 9,66 до 10,3 нм і ZrN -шару від 16,9 до 23,2 нм, відповідно.

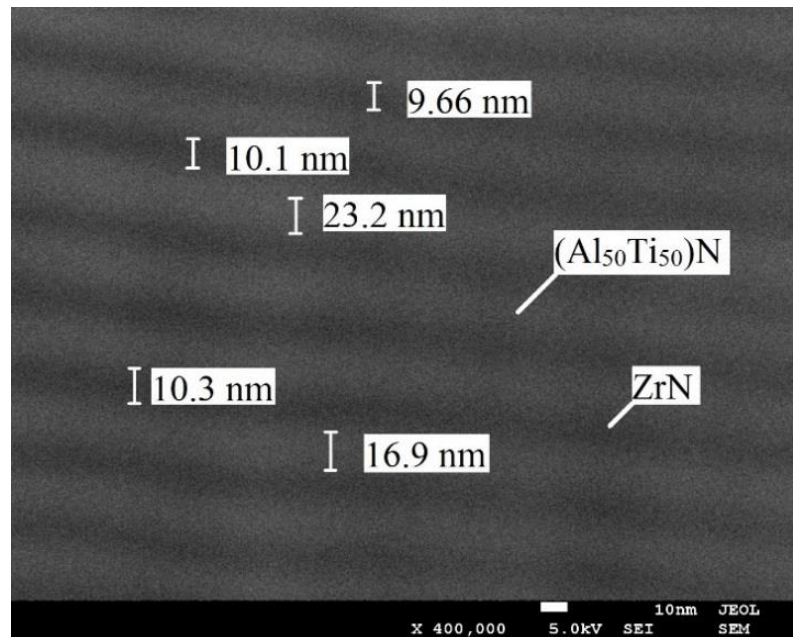


Рис. 3.2 поперечний переріз з вираженим контрастом нано-шарів для зразка 2

Таким чином період модуляції бішару $\lambda \approx 30$ нм при загальній товщині 10 мкм.

На рис.3.3-3.4 наведені мікрофотографії $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ (Зразок 2) при різному збільшенні.

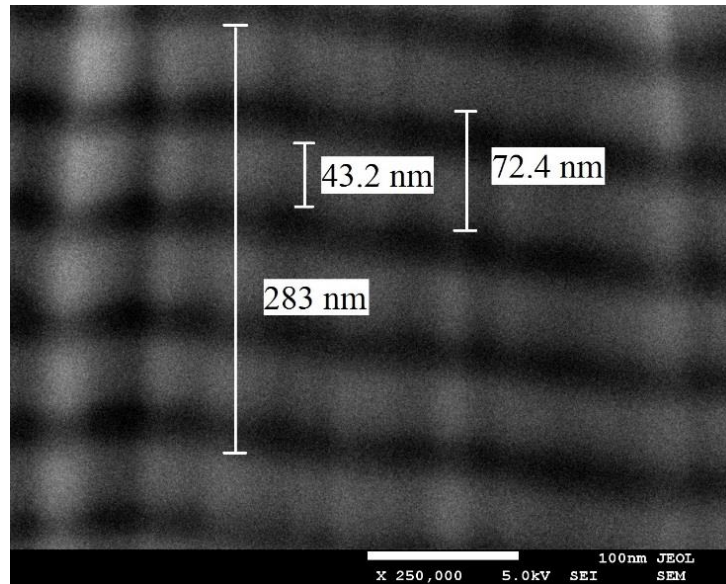


Рис.3.3. поперечний переріз зразок 2

Кордон підкладка-конденсат добре помітний на рис. 3.4., так само присутні кілька крапель що локально спотворюють структуру наноламіната.

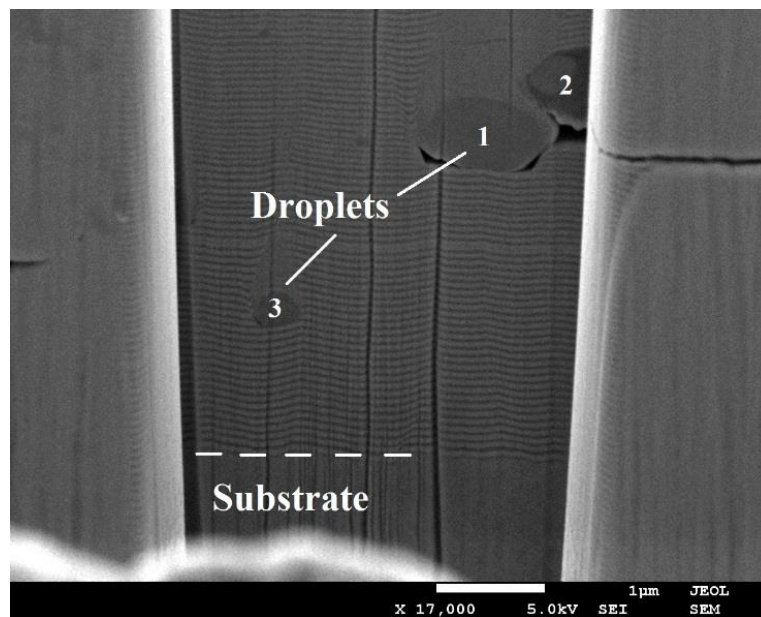


Рис.3.4. Поперечний переріз зразок 2

Деякий період часу на поверхні краплі формуються спотворені / вигнуті шари створюючи "хвіст" краплі, після чого процес нанесення шарів нормалізується. При подальшому рентгеноструктурному аналізі такі макрочастки можуть ідентифікуватися як невеликі включення з іншої фазової структури (Наприклад, включення w - AlN для $(TiAlSiY)N$ покриттів з ГЦК-

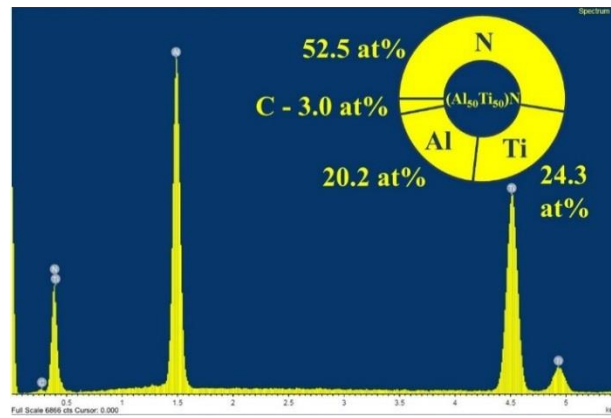
структурою типу твердих розчинів[10]). Період модуляції наноламіната склав $\lambda \approx 70$ нм при загальній товщині покриття 11,6 мкм. Кількість нанесених шарів відповідає очікуваному. Освіта поздовжніх борозен або колон не є свідченням стовпчатої структури, це результат підготовки поперечного перерізу за допомогою FIB (FIB -Focused ion beam). Зі зменшенням енергії частинок Ga товщина борозен зменшується або борозни зникають повністю.

В таблиці 3.1 приведений елементний склад наноламінітів, розрахований по енергодисперсійним спектрам. Був проведений енергодисперсійний аналіз для зразка 2. Вміст азоту близький до 50% вказує на високу стехіометричність покриттів, однак, наноламініти схильні до надлишку азоту в решітці. Наявність у потоці часток важких іонів Zr при порівнянні з базовим одношаровим покриттям стимулює створення вакантних місць, які заповнюються атомами азоту. Цей процес інтенсифікується із підвищенням потенціалу зміщення до $U_b = 200V$ (див.Рис.3.5 та табл.3.1). Наявність невеликої кількості домішок С для зразка 1, очевидно, з'язано це з наявністю органічних забруднень на його поверхні. Пропорційне співвідношення концентрацій елементів відповідає очікуваному та та вихідним катодам.

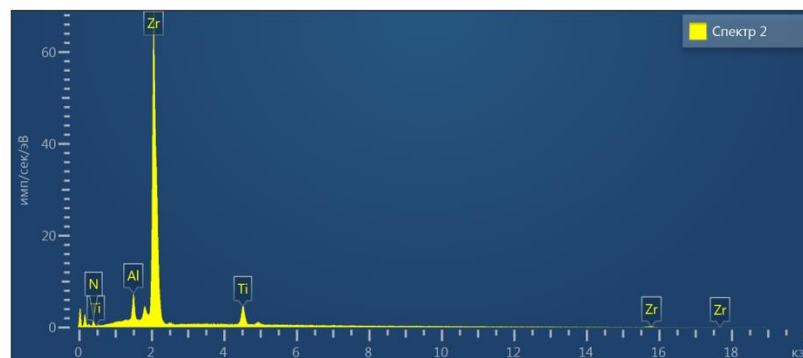
Таблиця 3.1

Результати елементного аналізу багатоелементних і багатшарових вакуумних конденсатів TiAlSiY - серії

Зразок	Вміст елементів, ат. %				
	Ti	Al	Zr	N	C
(Al ₅₀ Ti ₅₀)N (1)	24,3	20,2	-	52,5	3,0
(Al ₅₀ Ti ₅₀)N/ZrN (2)	5,7	4,9	41,6	47,8	
(Al ₅₀ Ti ₅₀)N/ZrN (3)	8,5	8,7	24,1	58,7	
(Al ₅₀ Ti ₅₀)N/ZrN (4)	7,9	7,3	25,4	59,4	



а



б

Рис. 3.5 – Энергодисперсійний спектр з поверхні базового $(Al_{50}Ti_{50})N$ покриття (а), багат шарового $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ (2) наноламіната (б).

На рис.3.6.(а) представлені результати рентгенодифракційного аналізу з поверхні базового одношарового $(Al_{50}Ti_{50})N$ покриття. В обсязі конденсату формується ГЦК-фаза TiN (ICCD:04-001-9125) з кристалічною решіткою типу NaCl і переважною орієнтацією (111). На спектрі також реєструються дифракційні піки меншої інтенсивності від суміші (200)+(220)+(311)+(222) кристалографічних зерен, що є типовою картиною для даного типу конденсатів отриманих вакуумно-дуговим методом[11]. Постійна решітки розрахована для піку $a_{111}=0.4215$ нм, що дещо менше в порівнянні з табличним значенням ГЦК-решітки TiN ($a=0.424$ нм) і вказує на значні ізоморфні заміщення титану атомами алюмінію. З огляду на початковий склад катода і результати ЕРС-аналізу покриття, концентрація Al зберігає значення~0,5. Фаза TiN є переважаючою з високим ступенем кристалічності, на що вказує характер та інтенсивність дифракційного рефлексу від площини

(111). Як показали експерименти по осадженню $Ti_{1-x}Al_xN$ PVD методами, при вмісті Al $x \leq 0,6$ в покритті формується твердий розчин (заміщення) Al в кристалічній решітці TiN з ГЦК структурою [12]. Перевищення значення $x \geq 0,7$ призводить до формування покриття з вюрцитного структурою (тип B4) [13]. Результати комп'ютерних обчислень **ab initio** представлені **Mayrhofer** та ін [14]. показали, що підвищити межу розчинності AlN в перенасиченому розчині кубічного $Ti_{1-x}Al_xN$ можливо шляхом локального перерозподілу атомів Al в металевій підґратці. Середній розмір кристаллографічного зерна всіх представлених зразків був розрахований за формулою Дебая-Шеррера. Для $(Al_{50}Ti_{50})N$ покриття це значення становить 17,6 нм і є найбільшим значенням серед представлених зразків.

На рис. 3.6.(б) представлені дифракційні спектри багат шарових наноламінатів (Зразки 2-4) в режимі "waterfall", що дозволяє відстежувати зміну рефлексів на різних зразках, проте не можна співвіднести інтенсивність піків. В обсязі наноламінатів з шарами ZrN, що чергуються формується двофазна система, що складається з твердого розчину $(Ti,Al)N$ і фази ZrN з хімічною формулою $ZrN_{0.58}$ (ICCD:04-002-5607). З дифракційних моделей видно, що осаджені наноламінати утворюють ізоструктурні (кубічні / кубічні (космічна група $Fm\bar{3}m$)) особливості будови. Встановлено, що шари ZrN формуються високотекстурованими і мають переважну текстуру росту (111). При наявності рефлексів від ламінатних шарів з вмістом цирконію рефлексів від $(Ti,Al)N$ з меншою інтенсивністю стають слабопомітними. Подібний ефект спостерігався в роботі [11] для n-MeN/ZrN покриттів з товщиною шарів ~15-20 нм. Підвищення потенціалу зміщення підкладки до $U_{bias} = -200V$ призводить до підвищення інтенсивності рефлексів від $(Ti,Al)N$ без зміщення їх позиції. Розміри кристалітів ZrN(111) для зразків 2 і 3 мають схожий розмір 11,3 і 9,5 нм, відповідно. Збільшення нанокристалітів до значення 15,8 нм також відбувається при потенціалі зміщення $U_{bias} = -200V$ (зразок 4).

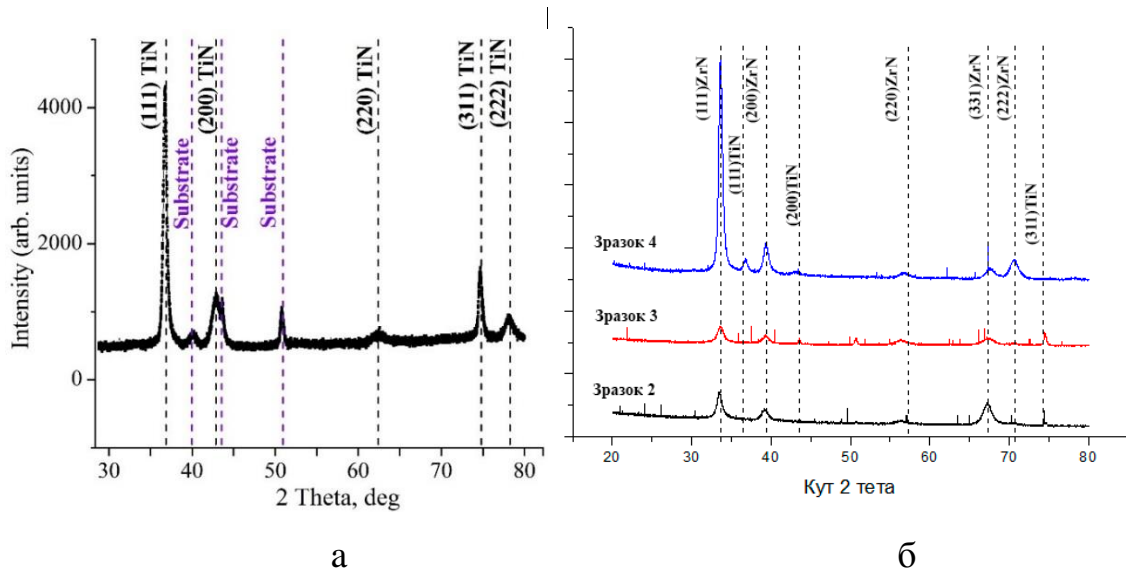


Рис.3.6 - Ділянки рентгенодифракційних спектрів базового (Al₅₀Ti₅₀)N покриття (а), багатoshарових Al₅₀Ti₅₀N/ZrN наноламінітів (Зразки 2,3,4) (б)

Ізоструктурні ГЦК-(Ti,Al)N і В1-ZrN решіток сприяє конгруентністю росту зерен у багатoshаровому наноламініті. Різниця решіток TiN і ZrN знаходиться в діапазоні 7-8% (~0,3593 Å), що є невеликим значенням і дозволяє відбуватися пов'язаному росту зерен на границі розділу наноламінітів без будь-яких атомних розладів. Передбачається, що процес конгруентного зростання найбільш виражений для зерен ГЦК (Ti,Al)N(111) || ГЦК-(ZrN) (111) і ГЦК-(Ti,Al)N (200) || ГЦК-(ZrN) (200).

Аналіз профілю найбільш інтенсивних дифракційних рефлексів від фаз (Ti,Al)N і ZrN дозволяє розрахувати та оцінити трансформацію ряду структурних параметрів (див. Таблицю 3.2). Грунтуючись на псевдо-Войтовській апроксимації [15] були визначені, розмірні параметри деформації (макро- та мікронапруги), коефіцієнт форми та щільність дислокацій. Відомо, що розширення дифракційних рефлексів може вказувати на наявність дефектів решітки (освіта дислокацій, вакансій та впровадження випадкових атомів між вузлами кристалічної решітки) або подрібнення кристалітів на некогерентно дифрагуючі області. Згідно з результатами, значення σ незначно зростають для площині (200), такі мікронапруги прийнято називати мікронапругами 2-го роду. Для них характерним є ближній порядок дії. Макронапруження 1-го роду

мають позитивне значення і вважаються розтягуючими. Винятком є структура шарів ZrN для площині (200), які мають незначні -0,01% стискаючі макронапруження.

Макродеформації:

$$\varepsilon = (d_{hkl} - d_{hkl}^0) / d_{hkl}^0 \quad (3.1)$$

де ε – середня деформація для кристалітів, що беруть участь у дифракції, для площин hkl , для деформованого матеріалу, d_{hkl} - середня міжплощинна відстань для площин hkl деформованого матеріалу, d_{hkl}^0 - міжплощинна відстань для площин hkl недеформованого

Макродеформації в об'ємі зразків розраховано за співвідношенням:

$$\sigma = \frac{\beta}{4 \operatorname{tg} \theta} \quad (3.2)$$

β – інтегральна ширина дифракційних ліній або FWHM;

θ – кут падіння первинного рентгенівського пучка

Щільність дислокацій розраховано за співвідношенням:

$$\delta = /L^2 \quad (3.3),$$

δ – Щільність дислокацій, L – розмір кристалів

Фактор форми розраховано за співвідношенням:

$$\varphi = \frac{\beta}{I} \cdot 100\% \quad (3.4),$$

β – інтегральна ширина дифракційних ліній або FWHM;

I – інтенсивність дифракційного піку

Таблиця 3.2

Дані про розмірність деформації досліджуваних багатошарових
(Al₅₀Ti₅₀)N/ZrN наноламінітів

Зразок	Фаза	Макронапр. ε, %	Мікронапр., ГПа	Фактор форми φ	Щільність дислокацій δ, м ²
1	TiN(111)	0,4	0,7	0,020	0,004
	TiN(200)	0,1	1,2	0,230	0,019
2	ZrN(111)	1,2	1,1	0,055	0,009
	ZrN(200)	0,3	1,2	0,168	0,015
3	ZrN(111)	0,9	1,3	0,108	0,013
	ZrN(200)	8,7	1,3	0,266	0,018
4	ZrN(111)	0,8	0,8	0,005	0,004
	ZrN(200)	-0,01	1,0	0,050	0,010
	TiN(111)	0,4	0,8	0,091	0,006

4.ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я

Зі мною була проведена розмова з метою ознайомити мене з технікою безпеки при роботі з персональним комп'ютером.

1.1. Вимоги інструкції поширюються на всіх працівників, які у своїй діяльності здійснюють роботу, пов'язану з персональними електронно-обчислювальними машинами(ПЕОМ) з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) і периферійними пристроями (ПП) (клавіатура, маніпулятор "миша", сканери, друкуючі пристрої тощо).

1.2. Дана інструкція призначена для запобігання або зменшення несприятливої дії на працівників шкідливих факторів, які супроводжують роботу з ПЕОМ:

– зорове та нервово-емоційне напруження при перебуванні у вимушеній робочій позі, яка супроводжується локальним напруженням верхніх кінцівок на фоні обмеженої загальної м'язової активності (гіподинамії);

– наявність шуму та вібрації (при роботі друкуючих пристроїв);

– м'яке рентгенівське випромінювання при роботі з ВДТ, що мають електронно-променеву трубку;

– електромагнітне випромінювання;

– ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання;

– електростатичне поле між екраном та оператором;

– наявність пилу, озону, оксидів азоту та аероіонізації.

1.3. До роботи на ПЕОМ допускаються особи, що пройшли попередній та періодичний медогляд, вступний та первинний інструктажі з питань охорони праці та пожежної безпеки.

1.4. Оператор ПЕОМ один раз на 6 місяців повинен проходити повторний інструктаж з питань охорони праці та один раз на рік інструктаж з питань пожежної безпеки.

1.5. Забороняється допускати осіб, молодше 18 років, до виконання самостійних робіт з профілактичного обслуговування, налагодження та ремонту ПЕОМ.

1.6. Кожен працівник, під час виконання своїх обов'язків, повинен:

- виконувати тільки ту роботу, яка доручена йому керівником або передбачена посадовими чи робочими інструкціями;
- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території університету;
- знати і виконувати вимоги правил пожежної безпеки, знати місця знаходження первинних засобів пожежогасіння та уміти ними користуватися;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, вимоги санітарно-гігієнічних норм і правил, вміти надавати домедичну допомогу;
- користуватися передбаченими засобами колективного та індивідуального захисту.

1.7. ПЕОМ належать до електрообладнання з напругою до 1000 В, тому, при виконанні робіт працівник повинен пройти інструктаж для отримання І групи з електробезпеки та один раз на рік перевірку знань відповідних нормативних актів з охорони праці та пожежної безпеки.

1.8. Обслуговування, ремонт та налагодження ПЕОМ слід виконувати в окремому приміщенні.

1.9. Приміщення, де розміщуються ПЕОМ, повинні відповідати вимогам «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електроннообчислювальних машин» (ДСанПН 3.3.2.007-98).

1.10. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним.

1.11. Неприпустимим є підключення ПЕОМ, ВДТ та ПП, а також устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження звичайної двохпровідної електромережі, в тому числі з використанням перехідних пристроїв.

1.12. Забороняється застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам «Правил улаштування електроустановок» до переносних електропроводок.

1.13. Приміщення з ЕОМ повинні бути забезпечені переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку 2 шт. на кожні 20 кв. м площі приміщення.

1.14. Працівник має право відмовитися від роботи, якщо умови її виконання створюють загрозу його здоров'ю або життю чи суперечать вимогам нормативних актів з охорони праці.

1.15. За порушення вимог цієї інструкції працівник несе адміністративну, дисциплінарну та карну відповідальність згідно діючого законодавства України.

2. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

2.1. Оглянути робоче місце і привести його в порядок; переконатися, що на ньому відсутні сторонні предмети, все обладнання і блоки ПЕОМ з'єднані з між собою за допомогою з'єднувальних шнурів.

2.2. Перевірити зовнішнім оглядом загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток.

2.3. Перевірити надійність установки апаратури на робочому столі. Не допускається встановлювати ВДТ на краю стола. Він має бути встановлений так, щоб було зручно дивитися на екран – під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз (при цьому екран має бути трохи нахилений таким чином, щоб нижній його край знаходився ближче до оператора (користувача)).

2.4. Відрегулювати освітленість робочого місця. За необхідності ввімкнути загальне та/або місцеве освітлення.

2.5. Відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для оператора (користувача) нахил його спинки.

2.6. У разі потреби приєднати до системного блоку необхідну апаратуру (принтер, сканер тощо) – всі кабелі, що з'єднують системний блок з іншими пристроями, слід приєднувати та роз'єднувати тільки при вимкненому та відключеному від електричної мережі комп'ютері.

2.7. Включити апаратуру в наступній послідовності: стабілізатор напруги (блок безперебійного живлення), монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування).

2.8. Щодня перед початком роботи необхідно очищати екран ВДТ від пилу та інших забруднень.

2.9. Забороняється самостійно усувати помічені під час огляду обладнання несправності, пошкодження обладнання, порушення вимог безпеки тощо. Про таке необхідно терміново доповісти своєму керівнику або технічному персоналу, що обслуговує ПЕОМ, та до роботи не приступати. Приступати до роботи дозволяється тільки після усунення виявлених недоліків.

3. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ

3.1. Робота з персональним комп'ютером:

а) необхідно стійко розташувати клавіатуру на робочому столі, не допускаючи її хитання. Разом з тим має бути передбачена можливість її поворотів та переміщень. Положення клавіатури та кут її нахилу мають відповідати побажанням оператора (користувача). Якщо в конструкції клавіатури не передбачено простір для опори долонь, то їх слід розташовувати на відстані не менше 100 мм від краю столу в зручній для роботи зоні. Під час роботи з клавіатурою необхідно сидіти прямо, не напружуватися;

б) для зменшення несприятливого впливу на оператора (користувача) маніпулятора типу «миша» (вимушена поза, потреба постійного контролю за якістю дій) необхідно забезпечити достатню для переміщення «миші» і зручного упору ліктьового суглоба поверхню столу;

в) не дозволяються сторонні розмови, подразнюючі шуми;

г) періодично при вимкненому комп'ютері прибирати бавовняною ганчіркою, ледь змоченою мильним розчином, пил з поверхонь апаратури. Екран ПЕОМ протирають ватою, змоченою в спирті, або спеціальними серветками. Не дозволяється використовувати рідину або аерозольні засоби для очищення поверхонь комп'ютера;

д) забороняється самостійно виконувати ремонт апаратури, а також класти будь-які предмети на апаратуру ПЕОМ, оскільки це може вивести її з ладу;

е) для зняття статичної електрики рекомендується час від часу, торкатися рукою металевих поверхонь (батареї центрального опалення тощо);

ж) для зниження напруженості праці при роботі з ПЕОМ необхідно рівномірно розподіляти і чергувати характер робіт відповідно до їх складності. З метою зменшення негативного впливу монотонії доцільно застосувати чергування операцій введення тексту та числових даних (зміна змісту робіт), чергування редагування текстів та введення даних (зміна змісту та темпу роботи) тощо.

и) з метою збереження здоров'я працюючих, зменшення негативного впливу на них виробничих факторів, запобігання професійним захворюванням, а також підтримки працездатності повинні бути передбачені для відпочинку наступні регламентовані перерви:

1) для розробників програм (інженерів-програмістів) – тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи;

2) для користувачів ПЕОМ – тривалістю 15 хвилин через кожні 2 години;

3) для операторів комп'ютерного набору – тривалістю 10 хвилин після кожної години роботи;

к) під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження і втоми зорового аналізатора, усунення негативного впливу гіподинамії та гіпокінезії, а також запобігання розвитку позотонічної втоми рекомендується виконувати комплекс вправ, зазначених у додатку А до цієї інструкції;

л) у разі виникнення у працюючих за ПЕОМ зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних відчуттів, що настають, незважаючи на дотримання санітарногігієнічних і ергономічних вимог режимів праці та відпочинку, слід застосовувати індивідуальний підхід в обмеженні часу робіт за ПЕОМ і корекцію тривалості перерв для відпочинку або проводити заміну іншими видами робіт (не пов'язаних з використанням ПЕОМ).

3.2. Робота на лазерних принтерах.

а) розташовувати принтер необхідно поруч з комп'ютером таким чином, щоб з'єднувальний шнур не був натягнутий; забороняється ставити принтер на системний блок;

б) перш ніж починати друк, переконатися, що принтер підключений до комп'ютера;

в) для досягнення найбільш чітких, з високою роздільною здатністю, зображень і уникнення псування апарату, необхідно використовувати папір, указаний в інструкції з експлуатації принтера;

г) забороняється використовувати наступний папір:

1) занадто гладенький, а також високотекстурований;

2) ламінований;

3) рваний, зморщений або з отворами від діркопробивача чи степлера;

4) перфорований на кілька частин або цигарковий (основа копіювального паперу);

5) фірмові бланки, заголовки яких надруковані не термостійкими фарбами (ці фарби можуть перейти на термозакріплюючий валик і стати причиною дефектів друку);

д) при змінанні паперу слід відкрити кришку і обережно витягнути лоток з папером; при цьому необхідно бути уважним, щоб не обпектися під час витягування аркуша з термозакріплюючого пристрою.

е) дотримуватися правил зберігання картриджа згідно інструкції фірми виробника (подалі від прямих сонячних променів, при температурі 0 – 35 ° C)

ж) забороняється:

- 1) зберігати картридж без упаковки;
- 2) ставити картридж на торець (тобто вертикально);
- 3) перевертати картридж етикеткою вниз;
- 4) відкривати кришку валика і доторкатися до нього;
- 5) самостійно заповнювати тонером використаний картридж;

и) проводити самостійно ремонт та обслуговування принтера; у разі погіршення якості друку необхідно звернутися до служби з технічного обслуговування комп'ютерної техніки.

4. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ

4.1. Після закінчення роботи необхідно відключити від електричної мережі обладнання, підключене до ПЕОМ, в наступній послідовності:

- відключити додаткове обладнання (принтер, модем, або інше);
- відключити монітор;
- відключити системний блок.

4.2. Привести в належний стан робоче місце, прибрати носії інформації, робочі папери, інструменти, пристосування, захисні засоби та інше.

4.3. Повідомити безпосереднього керівника про всі виявлені під час роботи недоліки.

4.4. Вимкнути в робочому приміщенні освітлення та інше обладнання.

4.5. Працівник, який останнім залишає приміщення, обладнане протипожежною та охоронною сигналізацією, повинен здати його під охорону.

5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ У АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. В процесі роботи можуть виникнути наступні аварійні ситуації:

- загоряння обладнання або матеріалів, виникнення пожежі;
- пошкодження ізоляції електрообладнання, виникнення напруги дотику та крокової напруги.

5.2. У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

- обгородити небезпечну зону і не допускати в неї сторонніх осіб; якщо обстановка не загрожує життю і здоров'ю працівників і не призведе до більш

тяжких наслідків, необхідно її зберегти такою, якою вона була на момент настання події, для проведення розслідування;

- при пожежі приступити до її ліквідації; якщо погасити пожежу своїми силами неможливо, викликати пожежну команду;

- повідомити про те, що сталося, керівника робіт.

5.3. У разі настання нещасного випадку:

- негайно звільнити потерпілого від дії уражаючого фактору;
- перенести його в безпечне місце;
- визначити стан потерпілого, при необхідності надати йому домедичну допомогу, а у тяжких випадках викликати "швидку медичну допомогу".

5.4. Вимити руки, обличчя з милом або миючими засобами, при необхідності прийняти душ.

5.5. Доповісти керівнику про виявлені під час роботи недоліки, несправності та загальний стан робочого місця.

6. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. В процесі роботи можуть виникнути наступні аварійні ситуації:

- загоряння обладнання або матеріалів, виникнення пожежі;
- пошкодження ізоляції електрообладнання, виникнення напруги дотику та крокової напруги;
- дія природних факторів або явищ (підвищена або знижена температури, снігопад, гроза тощо).

6.2. У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

- обгородити небезпечну зону і не допускати в неї сторонніх осіб; якщо обстановка не загрожує життю і здоров'ю працівників і не призведе до більш тяжких наслідків, необхідно її зберегти такою, якою вона була на момент настання події, для проведення розслідування;

- при пожежі приступити до її ліквідації; якщо погасити пожежу своїми силами неможливо, викликати пожежну команду;

- повідомити про те, що сталося, керівника робіт.

6.3. У разі настання нещасного випадку:

- негайно звільнити потерпілого від дії уражаючого фактору;
- перенести його в безпечне місце;
- визначити стан потерпілого, при необхідності надати йому домедичну допомогу, а у тяжких випадках викликати "швидку медичну допомогу".

6.4. При ліквідації аварійної ситуації виконувати вказівки керівника робіт.

ВИСНОВОК

В ході бакалаврської роботи був проведений літературний огляд статей присвячених нітридним конденсатам, зокрема їх властивості та методам отримання. Розглянуто експериментальні методи, що використовувались для аналізу багатоеlementних та багат шарових покриттів. Серія наноламінатних $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ покриттів з різним періодом модуляції (λ) і потенціалом зміщення підкладки що були синтезовані методом вакуумно-дугового осадження (VA-PVD). Вивчено склад, еволюція мікроструктури та механічні властивості при переході від базового $(Al_{50}Ti_{50})N$ покриття до наноламінатної архітектури з поетапним зменшенням періоду модуляції бішару. Результати SEM показали, що бінарний шар в $(Al_{50}Ti_{50})N/ZrN$ наноламінатах росте з(111) переважною орієнтацією ГЦК $(Ti,Al)N$ зерна і формуванням малої кількості суміші зерен з орієнтацією (200)+(220)+(311).

Список літератури

- [1]UDC 621.793.7 A.A. Andreev, L.P. Sablev, S.N. Grigoryev. Vacuum arc coatings. - Kharkov, NSC KIPT, 2010. 80-86
- [2] V.A. Liopo, V.V.Voyna. "X-ray diffractometry" Grodno 2003, pp. 31-35
- [3] V.L.Gurtovoi, A.B.Ermolaev, A.V.Chernykh, V.A.Goncharov Weak-link Investigation of a YBaCuO Thin Film DC SQUID by SEM Supercond.Sci.Technol.,(1993) 144-147
- [4] B.O. Postolnyi, V.M. Beresnev, G. Abadias, O.V. Bondar, L. Rebouta, J.P. Araujo, A.D. Pogrebnjak Multilayer design of CrN/MoN protective coatings for enhanced hardness and toughness
- [5] Aleksandr V.Pshyka, Yaroslav Kravchenko a, Emerson Coya, Mateusz Kempieńskia, Igor Iatsunskyia, Karol Załęskia, Alexander D. Pogrebnjakb, Stefan Jurga Microstructure, phase composition and mechanical properties of novel nanocomposite (TiAlSiY)N and nano-scale (TiAlSiY)N/MoN multifunctional heterostructures
- [6] В.А. Лиопо, В.В. Война. "Рентгеновская дифрактометрия" Гродно 2003, стр. 31-35
- [7] Введение в структурный анализ нанокристаллов/ С.В.Цыбуля С.В.Черепанова// «ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА»- Новосибирск 2008 стр. 40-42
- [8] A.A.PLYUTTO, V.N.RYZHKOV, and A.T.KAPIN, SOVIET PHYSICS JETP, V.20, No2, P.329-337 (1965)
- [9] G.W. Kimblin. Erosion and ionization in the cathode spot regions of vacuum arcs //J. Appl. Phys. 1973, v. 44, № 7, p. 3074 – 3081
- [10] Ya.O. Kravchenko, L.E. Coy, B. Peplinska, I. Iatsunskyi, K. Załęski, M. Kempinski, V.M. Beresnev, P. Konarski, S. Jurga, A.D. Pogrebnjak Nano-multilayered coatings of (TiAlSiY)N/MeN (Me=Mo, Cr and Zr): Influence of composition of the alternating layer on their structural and mechanical properties //Journal of Alloys and Compounds 767 (2018) 483-495

- [11] A.V. Pshyk, Ya O. Kravchenko, L.E. Coy, B. Peplinska, I. Iatsunskyi, K. Zaleski, A.D. Pogrebnjak, S. Jurga, Microstructure, phase composition and mechanical properties of novel nanocomposite (TiAlSiY)N and nano-scale (TiAlSiY)N/MoN multifunctional heterostructures // Surface and Coatings Technology Volume 350, 2018, P 376-390
- [12] Kimura A., Hasegawa H., Yamada K., Suzuki T. Effects of Al content on hardness, lattice parameter and microstructure of $Ti_{1-x}Al_xN$ films//Surf. Coat. Technol. – 1999. – Vol. 120-121. – P. 438-441
- [13] A.Hörling, L.Hultman, M.Odén, J.Sjölén, L.Karlsson Mechanical properties and machining performance of $Ti_{1-x}Al_xN$ -coated cutting tools // Surface and Coatings Technology Volume 191, Issues 2–3, 2005, P. 384-392
- [14] Mayrhofer P.H., Music D. and Schneider J.M. Influence of the Al distribution on the structure, elastic properties, and phase stability of supersaturated $Ti_{1-x}Al_xN$ //Jour. Appl. Phys. – 2006. – Vol. 100. – P. 094906
- [15] Hasegawa H. Effects of second metal contents on microstructure and micro-hardness of ternary nitride films synthesized by cathodic arc method / H. Hasegawa, T. Suzuki. // Surface and Coatings Technology. — 2004. — Vol.188–189. — P. 234–240.