



pesconf.nuczu.edu.ua

ПРОБЛЕМИ
НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ

Civil Security
Цивільна безпека

International Scientific
Applied Conference
"PROBLEMS
OF EMERGENCY SITUATIONS"

Chemical Technology and Engineering
Хімічна технологія та інженерія

Physics and Materials Science
Фізика та матеріалознавство

Applied Geometry, Engineering Graphics and Information Technology
Прикладна геометрія, інженерна графіка та інформаційні технології

Cherkasy



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ



Міжнародна
науково-практична конференція

**Проблеми
надзвичайних
ситуацій**

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Черкаси
21 травня 2026 року

СТАБІЛЬНІСТЬ АМОРФНОГО СТАНУ ОКСИДУ НІОБІУ ПРИ ТЕРМОПОЛЬОВОМУ ВПЛИВІ

Старікова С. Л., д.мед.н., професор,

Старіков В. В., PhD,

Воронцов М. Ю.

Харківський національний медичний університет

Для пасивації виробів медичного призначення досить часто використовуються анодні оксидні плівки (АОП) вентильних металів Ta, Nb, Ti, Zr з аморфною структурою. Стійкість таких оксидних покриттів до хімічної корозії досить висока навіть за незначної (0,5–1 нм) товщини [1]. Однак у разі електрохімічного корозійного процесу не менш суттєвим параметром є їх низька електрична провідність. З цього приводу слід брати до уваги, що дія на аморфну структуру АОП зовнішніх факторів збільшує вірогідність початку кристалізаційних процесів, які можуть спричинити суттєве підвищення її провідності. Тому метою роботи було дослідження параметрів кристалізації АОП ніобію за умови впливу високих електричних полів разом з дією термічного фактору або варіюванням товщини оксидної плівки.

АОП на поверхні ніобію формувалася методом електрохімічного окислення в 0,01 %-водному розчині ортофосфорної кислоти у двох послідовних режимах: гальваностатичному та вольтстатичному [1]. У гальваностатичному режимі підтримувалася постійна щільність струму $j=1 \text{ А/м}^2$ при зміні напруги U в діапазоні 0–250 В до досягнення необхідної товщини оксиду. У вольтстатичному режимі на зразку підтримувалася постійна напруга, а струм у цей час зменшувався за рахунок підвищення стехіометрії оксиду і зростання його електричного опору. При зменшенні струму в 10–15 разів процес окислення припинявся.

Кристалізація АОП пов'язується з дією таких факторів: підвищенням температури, значною величиною зовнішнього електричного поля, а також суттєвим збільшенням товщини оксиду. Виходячи з цього, вивчення процесу кристалізації АОП проводилося шляхом комбінації впливу температурного або товщинного фактору разом з дією сильного електричного поля ($\sim 10^8 \text{ В/м}$), що дозволяло суттєво зменшити час спостереження фазових перетворень в оксиді. Таке поле забезпечувало досить високу іонну рухливість в АОП навіть при кімнатній температурі і полегшувало дифузійне перенесення речовини через її об'єм, що в кінцевому рахунку сприяло кристалізації оксиду. Початок кристалізаційного процесу визначався часом інкубаційного періоду.

Якщо після вольтстатичної стадії зростання оксидної плівки напругу на електролітичному осередку не вимикали, то струм спочатку знижувався за експоненціальним законом, а потім відбувалося його зростання. Такий ефект пояснювався наступними причинами. Зменшення струму визначалося вирівнюванням стехіометричного складу оксиду за його товщиною, що вело до зростання загального електричного опору системи $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Nb}$. Через деякий час у стехіометричному оксиді при збереженні високої рухливості іонів починали формуватися і рости кристали оксидної фази однакового з аморфним оксидом складу, що спричиняло утворення тріщин в АОП і різке підвищення його електричної провідності. Момент початку зростання струму після досягнення мінімального значення означав кінець інкубаційного періоду утворення кристалічної фази.

Кристалізація аморфного оксиду в електролітичному осередку під дією зовнішнього поля протікала за двома механізмами. Перший пов'язаний з кристалізацією оксиду, коли його товщина стає порівнянною з критичним розміром кристалічного зародка. У цьому випадку відбувається утворення кристала всередині оксидної фази, що

веде до виникнення розтягувальних напруг в об'ємі АОП, і викликає розтріскування оксиду. Загалом це збільшує електричну провідність металооксидної системи. Другий механізм реалізується при виникненні та зростанні кристалічної фази на міжфазній межі $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Nb}$ без використання речовини анодного оксиду. Кисень до міжфазної межі дифундує з електроліту через аморфну оксидну фазу [2], прискорений дією сильного зовнішнього електричного поля. Нова кристалічна фаза відсуває аморфний оксид від поверхні металу, створюючи в оксиді стискаючі напруги, що також призводить до утворення в ньому тріщин і збільшує загальну провідність системи $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Nb}$. Зовнішньо цей процес супроводжується так званим «іскрінням» – електричними розрядами на поверхні в місцях пробую оксидної плівки [3]. При товщині оксиду $t > 400$ нм працюють обидва механізми кристалізації АОП. Якщо товщина оксиду зменшується, то внесок першого механізму також зменшується. Експериментально показано, що досить високу стійкість аморфного стану мають АОП завтовшки до $t = 350$ нм.

Якщо вважати, що електричні поля в аморфній плівці та кристалі під нею однорідні і пропорційні $E_a = f E_{\text{кр}}$, то для сталого процесу $f = \epsilon_{\text{кр}} / \epsilon_a$, де $\epsilon_{\text{кр}}$ та ϵ_a – діелектрична проникність кристалічного та аморфного оксидів. Тоді напруженість поля у кристалі буде:

$$E_{\text{кр}} = \frac{U}{ft_0 + H_{\tau}}, \quad (1)$$

де U – напруга, прикладена до системи метал-оксид-електроліт; H_{τ} – висота кристала в момент часу τ ; t_0 – товщина анодної оксидної плівки над кристалом (вважається, що вона не змінюється у процесі зростання кристала).

Швидкість зростання кристала визначається законом Фарадея. Враховуючи це і використовуючи (1), вводимо нові змінні для інтегрування, після перетворень та спрощень отримуємо вираз для розрахунку часу інкубаційного періоду:

$$\tau = \frac{2\psi(f + y)t_a}{\gamma j_0} \exp\left(\frac{W}{kT}\right) \exp\left(-\frac{\mu E_a}{kT\psi(f + y)}\right), \quad (2)$$

де $\alpha = t_0 / t_a$ – відношення товщини анодної оксидної плівки над кристалом до її середньої товщини; $y = H / t_0$, (H – критична висота кристала, коли в аморфній плівці над ним з'являється тріщина); $E_a = U / t_a$.

Використовуючи експериментально знайдені значення інкубаційного періоду для різних температур, можна побудувати залежність $\lg(\tau / t_a) - 1/T$ і по тангенсу кута нахилу прямої визначити енергію активації кристалізації W . Якщо ж розраховано інкубаційний період для різних величин напруженості зовнішнього електричного поля, то по тангенсу кута нахилу залежності $\lg(\tau / t_a) - E_a$ можна розрахувати дипольний момент μ . При розрахунках приймалося, що $\psi \approx 0,6$, а коефіцієнти f та y мало відрізняються від одиниці. Для оксиду ніобію були отримані такі значення: $W_{\text{Nb}} = 1,246$ еВ; $\mu_{\text{Nb}} = 9,64 \cdot 10^{-29}$ Кл·м.

ЛІТЕРАТУРА

1. Starikov, V. V., Starikova, S. L., Mamalis, A. G., Lavrynenko, S. N. (2016). Features of medical implant passivation using anodic oxide films. *Journal of Biological Physics and Chemistry*. 16. 2. 90–94.
2. Pugachov, A. T., Starikov, V. V., Taranukha, A. V., Udoenko, L. M., Mamalis, A. G., Lavrynenko, S. N. (2012). Investigation of Charge Transfer and Degradation Features in Bilayer Zr-ZrO₂. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 21. 553–557.
3. Bayrachniy, B. I., Tokareva, I. A. (2016). Nanostructured Anodic Oxide Films of Niobium: Features of Electrochemical Formation, Functional Properties and Applications. *Physics and Chemistry of Solid State*. 17. 2. 160–169.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ

Андрієнко М. В., Бойко О. А., Гаман П. І. Сучасні підходи до цивільного захисту об'єктів підвищеної небезпеки та об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану	4
Афанасенко К. А., Григоренко О. М. Взаємозв'язок класів токсичних речовин за критерієм гострої токсичності при ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки	6
Баланюк В. М., Мирошкін В. С., Гусар Н. І. Щодо питання моделювання параметрів концентрації та геометрії аерозольної хмари під час гасіння горіння на відкритому просторі	8
Балдук Г. П., Беспалова А. В., Балдук П. Г. Інформаційні моделі будівель й споруд як інструмент підвищення якості експертизи проектної документації на будівництво	10
Балицька В. О. Аналіз основних тенденцій розвитку товстоплівкової сенсорики для застосування у сфері цивільного захисту	12
Барабаш М. С., Бармін І. В. Особливості розрахунку захисних споруд на аварійні впливи	14
Басманов О. Є., Карпова Д. І. Прогнозування температурного режиму вертикальних сталевих резервуарів при горінні нафтопродуктів	16
Батечко С. М., Отрош Ю. А. Трансформація превентивної діяльності ДСНС на рівні територіальних громад	18
Бекірова М. М., Чучмай О. М. Розрахунок рамних стержневих конструкцій на дію імпульсного навантаження	20
Березовський А. І., Копил Б. Я. Метод визначення міцності утвореного пінококсу вогнезахисних покриттів металевих конструкцій	22
Бондаренко С. М., Волошин Р. О. Апаратурне забезпечення дослідження характеристик аспіраційних пожежних сповіщувачів	24
Боцуляк А. І., Антошкін О. А. Автоматизація проектування систем пожежної сигналізації як інструмент підвищення якості роботи інженера-проектувальника	26
Братель С. Г., Білик І. В. Превентивна діяльність національної поліції України у системі запобігання надзвичайним ситуаціям: організаційно-правові та управлінські аспекти	28
Буднік С. В. Зміни клімату та трансформація представлення гідрометеорологічної інформації щодо запобігання надзвичайних станів	30
Вавренюк С. А. Загальні принципи побудови зовнішніх систем блискавкозахисту	32
Веселівський Р. Б., Яковчук Р. С., Смоляк Д. В., Поліщук І. М. Актуальність дослідження закономірностей зміни коефіцієнта теплопровідності та часу досягнення критичної температури у вогнезахисних сталевих конструкціях	34
Вітовецький В. О., Мельник В. П. Цифровізація робочих процесів у сфері цивільного захисту та превентивної діяльності	36

**СЕКЦІЯ 4. ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ, РАДІАЦІЙНИЙ
ТА ХІМІЧНИЙ ЗАХИСТ**

<i>Азізов Т. Н., Срібняк Н. М., Циганенко Л. А., Майстренко О. Ф.</i> Розрахунок плит з будівельної фанери на міцність зсуву шарів	364
<i>Бандурян Б. Б., Морозов О. М., Журба В. І., Колосков В. Ю.</i> Метод визначення та ідентифікації дефектів у конструктивних матеріалах енергетичних установок.....	367
<i>Березюк О. В., Віштак І. В., Горбатюк С. В.</i> Вплив параметрів протирадіаційних захисних споруд на частоту злякисних новоутворень.....	369
<i>Бордун І. М., Мальований М. С., Борисюк А. К., Назурський Н. О.</i> Синтез, структура і адсорбційні властивості магніточутливих вуглецевих композитів, виготовлених методом осадження магнетиту на активоване вугілля.....	371
<i>Буйських Н. В., Горбунов Д. В., Горбачов О. Ю., Мазурчук С. М.</i> Порівняльна оцінка властивостей захисних покриттів класів АС3 та АС4	373
<i>Возовик Ю. М., Сандрацька А. В.</i> Об'єкти рослинного походження як носії доказової інформації при радіаційних аваріях.....	375
<i>Гапон Ю. К., Майборода А. О., Михайловська Ю. В., Гринько Ю. М.</i> Експериментальне визначення температури спалаху бутилгліцидилового етеру у відкритому тиглі	377
<i>Гузій С. Г., Барвіцький П. П., Присяжна О. В., Одукалець Л. А.</i> Перспективи створення композитних епоксі-магнетитових матеріалів для захисту від мікрохвильового випромінювання побутових та промислових джерел	379
<i>Данченко Ю. М., Андронов В. А., Карєв А. І.</i> Прогнозування полярної (кислотно-лужної) складової вільної поверхневої енергії в дисперсійно-наповнених полімерних композитах	382
<i>Каюмова В. О., Троцький Р. С.</i> Міжнародно-правові механізми заборони ядерної та хімічної зброї: між формальною заборорою та реальною глобальною загрозою.....	386
<i>Кірєєв О. О., Гапон Ю. К., Трефілова Л. М., Журбинський Д. А.</i> Дослідження вогнегасних властивостей двошарової системи легкий сипкий матеріал – швидкотвердіюча піна.....	388
<i>Коліщак В. Р., Іщенко І. І., Школяр Є. В., Мотрічук Р. Б.</i> Фортифікаційна міцність: роль бетонів в умовах сучасної війни	390
<i>Кондратьєв А. В., Мельніков С. М., Набокін Т. П.</i> Вплив знежирення алюмінієвої фольги на адгезію та формування дефектів у стільникових заповнювачах	392
<i>Мазурчук С. М., Семенов І. К., Горбачова О. Ю., Ломага В. В.</i> Дослідження механічної поведінки гетерогенних клейових з'єднань деревини при статичному згині.....	394
<i>Рилєєв Д. Р., Степаненко В. О.</i> Небезпека виникнення аварій при проведенні хімічних процесів та їх попередження.....	396
<i>Скородумова О. Б., Чернуха А. А., Лисак Н. М., Русенко К. О.</i> Гелеутворення в системі гібридний силіказоль – фосфоровмісні добавки.....	398
<i>Скрипинець А. В., Саєнко Н. В., Гуріна Г. І., Кабусь О. В., Саєнко Л. В.</i> Вплив топології полімерної сітки та кінетики отвердіння на властивості епоксиретанових матеріалів	400

Старікова С. Л., Старіков В. В., Воронцов М. Ю.	
Стабільність аморфного стану оксиду ніобію при термопольовому впливі.....	402
Трегубов Д. Г., Нуязін В. М., Журбинський Д. А., Чорний Я. О., Турбін Є. А.	
Вплив надмолекулярної будови на вибухові властивості амонійної селітри.....	404
Трегубов Д. Г., Чиркіна-Харламова М. А., Гончаренко Я. М., Даник О. М., Сергієнко О. В.	
Хімізм режимів очищення стічних вод мікродуговими розрядами.....	406
Фірсов С. А., Дикань С. А., Єфремова В. П.	
Чи потрібно на воєнний час планувати режими радіаційного захисту?	408
Черненко О. М., Фільчук І. Ю., Мохна Л. І.	
Ядерна загроза: наслідки та дії.....	410
Чиркіна-Харламова М. А., Рилєєв Д. Р., Крупський С. С.	
Технічні засоби радіаційного моніторингу у країнах Північноатлантичного альянсу	412
Шуранков Є. О., Бойков В. С., Новгородченко А. Ю.	
Використання програмного комплексу ArchiCAD для моделювання навчальних аудиторій	414
Karandashov O. H., Pidhorna L. P., Cherkashyna H. M.	
Research on the properties of glass-, basil-carbon plastics and aluminum structures adhesive joints	416
Polishchuk M., Lebedev V. V., Lytvyn A. O., Shestopalov O. V.	
Research into the structuring processes of multifunctional multispectral composites based on orthophthal polyester oligomers	418

СЕКЦІЯ 5. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Белюченко Д. Ю., Щербина Р. Г., Полов'ян А. В.	
Аналіз факторів що впливає на розрив елементів страхувальних систем	420
Блоконь К. В., Мальований М. С., Проскурнін О. А., Мележик Р. С.	
Каталітичне знешкодження газових викидів смолопереробного цеху коксохімічного виробництва	422
Босюк А. С., Філоненко А. В., Бабак К. О., Кондратенко О. Ю.	
Аналіз даних інтерактивної мапи потенційної шкоди довкіллю	424
Бригада О. В., Гриценко М. С.	
Аналіз середньодобових концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Суми	426
Бутенко Е. О.	
Синтетичні аніонні глини (шаруваті подвійні гідроксиди) в системах екологічного захисту водних об'єктів промислових регіонів: сорбція органічних сполук та утилізація відпрацьованих сорбентів.....	428
Великий А. О., Цимбал Б. М.	
Система управління охороною праці на підприємствах критичної інфраструктури в умовах воєнного стану	431
Віштак І. В., Іскра М. А.	
Роль інструктажів та навчання з охорони праці у формуванні безпечного виробничого середовища	433
Войналович О. В., Тимочко В. О., Вісин О. О.	
Логіко-імітаційне моделювання впливу виробничих чинників на професійний ризик працівників автотранспорту	435