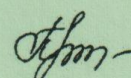


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ПРОСКУРІН МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 621.35

**КОМПОЗИЦІЙНІ ПОКРИТТЯ АКТИВНИМИ
ДИЕЛЕКТРИКАМИ НА СПЛАВАХ АЛЮМІНІЮ**

Спеціальність 05.17.03 – технічна електрохімія

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сахненко Микола Дмитрович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
завідувач кафедри фізичної хімії

Офіційні опоненти: доктор хімічних наук, професор
Кошель Микола Дмитрович,
Український державний хіміко-технологічний університет,
м. Дніпропетровськ,
професор кафедри технічної електрохімії

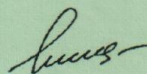
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Лукащук Тетяна Сергіївна,
Науково-дослідний інститут хімії
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна, м. Харків,
старший науковий співробітник відділу фізичної хімії та
електрохімії розчинів

Захист відбудеться "29" травня 2014 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, технічний корпус (аудиторія 22).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий "25" квітня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Шабанова Г.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію дає можливість ефективно вирішувати складні завдання в області сучасних мікро- та наноелектронних технологій. Швидкий розвиток різноманітних радіоелектронних систем, як наприклад мобільний супутниковий зв'язок, навігаційні та телекомунікаційні сеті, сенсорні прилади та ін., значною мірою обумовлений розробкою нових мікроелектронних компонентів, котрі мають магнітні та електричні властивості одночасно, управління якими можливо як електричним так і магнітним полем.

Сучасні дослідження відзначають, що для створення приладів з магнітоелектричними властивостями найбільш придатними матеріалами є ферити та сегнетоелектрики, які потрібно формувати у вигляді двошарових структур.

Враховуючи вищеозначене, формування перспективних композиційних та двошарових структур на основі феримагнетиту та сегнетоелектрику на сплавах алюмінію з високими показниками фізико-хімічних та електрофізичних властивостей є актуальною задачею та визначає напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі фізичної хімії НТУ "ХП" за планами науково-дослідних робіт відповідно до завдань держбюджетних тем МОН України: "Дослідження закономірностей електрохімічного синтезу функціональних покриттів з прогнозованими властивостями" (ДР № 0107U000596), "Розробка теоретичних підстав електросинтезу наноструктурних покриттів нового покоління для екологічно безпечних енерго- та ресурсозберігаючих технологій" (ДР № 0110U001244) та "Розробка високоефективних фізико-хімічних методів створення наноструктурованих матеріалів для систем акумулювання енергії та знешкодження техногенних забруднень" (ДР № 0113U000437), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі досліджень. *Мета дослідження* – розробка теоретичних підстав та технологій електрохімічного синтезу наноструктурованих композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію із заданими фізико-хімічними властивостями.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- розробити електрохімічний спосіб формування композиційних та шаруватих покриттів активними діелектриками на сплаві алюмінію;
- експериментально дослідити процеси електрохімічного осадження покриттів феритом та сегнетоелектриком на сплаві алюмінію в режимі мікродугового оксидування;
- встановити режими процесу формування покриттів сегнетоелектриком на шар фериту методом електрофоретичного осадження;
- визначити вплив технологічних параметрів мікродугового оксидування та електрофоретичного осадження на товщину і морфологію покриттів феримагнетиком $ZnO \cdot Fe_2O_3$ та сегнетоелектриком $Ba_{0.8}Sr_{0.2}Zr_{0.05}Ti_{0.95}O_3$;

– дати оцінку взаємозв'язку між товщиною шарів і властивостями композиційних покриттів активними діелектриками (діелектрична і магнітна проникність, напруга пробую);

– визначити вплив товщини шарів покриття феритом та сегнетоелектриком на магнітоелектричні властивості шаруватого композиту;

– провести експериментальні дослідження магнітоелектричних властивостей покриттів активними діелектриками шаруватої структури.

Об'єктом дослідження є електрохімічні процеси, що протікають при формуванні композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію.

Предмет дослідження – фізико-хімічні закономірності і технологічні параметри процесів мікроплазмового оксидування (МПО) та електрофорезу (ЕФО), електрофізичні характеристики покриттів.

Методи дослідження. Під час виконання дисертаційної роботи використано комплекс сучасних фізико-хімічних та електрофізичних методів. Фізико-хімічні та захисні властивості багатошарового покриття визначали за допомогою моста змінного струму Р-5083. Обробку результатів вимірювання імпедансу проводили за програмою ZView. Дослідження напруги іскріння та формовки процесу мікроплазмового оксидування проводили із використанням електронного цифрового двоканального осцилографу Tektronix TDS 1012. Елементний склад отриманих покриттів досліджували рентгено-флуоресцентним методом з використанням універсального технічного спектрометра «Спрут» з відносним стандартним відхиленням 10^{-3} - 10^{-2} , поверхню зразків досліджували електронним мікроскопом ZEISS EVO 40XVP. Вольтамперометричні дослідження електрохімічної поведінки сформованих покриттів активними діелектриками проводили за допомогою потенціостату ПІ-50-1 та ІРС-Pro М.

Експериментальні дослідження проводили на базі кафедри фізичної хімії та кафедри теоретичні основи електротехніки НТУ «ХПІ».

Наукова новизна отриманих результатів:

– запропоновано спосіб формування покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію, який базується на послідовному використанні двох електрохімічних процесів: мікроплазмового оксидування і електрофоретичного осадження;

– встановлено вплив концентрації дисперсних частинок фериту і сегнетоелектрика на технологічні параметри процесу мікроплазмового оксидування і визначено, що збільшення концентрації сегнетоелектрика веде до зростання напруги формовки, а збільшення концентрації фериту веде до його зниження, що пояснюється різним питомим опором фаз, що формують композит;

– запропоновано використання електролітів на основі гідроксиду калію концентрацією 0,03 – 0,04 моль/дм³ для нанесення рівномірних по товщині покриттів феритом і сегнетоелектриком в режимі мікроплазмового оксидування, а електрофоретичне формування щільного осаду сегнетоелектрика оптимальної товщини (50 мкм) відбувається при напрузі 20-30 В у електроліті на основі оксалатної кислоти протягом 40 – 60 сек;

– визначено вплив товщини покриттів феримагнетиком на його магнітні властивості та встановлено, що з ростом товщини покриття збільшується питома потужність магнітного поля, що, ймовірно, пояснюється симбатно зміною кількості і розмірів доменів в структурі феримагнетика;

– встановлено, що із зростанням товщини покриття сегнетоелектриком відбувається збільшення діелектричної проникності, але температура фазового переходу (точка Кюрі) залишається стабільною (на рівні 50–55° С), оскільки фазовий перехід залежить від складу сегнетоелектрика, а не його товщини, а збільшення електричної міцності покриттів є закономірним, оскільки зростає опір покриття.

Практичне значення одержаних результатів для електрохімічної галузі полягає у створенні композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками для низки галузей промисловості, зокрема аерокосмічної, мікроелектронної та ін. Запропоновано методологію формування двошарового покриття контрольованої товщини із спеціальними фізико-хімічними властивостями шляхом інтегрування двох електрохімічних процесів: мікроплазмового оксидування та електрофоретичного осадження. Розроблено состави електролітів та режими МПО та ЕФО процесів для формування рівномірних покривів із високою адгезією до алюмінієвої основи (патенти України № 60729, № 66123 та № 70581). Проведені магнітоелектричні випробування двошарових покриттів активними діелектриками, сформованими за запропонованою технологією, показали, що при співвідношенні товщини покриття феритом і сегнетоелектриком 1:2 на частоті змінного магнітного поля 60 кГц спостерігається найбільше значення магнітоелектричного коефіцієнта (8 мВ/Е·см²). Встановлено, що покриття феритом та сегнетоелектриком шаруватої структури, із співвідношенням товщини шарів 1:2, можна використовувати як активні середовища для виготовлення датчиків змінного магнітного поля.

Технологію двошарових покриттів активними діелектриками впроваджено в НДПКІ "Молнія" (м. Харків) при розробці вимірювачів напруженості магнітного поля. Результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедри фізичної хімії НТУ "ХП".

Особистий внесок здобувача. Наукові результати та основні положення, що викладені в дисертаційній роботі та винесені на захист, одержані здобувачем особисто. Серед них: участь у плануванні теоретичних досліджень; виконання досліджень щодо визначення впливу технологічних параметрів на товщину, склад та морфологію композиційних та шаруватих покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію; аналіз та інтерпретація отриманих результатів; участь у випробуваннях та впровадженні. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення результатів виконані здобувачем спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Всеукраїнській науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з міжнародною участю "Хімічні проблеми сьогодення" (м. Донецьк, 2011, 2012 р.), XIV Науковій кон-

ференції студентів і аспірантів "Львівські Хімічні читання-2011" (м. Львів, 2011 р.), XIX Міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (м. Харків, 2011 р.), International conference "Ion transport in organic and inorganic membranes" (м. Краснодар, 2011 р.), XVIII Українській конференції з неорганічної хімії за участю закордонних учених (м. Харків, 2011 р.), VI Українському з'їзді з електрохімії (м. Дніпропетровськ, 2011 р.), XXII Відкритій науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів КМН-2011 (м. Львів, 2011 р.), VI Всеросійській конференції молодих вчених, аспірантів та студентів з міжнародною участю "Менделєєв-2012" (м. Санкт-Петербург, 2012 р.), 6th International Conference on Chemistry and Chemical Education "Sviridov Readings 2012" (м. Мінськ, 2012 р.), II Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції "Сучасні технології в промисловому виробництві" (м. Суми, 2012 р.), XI Міжнародній конференції-виставці "Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів" ("Корозія-2012") (м. Львів, 2012 р.), Всеукраїнській конференції студентів та аспірантів "Хімічні Каразінські читання-2012" (м. Харків, 2012 р.), Перший Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів и молодих вчених «Современные тенденции развития приборостроения» (м. Луганськ, 2012р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 24 наукових публікаціях, з них: 7 – у фахових виданнях України, 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні, 3 патенти України, 10 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку науково-технічної літератури. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінки; з них 45 рисунки по тексту; 25 таблиці по тексту; 2 додатків на 4 сторінках; список використаних науково-технічних джерел з 188 найменувань на 21 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність дисертаційної роботи, визначено об'єкт, предмет та методи, сформульовано мету і задачі дослідження, обґрунтовано наукову новизну та практичну значущість роботи.

У **першому розділі** наведені результати аналізу науково-технічної інформації щодо формування покриттів активними діелектриками, їх одержання та спеціальні властивості. Проаналізовано сучасний стан проблеми отримання на металевій поверхні шаруватих покриттів із феримагнетиками та сегнетоелектрику. Приведено огляд існуючих технологій формування шаруватого матеріалу (напилювання, пресування).

В **другому розділі** наведено алгоритми обробки отриманих експериментальних даних із зазначенням використаної технічної апаратури та похибок вимірювань, а також характеристику використаних матеріалів, технічних продуктів та хімічних реактивів для приготування електролітів. Для формування покрит-

тів активними діелектриками використовували дисперсні матеріали фериту (ZnOFe_2O_4) та сегнетоелектрику ($\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Zr}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{O}_3$) із розміром частинок 10-50 нм.

За допомогою стабілізованих джерел постійного струму здійснювали мікродугове формування першого шару покриття феримагнетиком та електрофоретичне осадження наступного сегнетоелектриком. Полярizaційні вимірювання проводили на потенціостатах ПІ-50-1 та ІРС-Pro М.

Імпедансні вимірювання виконували на автоматичному мосту змінного струму Р 5083 у водному розчині 0,1 М Na_2SO_4 . Для вивчення складу та морфології покриттів використовували комплекс сучасних фізико-хімічних та фізичних методів аналізу (рентгеноструктурний та рентгенофлуоресцентний), а також скануючої електронної мікроскопії. Вимірювання електричного опору, діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат проводили за допомогою електронного пристрою Тангенс-2000. Магнітні властивості визначали із використанням електронного цифрового двоканального осцилографу Tektronix TDS 1012.

Третій розділ присвячено розробці методу формування композиційних та шаруватих покриттів феритом та сегнетоелектриком на сплавах алюмінію.

Перший шар феримагнетиком наносили на сплав алюмінію за допомогою метода мікродугового оксидування з лужних розчинів (KOH та $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$). На підставі аналізу характеристичних критеріїв Семерано (X_s та X_c) було встановлено механізм процесу, лімітуючою стадією якого є перенесення заряду.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості покриттів

Матеріал	Питомий опір, Ом·см	Щільність, г/см ³	Точка Кюрі, °С
Оксид алюмінію	700	3,99	-
Сегнетоелектрик	1500	6,35	60-220
Ферит	100	4,70	40-100

Аналіз формувальних залежностей сплаву алюмінію у розчинах гідроксиду та дифосфату калію із додаванням дисперсних частинок феримагнетика (рис. 1) свідчить, що геометрія залежностей має класичний вигляд, характеризується наявністю трьох ділянок (формування оксидної плівки, початок іскріння та мікродуги).

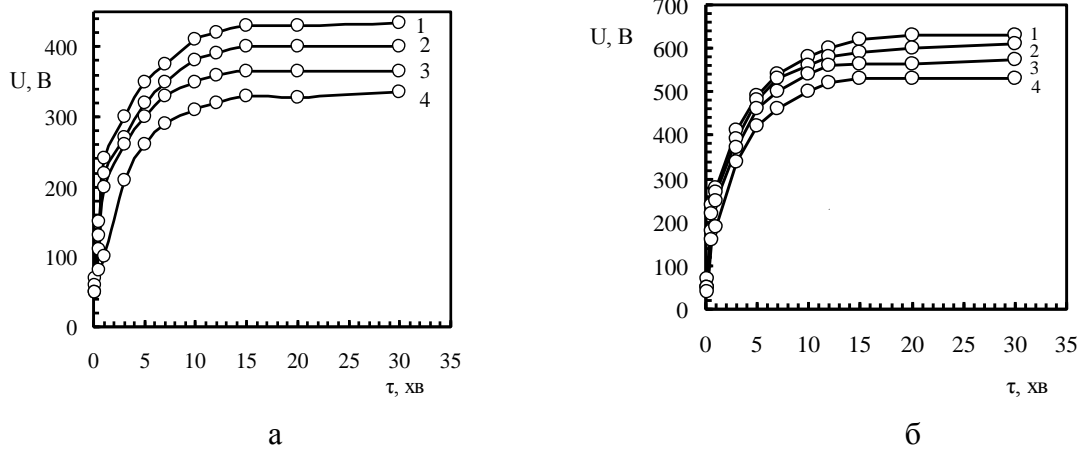


Рис. 1. Залежність напруги процесу мікродугового оксидування в суспензійному електроліті на основі водного розчину 1 моль/дм³ K₄P₂O₇ (а) та 0,035 моль/дм³ КОН (б) від концентрації фериту, г/дм³: 10(1), 20(2), 40(3), 80(4)

Дослідження впливу концентрації дисперсного матеріалу на режим процесу мікродугового оксидування у водних розчинах 1 моль/дм³ K₄P₂O₇ та 0,035 моль/дм³ КОН вказують на зменшення напруги іскріння та кінцевої напруги при підвищенні концентрації фериту (рис. 1). Це є закономірним, оскільки питомий опір фериту менше за опір оксиду алюмінію (табл. 1) і утворення фази композиту зменшує опір покриття у порівнянні з оксидним.

На основі дослідження впливу тривалості процесу мікродугового оксидування на товщину покриття феритом встановлено, що формування покриття відбувається впродовж 60 - 80 хв., після чого тривалість процесу істотно не впливає на товщину покриттів, що може бути пояснено заповненням оксидної матриці алюмінію.

Наступний шар сегнетоелектрика синтезували електрофоретичним осадженням (ЕФО) з розчину оксалатної кислоти. Важливим аспектом осадження рівномірних осадів з високою когезією до попереднього шару є вибір полімерного зв'язуючого та зарядоутворюючого електроліту із однаковими аніонами.

У випадку із оксалатною кислотою доцільно використовувати як полімерне зв'язуюче натрійкарбоксиметилцелюлозу (Na-КМЦ), оскільки вони мають спільний COO⁻-аніон. Брутто-формула отриманої гранули для дисперсної частинки сегнетоелектрику, вірогідно, має вигляд



Покриття найбільшої товщини формуються при концентрації полімерного зв'язуючого 0,15 - 0,17 моль/дм³, подальше збільшення концентрації Na-КМЦ призводить до утворення нерівномірного покриття з низькою когезією. Це є закономірним, оскільки концентрація дисперсної речовини (сегнетоелектрику) в суспензійному розчині становить 0,1 - 0,2 моль/дм³, наявність надлишку полімеру сприяє підвищенню в'язкості електроліту та зменшенню форетичної рухливості частинок.

Використання суспензійного розчину на основі гідроксиду калію дозволяє формувати осади більшої товщини, ніж при використанні оксалатної кислоти, але використання останньої сприяє осадженню більш рівномірних та щільних шарів.

Окрім концентрації дисперсної речовини та полімерного зв'язуючого в суспензійному розчині, важливим аспектом форетичного осадження рівномірних та щільних осадів є напруга та час електрофорезу.

Підвищення значення напруги понад 60 В призводить до формуванню пухких покриттів із низькою адгезією, котрі руйнувались на етапі сушіння.

Після формування осаду сегнетоелектрику товщиною 40 – 50 мкм (50 – 60 секунд процесу електрофоретичного осадження) відбувається закономірне падіння струму (рис. 2), що пояснюється екрануючою дією утвореного діелектричного осаду.

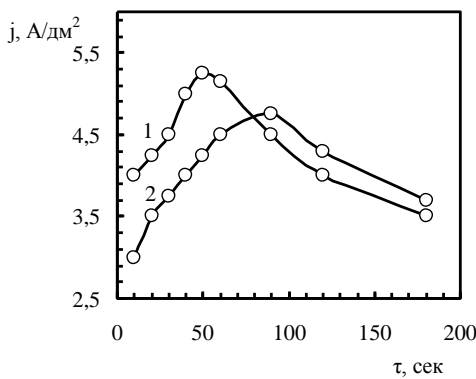


Рис. 2. Залежність анодної густини струму від часу електрофоретичного осадження в електролітах на основі 0,1 моль/дм³ КОН (1) і 0,1 моль/дм³ СООН-НООС (2) з добавкою 0,17 г/дм³ Na-КМЦ. Прикладена напруга – 30 В.

Одним з найбільш раціональних способів сушіння керамічних покриттів є конвективний, коли видалення вологи відбувається за рахунок тепла, що надходить від сушильного агента (повітря).

З практичної точки зору найбільш важливим результатом проведених експериментальних досліджень є встановлення того факту, що варіювання режимів МПО та ЕФО процесів (напруги формовки, густини струму, тривалості процесу) має суттєвий вплив на якість покриттів феритом та сегнетоелектриком. Проведення формовки при занадто високих значеннях напруги (або густини струму) призводить до підвищення напруженості покриття, та його подальшого розтріскування.

Використання малих значень напруг призводить до нерівномірного осадження дисперсного матеріалу ($ZnOFe_2O_4$ або $Ba_{0.8}Sr_{0.2}Zr_{0.05}Ti_{0.95}O_3$). Отже формування рівномірних покриттів із високою адгезією до металевої підкладки можливо лише при використанні оптимального значення напруги та густини струму. Для наочного сприйняття вищезазначених залежностей в табл. 2 наведені режими електрохімічного формування та відповідні їм мікрофотографії морфології поверхні зразків сплаву алюмінію із нанесеним покриттями феритом

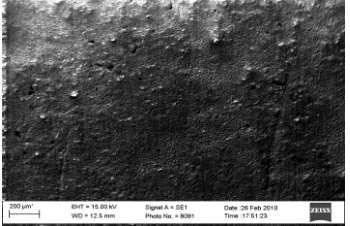
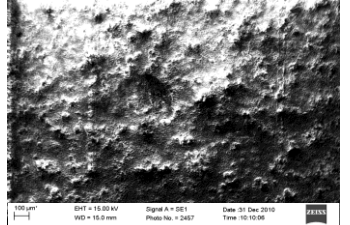
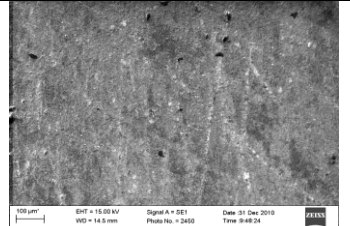
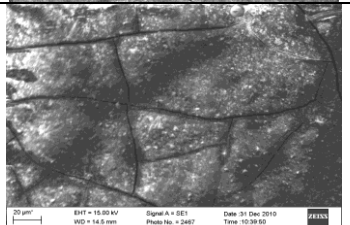
Структурно-механічні характеристики осадів значно залежать від режиму сушіння, котрий обумовлює швидкість виділення рідкої фази та розподіл полів вологовмісту та температури по їх товщині.

Нерівномірність розподілу вологи та температури призводить до виникнення напруженого стану, котрий сприяє виникненню локальних тріщин, або навіть повному руйнуванню форетичного осаду.

(розчин 0,035 моль/дм³ КОН) та сегнетоелектриком (розчин 0,1 моль/дм³ СООН-НООС).

Таблиця 2

Морфологія поверхні покривів феримагнетиком (феритом) та сегнетоелектриком (BST) при різних режимах МПО та ЕФО процесів

Матеріал	Напруга, В	Густина струму, А/дм ²	Тривалість процесу, хв.	Товщина покриття, мкм	Морфологія покриттів активними діелектриками
Ферит	480	9	60	40	
	500	10,5	90	45	
BST	30	2,5	1	90	
	60	5	1	100	

Формування покриттів феритом із найбільшою рівномірністю за товщиною відбувається при напрузі формовки – 480 В, густині струму – 9 А/дм² та тривалості процесу 60 хв. Режими процесу для електрофоретичного осадження шару сегнетоелектрику: напруга – 60 В, густина струму – 3,5 А/дм², тривалість процесу – 1 хв. Режими сушіння: температура повітря - 45°C, швидкість повітря – 1,5-2 м/с, тривалість термообробки – 15-20 хв.

Таким чином, послідовне використання двох електрохімічних процесів (мікродугове окисдування та електрофоретичне осадження), дозволяє синтезувати покриття активними діелектриками (феритом та сегнетоелектриком) шаруватої структури. Отримані осадки характеризуються рівномірністю за товщиною та високою когезією шарів.

У **четвертому розділі** експериментально досліджено магнітні властивості покриттів феримагнетиком, діелектричні властивості сегнетоелектричних оса-

дів та магнітоелектричні – покриттів феримагнетиком та сегнетоелектриком шаруватої структури.

На основі проведених досліджень магнітних властивостей покриттів феримагнетиком на сплавах алюмінію побудували залежності магнітної проникності B від напруженості зовнішнього магнітного поля H , тобто графічне зображення петлі гістерезису для зразків різної товщини (рис. 3). Петля гістерезису дозволяє визначити напруженість (максимальну і коерцитивну силу) і магнітну індукцію (максимальну і залишкову) поля.

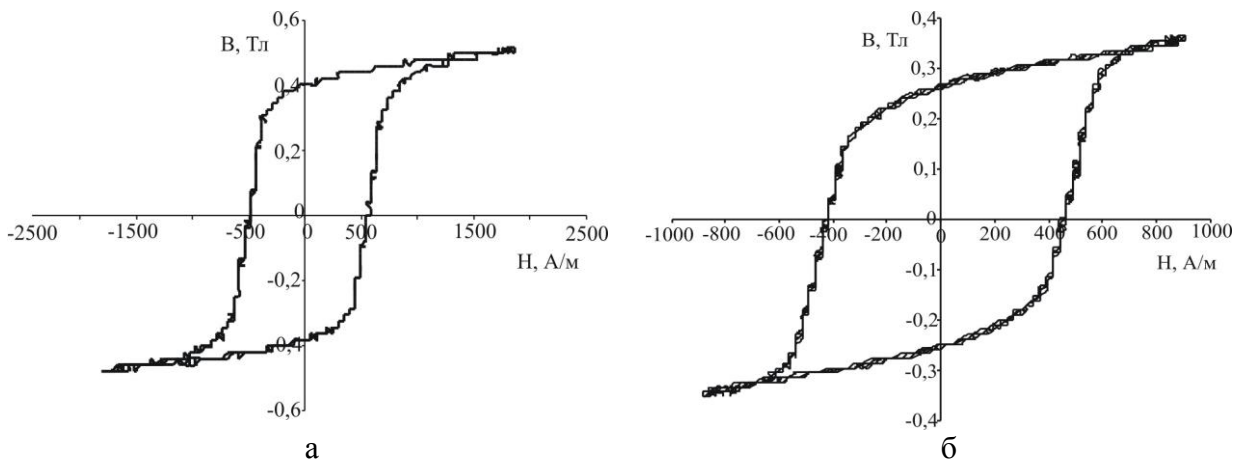


Рис. 3. Петля гістерезису для покриття феритом товщиною 20 мкм при частоті насичення 1000 Гц (а) та 45 мкм при частоті насичення 3000 Гц (б).

Шляхом аналізу отриманих петель гістерезису розраховували питому потужність для покриттів при частотах 1000 та 3000 Гц, результати наведено в табл. 3.

Рост товщини покриття феримагнетиком призводить до зростання питомої потужності магнітного поля, що вірогідно пояснюється збільшенням кількості та розмірів доменів у структурі феримагнетику при зростанні товщини покриття. Відомо, що розмір доменів впливає на значення обмінної енергії (напруженість магнітного поля) та енергії анізотропії (потужність магнітного поля).

Із зростанням розміру доменів напруженість магнітного поля зменшується, внаслідок зменшення кількості границь доменів, а потужність магнітного поля зростає із-за збільшення об'єму замикаючих призм.

Таблиця 3

Розраховані значення магнітних властивостей

Товщина покриття, мкм	Частота магнітного насичення, Гц	Напруженість магнітного поля, А/м	Магнітна індуктивність, Гн	Питома потужність магнітного поля, Вт/кг
20	5000	514	0,262	170,25
45	3000	462	0,344	361,04

Для проведення досліджень покриттів сегнетоелектриком використовували метод пробою із кульковим електродом.

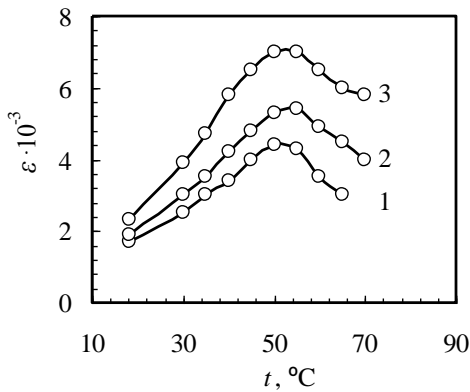


Рис. 4. Залежності діелектричної проникності від температури при товщині покриттів сегнетоелектриком, мкм: 40(1), 60(2), 85(3).

Зростання товщини покриття не призводить до суттєвих змін геометрії залежності діелектричної проникності від температури (рис. 4), але сприяє збільшенню значення діелектричної проникності. Температура фазового переходу діелектрику (точка Кюрі) у всіх випадках залишається приблизно однаковою – 50-55°C.

Залежність діелектричної міцності зразка від товщини покриття має лінійний характер, що є закономірним, оскільки рост товщини сегнетоелектрику призводить до збільшення електричного опору покриття.

Оскільки дисперсні частки (феримагнетик, сегнетоелектрик) вбудовуються у матрицю пористого шару оксиду алюмінію (при формуванні покриття в режимі МПО-процесу), або утворюють із ним плав, тому синтезована система характеризується різною ступеню поруваності. Стан таких складних оксидних систем можна ідентифікувати лише за відгуком на змінструмовий сигнал у широкому діапазоні частот.

Частотні залежності імпедансу електродів із синтезованими багатокомпонентними оксидними системами $Al|Al_2O_3 \cdot Ba_{0.8}Sr_{0.2}Zr_{0.05}Ti_{0.95}O_3$, мають вигляд, який характерний для систем із значними діелектричними властивостями. Годографи імпедансу мають форму напівкола із центром, що знаходиться нижче від уявної осі.

Рост товщини сегнетоелектрику призводить до збільшення опору перенесення заряду, що є закономірним, оскільки опір покриття зростає.

Форма годографів відповідає класичній еквівалентній схемі заміщення системи Ершлера-Рендлса.

Годографи імпедансу оксидної системи $Al|Al_2O_3 \cdot ZnOFe_2O_4$, як і у випадку із сегнетоелектриком, мають геометрію напівкола (рис. 5, а), але характеризуються меншим значенням опору перенесення заряду. Збільшення товщини покриття феритом у два рази призводить до незначного збільшення поляризаційного опору.

В області низьких частот ($f = 1-100$ Гц) частотна залежність імпедансу характеризується наявністю «петлі», що, згідно наукових джерел, вказує на прояву магнітних властивостей, а саме індуктивності.

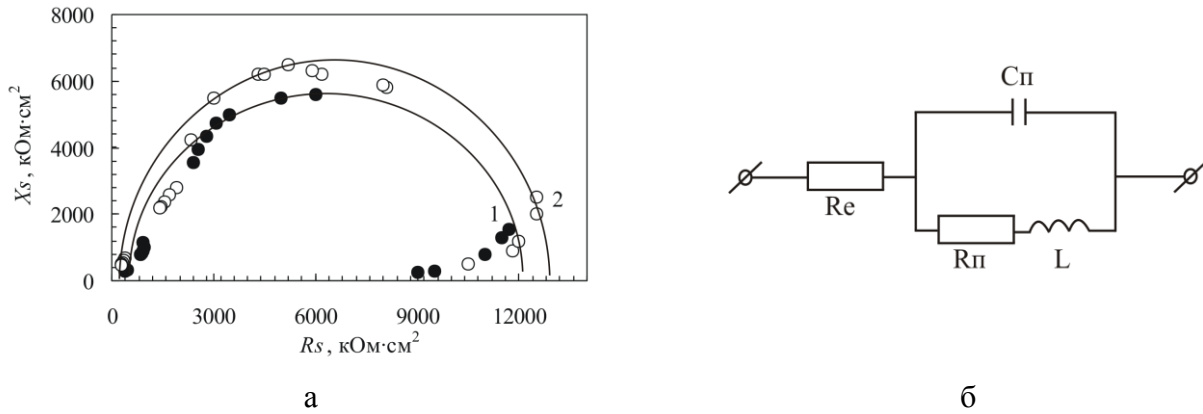


Рис. 5. Годографи імпедансу системи $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnOFe}_2\text{O}_4$ у нейтральному середовищі (а) при товщині покриття, мкм 20 (1) та 40 (2) та еквівалентна схема заміщення системи (б), де: R_e – опір електроліту; R_{Π} – опір перенесення заряду; C_{Π} – ємність подвійного електричного шару, L – індуктивність

Тому описати систему класичною еквівалентною схемою Ершдера-Рендлса не можна, у даному випадку еквівалентна схема включає, окрім опору електроліту, перенесення заряду та ємності ПЕШ, ще із індуктивності (рис. 5, б).

Розрахунок значення ємності подвійного електричного шару проводили шляхом перерахування отриманих величин на паралельну схему вимірювань.

Варіювання товщини магнітного покриття призводить до незначної зміни геометрії залежності, але значення ємності подвійного електричного шару залишається приблизно на постійному рівні – $0,5 \text{ мкФ/см}^2$.

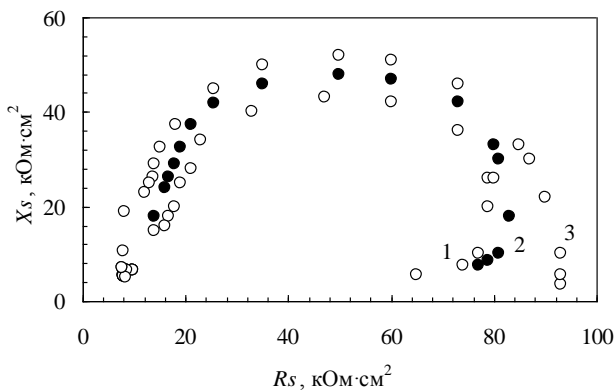


Рис. 6. Годографи імпедансу системи $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZnOFe}_2\text{O}_4/\text{Va}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Zr}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{O}_3$ у нейтральному середовищі при товщині покриття, мкм: феритом – 40 (1, 2, 3) та сегнетоелектриком – 40 (1), 60 (2) та 90 (3).

домінує відгук поверхневого шару покриття – сегнетоелектрику, це пояснює доволі високі значення поляризаційного опору ($70 - 90 \text{ кОм} \cdot \text{см}^2$). Перехід до області низьких частот ($f = 1-100 \text{ Гц}$) сприяє проходженню електричного сигналу на більшу глибину покриття, це призводить до відгуку шару феримагнетика, що графічно відображається у вигляді «петлі» на годографі.

Варіювання товщини покриття феритом не призводить до зміни геометрії годографів імпедансу, але збільшення товщини сегнетоелектрику

Геометрія годографів шаруватого покриття (рис. б) також, як і у випадку із покриттям феритом, характеризується наявністю «петлі» в області низьких частот ($f = 1-100 \text{ Гц}$), але величина опору перенесення заряду значно більше. Скоріше за все таку форму частотної залежності можливо пояснити з точки зору скін-ефекту. Оскільки покриття $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZnOFe}_2\text{O}_4/\text{Va}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Zr}_{0.05}\text{Ti}_{0.95}\text{O}_3$ має шарувату структуру, то в області високих частот змінного струму ($f = 10-100 \text{ кГц}$)

(60 мкм) призводить до росту поляризаційного опору, що є закономірним, оскільки зростають діелектричні властивості покриття. Подальше зростання товщини шару сегнетоелектрику (90 мкм) призводить до зникнення індуктивної «петлі» в області низьких частот, це, вірогідно, пояснюється тим, що електричний сигнал не може пройти на глибину 90 мкм в даному частотному діапазоні ($f = 1-100$ Гц), вірогідно, для роботи із такими товщинами сегнетоелектрику (понад 90 мкм) потрібно використовувати діапазон значно менших частот.

Електрична еквівалентна схема для шаруватої системи $Al|Al_2O_3 \cdot ZnOFe_2O_4 / Ba_{0,8}Sr_{0,2}Zr_{0,05}Ti_{0,95}O_3$ має вигляд, подібний до електричної схеми композиційного покриття феримагнетиком.

На відміну від моношарових покриттів феритом та сегнетоелектриком, графі комплексної ємності для шаруватого покриття характеризуються наявністю двох ділянок, вірогідно, для кожного шару окремо. Значення ємності першого шару – покриття феритом в усіх трьох випадках складає $0,5$ мкФ/см², а значення ємності наступного шару діелектрику збільшується із зростанням товщини осаду. Отримані значення ємностей узгоджуються із результатами досліджень для окремих покриттів феритом та сегнетоелектриком.

На основі аналізу проведених досліджень магнітоелектричних властивостей покриттів феритом та сегнетоелектриком шаруватої структури визначено вплив товщини шарів покриття на величину магнітоелектричного коефіцієнту. При товщині шарів фериту та сегнетоелектрику 50 та 100 мкм відповідно, магнітоелектричний коефіцієнт складає – $8,8 - 9,4$ В / А при максимальній частоті $f_{max} = 1,5$ кГц.

П'ятий розділ присвячено обґрунтуванню технології та режимів формування композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію методами мікроплазмового оксидування та електрофоретичного осадження. Технологія формування шаруватих покриттів активними діелектриками наведена в табл. 4.

Таблиця 4

Технологічна карта формування покриттів феримагнетиком та сегнетоелектриком шаруватої структури

Процес	Призначення	Склад електроліту, г/л	Режими	Час, хв.
Механічне очищення	Видалення технологічних забруднень	–	–	15
Знежирювання	Видалення жирових забруднень	$Na_2CO_3 - 30-50$ $Na_2SiO_3 - 5-10$	–	10
Промивання	Видалення залишків електроліту	–	$t=15-60$ °С	7-10
МПО	Синтез покриття феримагнетиком	$KOH - 2-2,5;$ $ZnOFe_2O_4 - 40-50$	$U=500-550$ В, $j_a=9-10$ А/дм ²	60
Промивання	Видалення залишків електроліту	–	$t=15-60$ °С	7-10

Сушіння	Видалення вологи з покриття	–	$t=30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V=1,5-2\text{ м/с}$	15-20
ЕФО	Синтез покриття сегнетоелектриком (БСТ)	COOH-НООС – 3-5; БСТ – 150-160; Na-КМЦ – 160-180	$U=30-60\text{ В}$, $j_a=1,5-3\text{ А/дм}^2$	1-3
Сушіння	Видалення вологи з покриття	–	$t=30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V=1,5-2\text{ м/с}$	15-20

У **додатках** наведені акти впровадження розробленої технології композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками у навчальний процес кафедри фізичної хімії НТУ "ХП", а також в НДПКІ "Молнія" (м. Харків) при розробці вимірювачів напруженості магнітного поля.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичній задачі розробки теоретичних підстав електрохімічного синтезу наноструктурованих композиційних та двошарових покриттів активними діелектриками із заданими фізико-хімічними властивостями на сплавах алюмінію на підставі гіпотези про інтегрування в технологічному циклі процесів мікроплазмового оксидування та електрофоретичного осадження.

Основні висновки по роботі:

1. Розроблено спосіб формування покриттів активними діелектриками на сплаві алюмінію, який складається з послідовного використання двох електрохімічних процесів: мікроплазмового оксидування (покриття феритом) та електрофоретичного осадження (покриття сегнетоелектриком).

2. Встановлені електрохімічні процеси формування покриттів феримагнетиком та сегнетоелектриком на сплаві алюмінію в режимі мікродугового оксидування. Для забезпечення лужного середовища для проведення мікроплазмового оксидування обрано водний електроліт на основі гідроксиду калію (0,03-0,04 М). Концентрація дисперсної речовини (ферит, сегнетоелектрик) становить 30-40 г/дм³. Підвищення концентрації сегнетоелектрику в електроліті призводить до збільшення значення напруги формовки, в той час як зростання концентрації фериту сприяє зменшенню напруги. Така поведінка є закономірною, оскільки питомий опір сегнетоелектрику більший за опір оксиду алюмінію, який в свою чергу перевищує опір фериту.

3. Встановлено режими процесу електрофоретичного осадження дисперсних часток сегнетоелектрику на шар магнітного покриття. Обґрунтовано вибір зарядоутворюючого електроліту (оксалатна кислота) та полімерного в'язучого на основі карбоксиметилцелюлози. Визначено брутто-формулу міцели, котра утворюється під час форетичного формування діелектричного шару. Показано вплив режимів термообробки на морфологію та структуру осадів сегнетоелектрику.

4. Визначено вплив технологічних параметрів процесів (напруга, густина струму, тривалість процесу) на товщину та морфологію шарів покриття. Вста-

новлено режими процесів для формування рівномірних шарів із високою когезією, які становлять для процесу МПО ($c_{\text{кон}}=0,035 \text{ М}$, $c_{\text{ZnOFe}_2\text{O}_4}= 30\text{-}40 \text{ г/дм}^3$): $U_{\text{іскр.}}= 480 \text{ В}$, $j_a= 9 \text{ А/дм}^2$, $\tau = 60 \text{ хв}$; для процесу ЕФО ($c_{\text{соон-ноос}}= 0,17 \text{ М}$, $c_{\text{Na-КМЦ}}=0,16 \text{ М}$, $c_{\text{Ba}_0,8\text{Sr}_0,2\text{Zr}_0,05\text{Ti}_0,95\text{O}_3}= 25\text{-}40 \text{ г/дм}^3$): $U = 60 \text{ В}$, $j_a= 3,5 \text{ А/дм}^2$, $\tau = 1 \text{ хв}$. Підвищення напруги понад 480 В (МПО) та 60 В (ЕФО) призводить до виникнення сітки мікротріщин по всій поверхні покриття.

5. Виявлено зв'язок між товщиною шарів та значеннями магнітних та діелектричних властивостей. Збільшення товщини шару феримагнетикау призводить до росту значення питомої потужності магнітного поля, при товщині 25 мкм – 170,25 А/м, 45 мкм – 361,04 А/м, що вірогідно пояснюється збільшенням кількості та розмірів доменів у структурі феримагнетикау при зростанні товщини покриття. Підвищення товщини шару сегнетоелектрикау призводить до зростання діелектричної проникності (40 мкм - $4 \cdot 10^{-3}$, 85 мкм - $7 \cdot 10^{-3}$) та електричної міцності (40 мкм – 1,5 кВ/м, 85 мкм - 2,9 кВ/м) матеріалу, зростання шару сегнетоелектрикау призводить до збільшення електричного опору зразка.

6. На основі аналізу результатів досліджень магнітоелектричних властивостей покриттів активними діелектриками шаруватої структури визначено вплив товщини шарів покриття на величину магнітоелектричного коефіцієнту. Найбільше значення магнітоелектричного коефіцієнту (8,8 – 9,4 В/А) спостерігається при співвідношенні товщини шарів фериту та сегнетоелектрикау 1:2 на частоті $f_{\text{max}} = 1,5 \text{ кГц}$.

7. Позитивні результати випробування покриттів активними діелектриками шаруватої структури у НДПКІ "Молнія" довели технічну та економічну доцільність запропонованого способу формування покривів. Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри фізичної хімії НТУ "ХП".

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Проскурин Н.Н. Нанесение покрытий на сплавы алюминия и титана методом микродугового оксидирования / Н.Д. Сахненко, М.В. Вель, Е.В. Богоявленская, М.В. Банина, Н.Н. Проскурин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХП", 2010. – № 30 – С. 62 – 66.

Здобувачем відпрацьовано режими микродугового оксидування титану.

2. Проскурін М.М. Формування покриттів активними діелектриками на алюмінії та титані / М.Д. Сахненко, М.В. Вель, М.М. Проскурін, Т.П. Ярошок, О.В. Богоявленська, М.В. Баніна // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск : ГВУЗ УГХТУ, 2011. – № 4(2) – С. 167 – 169.

Здобувачем визначено особливості нанесення покриттів активними діелектриками.

3. Проскурін М.М. Формування покриттів активними діелектриками на вентильних металах микродуговим оксидуванням / М.Д. Сахненко, М.В. Вель, О.В. Богоявленська, Т.П. Ярошок, С.І. Зюбанова, М.В. Баніна,

М.М. Проскурін // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХПІ", 2011. – № 31 – С. 15 – 19.

Здобувачем відпрацьовано склади електролітів для синтезу покриттів феритом на сплавах алюмінію.

4. Проскурін М. Вплив електрофоретичних явищ на корозійну стійкість металів / М. Сахненко, Р. Шевченко, М. Проскурін, М. Ведь, О. Богоявленська, Т. Ярошок // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Львів : ФМІ НАН України, 2012. – № 9 – С. 415–418.

Здобувачем запропоновано електроліт для формування покриттів активними діелектриками.

5. Проскурін М.М. Енергозберігаючі технології синтезу багат шарових покриттів активними діелектриками / М.Д. Сахненко, М.М. Проскурін, М.В. Ведь, О.В. Богоявленська // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків : НТУ "ХПІ", 2012. – № 3 – С. 8 – 10.

Здобувачем визначено особливості нанесення покриттів активними діелектриками.

6. Проскурін М.М. Електрофоретичне осадження сегнетокераміки на металеву підкладку з феритовим покриттям / М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, М.М. Проскурін, М.В. Баніна, О.В. Богоявленська // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск : ГВУЗ УГХТУ, 2012. – № 3 – С. 163 – 166.

Здобувачем відпрацьовано склади електролітів для синтезу покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію.

7. Проскурін Н.Н. Электрофизические свойства слоистых магнитоэлектрических покрытий / Н.Д. Сахненко, О.Л. Резинкин, М.В. Ведь, Н.Н. Проскурін, В.И. Ревуцкий // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХПІ", 2013. – №8 – С. 110 – 116.

Здобувачем відпрацьовано режими нанесення покриттів активними діелектриками.

8. Проскурін Н.Н. Электрохимический синтез слоистых структур из активных диэлектриков / Н.Н. Проскурін, Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Е.В. Богоявленская // Сборник статей Свиридовские чтения. – Минск : БГУ, 2013. – № 9 – С. 145 – 151.

Здобувачем узагальнено вплив складу електроліту та режимів процесу ЕФО на товщину та когезію шарів покриття.

9. Пат. 60729 України МПК С25D 11/00/. Спосіб одержання зносостійких покриттів на вентилях металів / Сахненко М.Д., Ведь М.В., Богоявленська О.В., Ярошок Т.П., Баніна М.В., Проскурін М.М.; заявник і власник патенту НТУ "ХПІ". – U201014929, заявл. 13.12.2010; опубл. 25.06.2011; Бюл. № 12.

Здобувачем досліджено вплив складу електроліту на морфологію поверхні та склад покриттів на сплавах титану.

10. Пат. 66123 Україна, МПК С 25 D 11/00/. Спосіб створення магнітоелектричних покриттів шаруватої структури / Сахненко М.Д., Ведь М.В., Лісачук Г.В., Резинкін О.Л., Богоявленська О.В., Проскурін М.М., Баніна М.В.; заявник

і власник НТУ «ХПІ».- № U201106713, заявл. 30.05.2011; опубл. 26.12.2011; Бюл. № 24.

Здобувачем визначено оптимальні концентрації компонентів електроліту для формування МПО та ЕФО покриттів на сплавах алюмінію.

11. Пат. 70581 Україна, МПК С 25 D 11/00/. Електроліт формування багатошарового магнітоелектричного покриття / Сахненко М.Д., Ведь М.В., Ярошок Т.П., Богоявленська О.В., Проскурін М.М., Баніна М.В.; заявник і власник НТУ «ХПІ».- № U201107177, заявл. 06.06.2011; опубл. 25.06.2012; Бюл. № 12.

Здобувачем досліджено вплив складу електроліту і режимів процесу оксидування на товщину покриттів активними діелектриками.

12. Проскурін Н.Н. Применение электролитических композиционных покрытий на сплавах алюминия и титана в микроэлектронике / Н.Н. Проскурин, М.В. Банина, Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Е.В. Богоявленская / Збірник тез доповідей V Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімічні проблеми сьогодення», Донецьк, 14–17 березня 2011 р. – Донецьк: ДНУ, 2011. – С. 145.

Здобувачем визначено оптимальні концентрації компонентів електроліту для синтезу покриттів активними діелектриками шаруватої структури.

13. Проскурін М.М. Електрохімічний синтез багатошарових наноконпозиційних покриттів / М.М. Проскурін, М.Д. Сахненко, М.В. Баніна, Л.П. Фоміна, Г.О. Даниленко / Збірник наукових праць Тринадцятої наукової конференції «Львівські хімічні читання – 2011», Львів, 28 травня – 1 червня 2011 р. – Львів: Видавничий центр Львівського національного університету ім. Івана Франка, 2011. – С. У82.

Здобувачем відпрацьовано режими мікродугового оксидування.

14. Проскурін М.М. Електрохімічний синтез функціональних покриттів на вентильних металах / М.М. Проскурін, М.В. Баніна, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Т.П. Ярошок, О.В. Богоявленська / Збірник тез доповідей XIX міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Харків, 01–03 червня 2011 р. – Харків : НТУ "ХПІ", 2011. – Ч. II. – С. 233.

Здобувачем досліджено вплив складу електроліту на морфологію поверхні та склад покриттів на сплавах алюмінію.

15. Proskurin. M. Modification of electrode materials by alloys and oxide systems / M. Proskurin, M. Sakhnenko, M. Ved, O. Bogoyavlenska, M. Glushkova / Materials of International conference "Ion transport in organic and inorganic membranes, Krasnodar, 6–11 June 2011. – Krasnodar, 2011. – P. 177.

Здобувачем відпрацьовано склади електролітів для синтезу покриттів сегнетоелектриком на сплавах алюмінію.

16. Проскурін М.М. Покриття складними оксидами на алюмінії / М.М. Проскурін, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь Г.В. Лісачук, О.Л. Резинкін, О.В. Богоявленська, М.В. Баніна / Тези доповідей XVIII Української конференції з неорганічної хімії за участю закордонних учених, Харків, 27 червня – 1 липня 2011 р. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. – С. 54.

Здобувачем відпрацьовано режими нанесення покриттів складними оксидами на підкладки з вентиляльних металів методом мікродугового оксидування.

17. Проскурін М.М. Композиційні багатошарові покриття з магнітоелектричними властивостями / М.М. Проскурін, Г.О. Даниленко, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь / Наукове видання "Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи" за матеріалами XXII Відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів «КМН-2011», Львів, 26–28 жовтня 2011 р. – Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2011. – С. 137 – 140.

Здобувачем експериментально досліджено та проаналізовано вплив режимів МПО та ЕФО процесів на фізико-хімічні властивості покриттів.

18. Проскурін М.М. Формування багатошарових покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію / М.М. Проскурін, М.Д. Сахненко, В.В. Герасімова, О.В. Богоявленська / Тези доповідей Шостої Всеукраїнської наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених з міжнародною участю «Хімічні проблеми сьогодення», Донецьк, 12–15 березня 2012 р. – Донецьк: ДНУ, 2012. – С. 123.

Здобувачем опрацьовано режими формування функціональних покриттів активними діелектриками.

19. Проскурін Н.Н. Синтез и свойства многослойных структур / Н.Н. Проскурин, Н.Д. Сахненко, Е.В. Богоявленская / Тезисы докладов Шестой Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Менделеев – 2012. Неорганическая химия», Санкт-Петербург, 3–6 апреля 2012 г. – Санкт-Петербург: Изд-во «Соло», 2012. – С. 484 – 485.

Здобувачем експериментально досліджено анодну поведінку сплаву алюмінію в лужному розчині у присутності дисперсних часток фериту.

20. Proskurin N.N. Functional coatings electrochemical synthesis / N.N. Proskurin, M.A. Glushkova, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, O.V. Bogoyavlenska, M.V. Majba / Book of Abstracts. 6th International Conference on Chemistry and Chemical Education «Sviridov Readings 2012», Minsk, 9–13 April 2012. – Minsk: Publ. Center of BSU, 2012. – P. 57.

Здобувачем досліджено корозійну стійкість покриттів активними діелектриками.

21. Проскурін М.М. Сучасні технології формування функціональних покриттів / М.М. Проскурін, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, М.О. Глушкова, М.В. Майба / Матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві», Суми, 17–20 квітня 2012 р. – Суми: Сумський державний університет, 2012. – С. 226 – 227.

Здобувачем проведено імпедансні вимірювання і узагальнено результати.

22. Проскурін Н.Н. Слоистые структуры активных диэлектриков / Н.Н. Проскурин, Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Е.В. Богоявленская / Тези доповідей Всеукраїнської конференції студентів та аспірантів "Хімічні Каразінські

читання-2012", Харків, 23–26 квітня 2012 р. – Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. – С. 308 – 309.

Здобувачем проаналізовано вплив режимів поляризації на товщину і властивості покриттів активними діелектриками на сплавах титану.

23. Проскурін М.М. Електрохімічний синтез шаруватих структур активними діелектриками / М.М. Проскурін, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, О.В. Богоявленська / Тези доповідей XIX міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Харків, 15–17 травня 2012 р. – Харків : НТУ "ХП", 2012. – Ч. II. – С. 265.

Здобувачем отримано та опрацьовано експериментальні дані режимів формування покриттів активними діелектриками шаруватої структури.

24. Проскурін М.М. Моделювання поведінки покриттів активними діелектриками у магнітних та електричних полях / М.М. Проскурін, О.С. Сім'я, М.Д. Сахненко / Сборник тезисов докладов Первой всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные тенденции развития приборостроения», Луганск, 19-20 ноября 2012 г. – Луганск, кафедра «Приборы», ВНУ им. В. Даля, 2012. – С. 242 – 243.

Здобувачем експериментально досліджено анодну поведінку сплаву алюмінію в кислому розчині у присутності дисперсних часток сегнетоелектрику.

АНОТАЦІЇ

Проскурін М.М. Композиційні покриття активними діелектриками на сплавах алюмінію. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.03 – Технічна електрохімія. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2014 р.

Дисертація присвячена розробці технології електрохімічного формування композиційних та шаруватих покриттів активними діелектриками на сплаві алюмінію. Запропоновано технологічну схему формування покриття активними діелектриками шаруватої структури. Встановлено електрохімічні процеси осадження магнітного та діелектричного шару покриття. Визначено вплив концентрації дисперсної речовини на технологічні режими процесу мікродугового оксидування та електрофоретичного осадження. Встановлено, що використання як полімерного зв'язуючого натрійкарбсметілцелюлози дозволяє одержувати рівномірні форетичні осади потрібної товщини із високою когезією до попереднього шару покриття. Встановлено, що еквівалентна схема заміщення для покриття активними діелектриками шаруватої структури складається з опору, ємності та індуктивності. Досліджено взаємний зв'язок між товщиною покриття феритом й сегнетоелектриком та їх фізико-хімічними властивостями. На основі проведених досліджень магнітних та діелектричних властивостей покриття активними діелектриками шаруватої структури розраховано значення магнітоелектричного коефіцієнту.

Ключові слова: електрохімічні процеси, еквівалентна схема заміщення, опір, композиційні покриття, ферит, сегнетоелектрик, ємність, електрофорез.

Проскурин Н.Н. Композиционные покрытия активными диэлектриками на сплавах алюминия. На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.03 – Техническая электрохимия. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2014 г.

Диссертация посвящена разработке технологии электрохимического формирования композиционных и слоистых покрытий активными диэлектриками на сплаве алюминия (А 99). Предложено технологическую схему формирования покрытий активными диэлектриками слоистой структуры. Исследовано электрохимические процессы осаждения магнитного и диэлектрического слоя покрытия.

На основании экспериментальных данных установлено, что формировании покрытий активными диэлектриками на сплаве алюминия в режиме микродугового оксидирования повышение концентрации дисперсных частиц сегнетоэлектрика приводит к повышению формовочного напряжения, а увеличение концентрации ферромагнетика способствует уменьшению напряжения. Объяснение такого поведения системы в том, что удельное сопротивление сегнетоэлектрика больше оксида алюминия, но в свою очередь сопротивление последнего больше чем феррита. На основе анализа результатов импедансной спектроскопии установлено наличие магнитной индуктивности у покрытия ферромагнетиком. Годографы импеданса (диаграммы Найквиста) для слоистой структуры характеризуются большим сопротивлением сегнетоэлектрика и индукционной петлей феррита на низких частотах, что дает возможность выдвижения гипотезы об одновременном проявлении магнитных и диэлектрических свойств покрытия. Анализ производных зависимостей полного импеданса от логарифма частоты (диаграммы Боде) подтверждает наличие одновременного отклика магнитного и диэлектрического слоя на разных частотах. Анализ проведенных магнитоэлектрических испытаний покрытия слоистой структуры в постоянном магнитном поле при воздействии на него переменного напряжения малой амплитуды при частоте ($f = 0,1 - 10$ кГц) указывает на проявление магнитоэлектрического коэффициента.

Проведенные опытно-промышленные испытания показали техническую и экономическую целесообразность предложенных подходов. Результаты диссертационной работы использованы в Научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте «Молния».

Ключевые слова: электрохимические процессы, эквивалентная схема замещения, сопротивление, композиционные покрытия, феррит, сегнетоэлектрик, емкость, электрофорез.

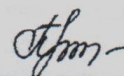
Proskurin N.N. Active dielectric composite coatings on aluminum alloys.
Manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate of Technical sciences in specialty 05.17.03 - Technical Electrochemistry. – National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", 2014.

The thesis is devoted to developing the technology of electrochemical formation of composite and layered active dielectrics coatings on aluminum alloys. The technological scheme of the formation of active dielectrics coating layered structure is proposed. The electrochemical deposition process of magnetic and dielectric coating layers is studied. The influence of the dispersed material concentration in the process of plasma oxidation and electrophoresis' deposition technological regimes.

Found that using the Na-CMC as polymer binder allows to obtain uniform desired thickness electrophoresis sediments with high cohesion to the previous layer coating. The effect of drying on the morphology of ferroelectric coating is discovered. Based on the magnetic and dielectric properties investigations of the active dielectrics coating layered structure the value of the magnetoelectric coefficient was calculated.

Keywords: electrochemical processes, equivalent circuit, resistance, composite coatings, ferrite, ferroelectric, capacity, electrophoresis.



Відповідальний за випуск
д.т.н., проф. кафедри технології кераміки,
вогнетривів, скла та емалей НТУ "ХП"
Пітак Я.М.

Підписано до друку 15.04.2014 р. Формат 60x90 1/16.
Папір офсетний. Друк – різнографічний. Умовн. друк. арк. 0,9
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Замовлення № 028264

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953 від 31.03.1994
61002, м. Харків, вул. Червонопрапорна, 3
