

ПЛІВКОВІ ГНУЧКІ ЄМНІСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ ІТО/ПОЛІІМІД/ Al_2O_3

Л. В. Зайцева^{1,2}, Г. С. Хрипунов¹, Р. В. Зайцев¹, А. Л. Хрипунова¹

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

²ВАТ «Турбоатом»

Надійшла до редакції 07.11.2014

У статті розглянута ключова проблема безрідинного акустичного контролю металевих виробів та запропоноване новітнє рішення для дефектоскопії в умовах промислового виробництва. Основною особливістю рішення є використання тонкоплівкових гнучких ємнісних перетворювачів на основі структури ІТО/поліімід/ Al_2O_3 загальною товщиною не більше 20 мкм. На підставі проведеного дослідження структурних та електричних властивостей шарів такої структури визначені оптимальні умови їх отримання для максимально ефективного використання у якості ємнісних перетворювачів. Створено дослідний зразок тонкоплівкового ємнісного перетворювача для акустичного контролю металевих виробів на основі структури Al/ІТО/поліімід/ Al_2O_3 .

Ключові слова: тонкоплівковий перетворювач, ємнісний метод, дефектоскопія металів.

ПЛЕНОЧНЫЕ ГИБКИЕ ЕМКОСТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ІТО/ПОЛИИМИД/ Al_2O_3

Л. В. Зайцева, Г. С. Хрипунов, Р. В. Зайцев, А. Л. Хрипунова

В статье рассмотрена ключевая проблема безжидкостного акустического контроля металлических изделий и предложено новейшее решение для дефектоскопии в условиях промышленного производства. Основной особенностью решения является использование тонкопленочных гибких емкостных преобразователей на основе структуры ІТО/полиимид/ Al_2O_3 общей толщиной не более 20 мкм. На основании проведенного исследования структурных и электрических свойств слоев такой структуры определены оптимальные условия их получения для максимально эффективного использования в качестве емкостных преобразователей. Создан исследовательский образец тонкопленочного емкостного преобразователя для акустического контроля металлических изделий на основе структуры Al/ІТО/полиимид/ Al_2O_3 .

Ключевые слова: тонкопленочный преобразователь, емкостной метод, дефектоскопия металлов.

FILM FLEXIBLE CAPACITIVE CONVERTERS BASED ON THE STRUCTURE ITO/POLYIMIDE/ Al_2O_3

L. V. Zaitseva, G. S. Khrypunov, R. V. Zaitsev, A. L. Khrypunova

The article considers the key issue of metal parts liquid free acoustic control and proposed innovative solutions for defectoscopy in industrial production. The main feature of the solution is using flexible thin-film capacitive transducers based on the ІТО/polyimide/ Al_2O_3 structure with total thickness less than 20 microns. Based on the research of structural and electrical properties of layers with such structure it has been established the optimal conditions to maximize the efficiency of their using as capacitive transducers. A prototype of thin-film capacitive transducer for metal parts acoustic control on the basis of Al/ІТО/polyimide/ Al_2O_3 structure it has been manufactured.

Keywords: thin film converter, capacitive method, defectoscopy of metals.

ВСТУП

Необхідність спрощення технології контролю макродефектів металевих виробів в умовах промислового виробництва зумовило подальший розвиток широко запроваджених акустичних методів [1]. Їх основу складають п'єзоелектричні прилади, що реалізують

акустичний метод з використанням спеціальних рідин для забезпечення необхідного акустичного контакту. Значний досвід практичного використання цього методу визначив області, в яких він не є ефективним [2, 3]. Так неможливо використовувати рідину для акустичного контролю виробів із забрудненою

поверхню, уражених корозією, або з покриттями (фарба, полімерні плівки й інші ізоляційні покриття), гарячих і холодних виробів. Таким чином для потреб практичної дефектоскопії необхідно створити прилади, які дозволять проводити безрідинний акустичний контроль [4, 5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Перспективними серед приладів безрідинного акустичного контролю можуть бути засоби, створені на основі ємнісного способу генерації та прийому акустичних сигналів, який має принципово інший фізичний механізм генерації акустичного сигналу у об'єкті контролю, поверхня його є однією з обкладок ємнісної композиції та сама генерує сигнал без необхідності застосування рідини для забезпечення акустичного контакту. Однак існуючі ємнісні композиції не дозволяють отримувати необхідну чутливість методу та постає задача пошуку, створення та дослідження новітніх ємнісних перетворювачів на основі тонкоплівкових шарів, серед яких досить перспективними уявляються шари полііміду, ІТО (Indium Tin Oxide, змішаний оксид індію та олова $(In_2O_3)_{0,9} - (SnO_2)_{0,1}$) та оксиду алюмінію Al_2O_3 .

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ ШАРІВ ДЛЯ ЄМНІСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

З практики використання класичних ємнісних перетворювачів для дефектоскопії ємнісним методом витікають наступні ключові вимоги для збільшення чутливості та ефективності ємнісних перетворювачів, котрі полягають у наступному:

- зменшення товщини діелектричного прошарку;
- збільшення величини діелектричної проникності прошарку.

З точки зору виконання вимог, досить актуальним виявляється можливість використання у якості діелектричного прошарку та основи для ємнісних перетворювачів поліамідної плівки завтовшки від 15 до 125 мкм, що у 10 разів менше за товщини класичних діелектричних прошарків, на основі якої можуть бути виконані ємнісні перетворювачі

шляхом нанесення на поверхню плівки тонких шарів: провідного шару ІТО для створення провідної обкладки перетворювача та діелектричного шару Al_2O_3 для збільшення величини діелектричної проникності. Ємнісний перетворювач у загальному випадку може бути виконаний на основі структури ІТО/поліімід/ Al_2O_3 . З метою визначення оптимальних параметрів такої структури, котрі дозволять її використовувати в якості ємнісного перетворювача, були створені дослідні зразки з розмірами 50 мм × 50 мм. Шари ІТО (0,2—0,3 мкм) та Al_2O_3 (1 мкм) на полііміді були отримані методом неактивного магнетронного розпилення при постійному струмі на вакуумній установці ВУП-5М при температурі підкладки 300 °С.

Для досягнення максимальної якості таких структур необхідно контролювати параметри шару ІТО: його кристалічну структуру, котра обумовлює більшість його властивостей, включаючи механічні, та її залежність від умов осадження, а також його поверхневий електричний опір, значення якого визначають можливість використання такої структури у якості обкладки ємнісного перетворювача.

Дослідження кристалічної структури тонкоплівкових ємнісних перетворювачів

Дослідження кристалічної структури плівкових шарів були проведені традиційним рентгенодифракційним методом [6] на рентгенівському апараті ДРОН-4 з автоматичним записом дифракційного спектру за допомогою комп'ютера при неперервному 2θ -скануванні в інтервалі кутів $2\theta = 20^\circ - 75^\circ$ з фокусуванням по Бреггу-Брентано ($\theta - 2\theta$) у випромінюванні кобальтового анода. Також було проведено дослідження поверхонь шарів ІТО та Al_2O_3 за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-100У. Отримані рентгенодифрактограми та мікрознімки поверхні наведені на рисунках 1 та 2, для шару ІТО та шару Al_2O_3 , відповідно.

Аналіз рентгенодифрактограм шарів ІТО, отриманих методом неактивного магнетронного розпилення (рис. 1) показав, що усі шари мають кристалічну структуру

стабільної кубічної модифікації In_2O_3 . Про останнє однозначно засвідчує наявність відбиттів від плоскостей (221), (222), (400), (411), (332), (431), (440), (611), (622). Результати розрахунків відношень сумарної інтегральної інтенсивності всіх піків, що спостерігаються на дифрактограмі, до товщини шару ІТО вказують на наявність невеликої кількості рентгеноаморфної фази у зразках. Також експериментально було встановлено, що при температурі підкладки $300\text{ }^\circ\text{C}$, зростання плівки відбувається з переважною орієнтацією в напрямку $\langle 111 \rangle$.

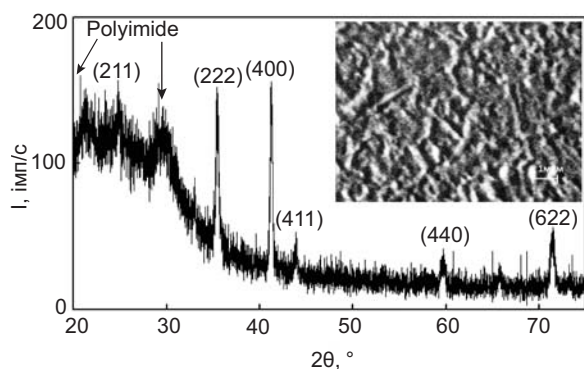


Рис. 1. Рентгендифрактограма та мікрознімок поверхні шару ІТО, нанесеного на поліімідну плівку

Аналіз структури шару Al_2O_3 показав, що усі шари мають кристалічну структуру стабільної ромбоєдричної модифікації $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ з параметрами решітки $a = 4,759\text{ \AA}$, $c = 12,993\text{ \AA}$. Про це однозначно засвідчує наявність відбиттів від плоскостей (012), (104), (110), (113), (024) та (116).

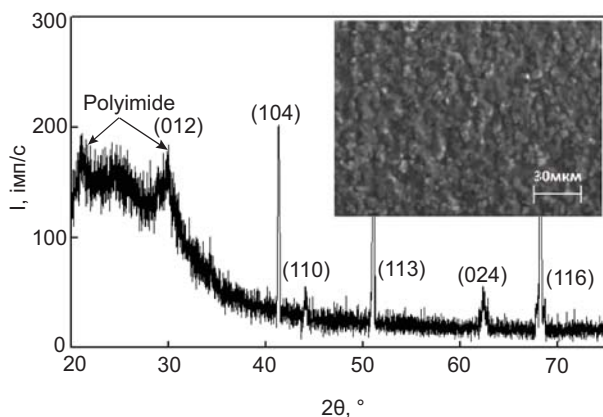


Рис. 2. Рентгендифрактограма та мікрознімок поверхні шару Al_2O_3 , нанесеного на поліімідну плівку

Аналіз рентгенодифрактограми показує, що шар Al_2O_3 має стабільну кристалічну

структуру, і як наслідок, має стабільні відповідні структурі електричні параметри.

Електричні властивості тонкоплівкових ємнісних перетворювачів

Як вже зазначалося, для виготовлення тонкоплівкових ємнісних перетворювачів на основі структури ІТО/поліімід/ Al_2O_3 поряд із кристалічною структурою шарів, необхідно також контролювати поверхневий електричний опір провідного шару, значення якого визначають можливість використання такої структури у якості обкладки ємнісного перетворювача без значних втрат корисного сигналу, та діелектричну проникність діелектричного шару, котра суттєво впливає саме на величину корисного сигналу.

Для контролю поверхневого електричного опору шару ІТО використовувався чотиризондовий метод [7], а визначений за таким методом поверхневий електроопір (R_{\square}) шарів ІТО дорівнює $8\text{--}15\text{ Ом}/\square$. Дослідження е. р. с. Холла свідчать про те, що отримане значення питомого електроопору зумовлене концентрацією основних носіїв заряду від близько $8,3 \cdot 10^{20}\text{ см}^{-3}$ та рухливістю основних носіїв заряду на рівні $44\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Дослідження діелектричної проникності поліамідної плівки та структури поліімід/ Al_2O_3 були проведені для частот збуджуваних сигналів у діапазоні $10\text{--}10^7$ Гц, які генерувалися за допомогою генератора сигналів типу ГСС-20. Величина ємності конденсаторної структури вимірювалася за допомогою RLC-метра типу Е318. Результати досліджень свідчать про зростання величини діелектричної проникності структури поліімід/ Al_2O_3 , котра складає $8,5\text{--}11,5$ відн. од., відносно поліімідної плівки ($3\text{--}3,5$ відн. од.) приблизно у 3 рази при частотах збуджувачого сигналу у діапазоні $10\text{ Гц--}10\text{ МГц}$. Зазначена обставина підтверджує припущення щодо можливості збільшення діелектричної проникності прошарку за рахунок нанесення на поліімідну плівку тонкого шару Al_2O_3 . Зростання діелектричної проникності у 3 рази призведе до додаткового зростання чутливості ємнісного перетворювача на основі такого прошарку також у 3 рази.

Виготовлення дослідного зразка тонкоплівкового ємнісного перетворювача

На основі проведених досліджень було розроблено конструктивно-технологічне рішення тонкоплівкового ємнісного перетворювача для проведення акустичного контролю металевих виробів ємнісним способом та було створено дослідний зразок тонкоплівкового ємнісного перетворювача. Зовнішній вигляд чотирьох таких перетворювачів, які додатково містять струмопровідні шини з алюмінію для спрощення контакту до обладнання, наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Зовнішній вигляд дослідного зразка тонкоплівкового ємнісного перетворювача для акустичного контролю металевих виробів

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано використання у якості діелектричного прошарку при дефектоскопії металевих виробів ємнісним методом тонкої поліімідної плівки, товщина якої у 10 разів менше за товщини класичних діелектричних прошарків, та складає 15—125 мкм, а величина діелектричної проникності дорівнює 3—4 відн. од., що дозволяє, відповідно, підвищити чутливість ємнісного методу приблизно у 10 разів.
2. Вперше, при температурі підкладки 300 °С та питомій потужності магнетрону 0,31 Вт/см² на поліамідних плівках фірми Upilex були отримані шари ІТО товщиною 0,2—0,3 мкм з поверхневим електроопором 8 Ом/□, при цьому концентрація носіїв заряду становила $8,3 \cdot 10^{20}$ см⁻³, рухливість — 44 см²/(В·с).

3. Було встановлено, що додаткове використання тонких кристалічних плівок Al_2O_3 , осаджених на підкладку з поліімиду, дозволяє підвищити величину діелектричної проникності прошарку ємнісного перетворювача від 3—4 відн. од, характерних для поліімиду, до 8,5—11,5 відн. од. Отримане зростання величини діелектричної проникності дозволяє додатково не менш ніж у 3 рази підвищити чутливість ємнісного методу.
4. Створено дослідний зразок тонкоплівкового ємнісного перетворювача для акустичного контролю металевих виробів на основі структури Al/ІТО/поліімід/ Al_2O_3 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б. Є., Троїцький В. О., Посипайко Ю. М. Неруйнівний контроль в Україні // Інформ. бюл. Українського товариства неруйнівного контролю та технічної діагностики — 2003. — № 2(18). — С. 5—9.
2. Троицкий В. А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений — К.: ИЭС им. Е. О. Патона, 1997. — 224 с.
3. Білокур І. П. Акустичний контроль — К.: ІЗМН, 1997. — 224 с.
4. Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2005. — 829 с.
5. Карпаш О. М. Неруйнівний контроль та технічна діагностика нафтогазового обладнання та інструменту // Методи та прилади контролю якості. — 1997. — № 1. — С. 22—24.
6. Уманский Я. С. Рентгенография металлов и полупроводников — М.: Металлургия. — 1969. — 496 с.
7. Батавин В. В., Концевой Ю. А., Федорович Ю. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур — М.: Радио и связь, 1985.

LITERATURA

1. Paton B. E., Troickij V. O., Posipajko Yu. M. Nerujnivnij kontrol v Ukraïni // Inform. byul. Ukraïnskogo tovaristva nerujnivnogo kontrolyu ta tehnicnoi diagnostiki — 2003. — No. 2(18). — P. 5—9.
2. Troickij V. A. Kratkoe posobie po kontrolyu kachestva svarnyh soedinenij — K.: IES im. E. O. Patona, 1997. — 224 p.
3. Bilokur I. P. Akustichnij kontrol — K.: IZMN, 1997. — 224 p.

4. Nerazrushayuschij kontrol: spravochnik v 7 t. / Pod obsch. red. V. V. Klyueva. — M.: Mashinostroenie, 2005. — 829 p.
5. Karpash O. M. Nerujnivnij kontrol ta tehnična diagnostika naftogazovogo obladnannya ta instrumentu // Metodi ta priladi kontrolyu yakosti. — 1997. — No. 1. — P. 22—24.
6. Umanskij Ya. S. Rentgenografiya metallov i poluprovodnikov — M.: Metallurgiya. — 1969. — 496 p.
7. Batavin V. V., Koncevoj Yu. A., Fedorovich Yu. V. Izmerenie parametrov poluprovodnikovyh materialov i struktur — M.: Radio i svyaz, 1985.