УДК 621.317.18

В.А. Светличный, В.В. Тулупов

Харьковский национальный университет внутренних дел, Харьков

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ НЕФЕРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ

Рассмотрены вопросы, связанные с неразрушающим вихретоковым контролем неферомагнитных пленок и покрытий. Указана зависимость интенсивности и распределения вихревых токов в покрытии от его геометрических, электромагнитных и прочих параметров, а также от взаиморасположения покрытия и вихретокового измерительного преобразователя. Предложена конструкция перспективного преобразователя.

Ключевые слова: *бесконтактность измерения, объект контроля, резонансный метод, мощность.*

Введение

Постановка проблемы. Тонкопленочные проводящие структуры на основе различных специальных проводящих пленок и покрытий находят все более широкое применение в электронной промышленности. Такие пленки и покрытия широко применяются при производстве интегральных микросхем; в авиационной и космической технике; в производстве оптических приборов, в микроволновой технике. В последнее время получили широкое распространение специальные виды покрытий и пленок: проводящая бумага, ткань, различные рыхлые, пористые слои, сеточные структуры, металлические покрытия на ткани, бумаге. Наиболее существенное влияние на качество производимых проводящих пленок и покрытий оказывает надежный контроль таких параметров, как электропроводность, толщина, наличие пор, островковых структур и.т.д. При этом, ввиду наличия значительных технологических разбросов этих параметров, необходимо осуществление 100% выходного контроля.

Эффективная техническая реализация вихретокового метода контроля параметров тонких неферромагнитных пленок и покрытий осуществима с помощью накладных и экранных вихретоковых измерителей преобразователей (далее ВИП). На сегодняшний день способы надежного, высокоточного контроля однородности, толщины покрытия разработаны недостаточно. Основной проблемой такого рода контроля, является выявление дефектов покрытия на участках с различными материалами основания или конфигурации контролируемого изделия. Кроме этого к мешающим факторам можно отнести влияние зазора между покрытием и измерительным преобразователем, влияние внешних электромагнитных помех, температурная нестабильность элементов схемы преобразователя, нестабильность параметров источника питания и т.д. **Целью данной статьи** является разработка преобразователя, способного в значительной мере скомпенсировать мешающие факторы.

Изложение основного материала

В зависимости от числа контролируемых параметров принято различать однопараметровый, двухпараметровый, и многопараметровый контроль [1].

Рассмотрим двухпараметровый контроль. В основе такого контроля находится зависимость интенсивности и распределения вихревых токов в объекте контроля (далее ОК) от его геометрических, электромагнитных и иных параметров, а также от взаиморасположения ОК и ВИП. В качестве последнего принято использовать одну, а чаще несколько катушек индуктивности. Переменный ток, протекающий в катушках ВИП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем ОК. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки ВИП, наводя в них некоторую э.д.с., что эквивалентно изменению ее импеданса. Таким образом, регистрируя напряжение на клеммах катушек ВИП или его импеданс получают информацию о свойствах ОК или о положении ВИП относительно него [1, 2]. Однако следует заметить что э.д.с. наводимая в катушках, ВИП содержит информацию не только об одном параметре ОК. Для неферромагнитных тонких пленок этими параметрами являются, в основном, толщина d и электропроводность σ. Измеряя d вихретоковым измерительным преобразователем, принимаем σ = const. Однако в ряде случаев необходимо одновременно измерять как d, так и σ. Электропроводность σ тонких металлических неферромагнитных пленок с высокой точностью можно измерять СВЧ резонансным методом.

Для обеспечения высокой точности измерения электропроводности весьма перспективным представляется использование цилиндрического резонатора на волне H_{01n} [3]. Если в таком резонаторе исследуемый образец замещает весь торец или часть его, то вследствие отсутствия на торце радиальных токов обеспечивается абсолютная бесконтактность измерений, т.е влияние степени прижатия ОК к стенкам резонатора полностью исключается

Сравнение неразрушающих резонаторных методов контроля электропроводности приводит к выводу о том, что наименьшей погрешности измерения при высокой воспроизводимости результатов и абсолютной бесконтактности можно достичь применением цилиндрического резонатора на волне H_{01n}. У преобразователя такого типа абсолютная бесконтактность обеспечивается отсутствием токов

© В.А. Светличный, В.В. Тулупов

щих с боковых поверхностей на торцевые, а неразрушаемость – расположением ОК на месте одного из торцов. Существенным достоинством такого ВИП является возможность перестройки его при помощи подвижного бесконтактного поршня, т.к. отсутствуют токи, текущие с торцевых поверхностей и следовательно, дефекты трущегося контакта поршня не сказываются на добротности резонатора.

Использование перестраивающегося ВИП дает возможность применять генератор, работающий на фиксированной частоте, что обеспечивает возможность частотной стабилизации и, следовательно, получение высокой точности измерений.

В большинстве разработанных устройств контроль электропроводности осуществляется по изменению добротности резонатора без ОК и резонатора с ОК. Однако определение σ таким способом характеризуется большой случайной погрешностью из-за отсутствия простых методов измерения добротности на СВЧ с точностью лучше, чем ± 10 %.

Поэтому для определения σ целесообразно измерять изменение прошедшей через резонатор мощности [3]. Этот метод не требует определения добротности при каждом измерении, а нуждается лишь в одноразовом установлении ее значения для резонатора без ОК и периодической проверке степени постоянства добротности.

Вывод

Для получения (обеспечения) высокой точности измерения электропроводности, высокой производительности результатов, неразрушаемости и локальности измерений, необходимо в качестве преобразователя следует выбирать резонаторы, у которых возможно выполнение измерительного отверстия по линии тангенциального или нулевого тангенциального тока, а в качестве регистрируемой величины – изменение прошедшей через резонатор мощности.

Определим взаимосвязь изменения мощности прошедшей через резонаторный преобразователь СВЧ с величиной электропроводности ОК. Передаваемая резонатору мощность равна

$$\rho_0 = \rho \cdot \left(4\eta_0^2/(1+2\eta_0)^2\right), \qquad (1)$$

где ρ_0 – мощность на выходе резонатора; ρ – мощность на входе резонатора; η_0 – коэффициент связи идентичных устройств связи резонатора с волноводами,

$$\eta_0 = P_{св.о}/P_{пот.о}, \qquad (2)$$

$P_{св.о}$ – безразмерная величина, характеризующая потери СВЧ мощности, запасаемой в резонаторе на связь; $P_{пот.о}$ – безразмерная величина, характеризующая потери мощности внутри резонатора.

С целью измерения одновременно двух параметров – толщины d и электропроводности σ, нами был разработан преобразователь, состоящий из двух измерительных преобразователей, один – вихретоковый, а второй – СВЧ резонатор на H_{01n} типе волны. Оба преобразователя расположены в общем корпусе, аксиально друг другу. При этом СВЧ резонатор на H_{01n} типе волны имеет общую с ВИП плоскость измерительного торца. Конструкция такого комбинированного преобразователя представлена на рис. 1.

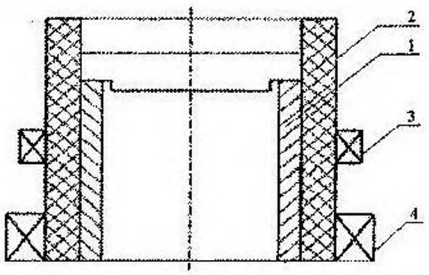

Рис. 1. Конструкция комбинированного преобразователя

Конструктивно СВЧ резонатор 1, входящий в резонансную систему СВЧ генератора на лавинно–пролетном диоде, для исключения взаимного влияния преобразователей помещен в полость ферритового сердечника 2, на котором намотаны возбуждающая катушка 3 и измерительная катушка 4 ВИП.

Аксиальное расположение преобразователей позволяет получить информацию одновременно с одного и того же места ОК, что способствует повышению точности измерения. Информационные сигналы с обоих измерительных преобразователей детектируются и каждый по своему каналу поступают на блоки обработки сигналов для представления в цифровом виде.

Список литературы

1. *Неразрушающий контроль. Справ. в 7 т.: Т. 2 / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.*

2. *Каневский И.Н. Неразрушающие методы контроля : Учебное пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.*

3. *Карлинер М.М. Электродинамика СВЧ: курс лекций, 2-е изд. / М.М. Карлинер. – Новос.: Изд-во Новосиб. гос. ун-т, 2006. – 258 с.*

Поступила в редколлегию 12.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Синотин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

НЕРУЙНУЮЧИЙ КОНТРОЛЬ НЕФЕРОМАГНІТНИХ ПЛІВОК І ПОКРИТТІВ

В.А. Світличний, В.В. Тулупов

Розглянуто питання, пов'язані з не руйнуючим вихрострумовим контролем нефероманітних плівок і покриттів. Зазначено залежність інтенсивності та розподілу вихрових струмів у покритті від його геометричних, електромагнітних і інших параметрів, а також від взаємного розташування покриття й вихрострумового вимірювального перетворювача. Запропоновано конструкцію перспективного перетворювача.

***Ключові слова:** безконтактність виміру, об'єкт контролю, резонансний метод, потужність.*

NONDESTRUCTIVE TESTING OF NON-FERROMAGNETIC FILMS AND COATINGS

V.A. Svetlichny, V.V. Tulupov

The problems associated with non-destructive eddy current testing of non-ferromagnetic films and coatings. We indicate the dependence of the intensity andn of eddy s in the coating on its geometric, electromagnetic, and other parameters, as well as the interposition of the coating and eddy current measuring transducer. The design of prospective converter.

Keywords: *contactlessness of measurement, unit under test, transducer, resonator on wave, power.*

УДК 517

Г.О. Старець, Л.І. Курпа

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

ПРО МОМЕНТИ ТА ЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ АТОМАРНИХ ФУНКЦІЙ

Атомарні функції - це фінітні нескінченно диференційовані розв'язки деяких диференціальних рівнянь з відхиленням аргументу. Зокрема атомарні функції $UP_m(x)$ є досить таки зручний і перспективний сучасний апарат щодо застосування в різноманітних областях науки і техніки. Так, наприклад, використання функцій $UP_m(x)$ є ефективним при розв'язанні крайових задач. Зауважимо, що перше систематичне дослідження атомарних функцій було здійснено В.О. Рвачовим.

Ключові слова: *атомарні функції, фінітні розв'язки, рівняння з відхиленням аргументу.*

Вступ

Функції $UP_m(x)$ – це фінітні нескінченно диференційовані розв'язки диференціально-функціонального рівняння:

$$y'(x) = 2\sum_{k=1}^{m}\left[y(2mx+2m-2k+1) - y(2mx-2x+1)\right]. \quad (1)$$

Для кожного $m = 1, 2, \ldots$ існує і єдине фінітне, с носієм $[-1, 1]$ рішення рівняння (1). Це рішення позначається $UP_m(x)$. Випадок $m = 1$ розглянув В.О. Рвачов. У цьому випадку $UP_1(x) = UP(x)$. Основні властивості функцій $UP_m(x)$ наведені в роботі [3]. Тут ми наведемо формули для обчислення моментів і значень функцій $UP_m(x)$. Ці формули актуальні у зв'язку з можливістю їх застосування в обчислювальних методах.

Основна частина

1. Нехай $\mu_n^{(m)}$ – момент порядку n функції $UP_m(x)$, тобто

$$\mu_n^{(m)} = \int_{-1}^{1} x^n UP_m(x)dx. \quad (2)$$

Оскільки $UP_m(x)$ – парна функція, то моменти непарного порядку, очевидно, дорівнюють нулю. Крім того $\mu_0^{(m)} = 1$, для усіх m.

Теорема. Моменти $\mu_{2n}^{(m)}$ – раціональні числа, що визначаються рекурентною формулою ($n = 1, 2, \ldots$):

$$\mu_{2n}^{(m)} = \frac{(2n)!}{m^2\left((2m)^{2n}-1\right)}\sum_{k=1}^{n}\frac{\sum_{l=1}^{m}(2l-1)^{2k+1}}{(2n-2k)!(2k+1)!}\mu_{2n-2k}^{(m)}, \quad (3)$$

Доведення.

Нехай $F_m(t)$ – перетворення Фур'є функції $UP_m(x)$. Безпосередньо з відомих властивостей перетворення Фур'є випливає, що

$$F_m^{(n)}(0) = i^n\int_{-1}^{1} x^n UP_m(x)dx, \quad n = 0, 1, 2, \ldots \quad (4)$$

Тому,

$$F_m^{(2n)}(0) = (-1)^n\int_{-1}^{1} x^{2n} UP_m(x)dx = (-1)^n\mu_{2n}^{(m)}. \quad (5)$$

Скориставшись представленням $F_m(t)$ у вигляді

$$F_m(t) = \frac{2}{mt}\sum_{k=1}^{m}\sin\left(\frac{2m-2k+1}{2m}t\right)F\left(\frac{t}{2m}\right), \quad (6)$$

а також тим, що функція $F_m(x)$ є цілою функцією експоненціального типу і, тим самим, є аналітичною функцією, розкладемо ліву і праву частину рівності (5) у ряд Тейлора:

$$\sum_{s=0}^{\infty}\frac{F_m^{(s)}(0)}{s!}t^s = \frac{2}{mt}\sum_{s=0}^{\infty}(-1)^s\frac{t^{2s+1}}{(2m)^{s+1}(2s+1)!} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{m}(2m-2k+1)^{2s+1}\sum_{s=0}^{\infty}\frac{F_m^{(s)}(0)}{(2m)^s s!}t^s.$$

Прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях t і беручи $l = n-k+1$, дістанемо рівність (3), що й потребувалось довести.

У якості доповнення до формули (3) наведемо також наступний результат:

$$\nu_{2n-1}^{(m)} = \frac{1}{n(2m)^{2n+1}}\sum_{l=0}^{n}\binom{2n}{2l}\sum_{k=1}^{m}(2k-1)^{2l}\mu_{2n-2l}^{(m)}, \quad (8)$$

де $\nu_n^{(m)} = \int_0^1 x^n UP_m(x)dx$, $n = 0, 1, 2, \ldots$

© Г.О. Старець, Л.І. Курпа

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ОЗБРОЄННЯ

Барсов В.І. Методологічні засади створення інформаційної технології побудови відмовостійких систем управління, що функціонують в модулярній системі числення 93

Бойша В.В. Аналіз кореляційного методу вимірювання коефіцієнта гармонік 100

Васюта К.С. Використання сурогатних сигналів для оцінки квантифікацій рекурентних діаграм хаотичних сигналів, спостережуваних на фоні білого шуму 103

Гаршин А.Ю., Иванченко О.В., Машенко Е.Н. Методика оценки уровня опасности морской критической инфраструктуры 107

Герасимов С.В., Ізосімов Д.М., Рощупкін Є.С., Богдановський О.М. Оцінка параметрів руху повітряних об'єктів при об'єднанні результатів незалежних первинних вимірювань в активній багатопозиційній системі радіолокації 110

Давидов С.О. Експериментальне визначення динамічної утримуючої здатності сітчастих розділювачів фаз 114

Іващук Б.М., Приступа Р.В., Бердочник А.Д. Ефективність застосування фотографічного обладнання на сучасних БПЛА 117

Калашник Н.С., Леонов І.Г., Мироничева Н.М., Нос А.І. Деякі особливості аналізу електромагнітної сумісності в сучасних засобах мобільного зв'язку 120

Корнієнко Л.Г., Фрунжиєв А.Д. Ефективність подавлення частково поляризованих завад компенсаторами бічних пелюсток 124

Криворчук А.О., Уваров В.М. Особливості логічного синтезу багатотактних пристроїв релейного захисту електричних систем 126

Онищенко В.В. Способ сбора релевантных изображений с использованием метода структурно-лингвистической классификации и идентификации 129

Орлова О.А. Аналіз методів вимірювання фазових зсувів підвищеної завадозахищеності на основі цифрової обробки сигналу 133

Пашков Д.П., Домнін С.В. Вплив шумів на роботу станцій радіолокацій бічного огляду з синтезованою апертурою 136

Приймак А.В., Дар'їн Я.В., Стрюк Д.М., Слободянюк А.А. Аналіз доцільності створення та застосування багатофункціональних безпілотних авіаційних комплексів цивільного призначення 142

Процька Є.О., Мощенко О.І. Рекомендації за розрахунком глибини занурення калібруємих/поверяємих термометрів 146

Риб'як А.С., Товста І.П., Лебедєва Т.Є. Математична модель процесу попереднього оброблення зображень в оптоелектронних системах ідентифікації особи за спектральними ознаками 148

Рубан И.В., Трошин О.Н., Смирнов С.В., Мусиенко Ю.А. Автоматизация процессов лабораторных и стендовых испытаний в триботехнике 150

Саваневич В.Е., Кожухов А.М., Брюховецкий А.Б., Власенко В.П. Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров 154

Светличный В.А., Тулупов В.В. Неразрушающий контроль неферомагнитных пленок и покрытий 160

Старець Г.О., Курпа Л.І. Про моменти та значення деяких атомарних функцій 162

Суханов М.І., Богаченко А.П., Малько С.М., Цуканов О.Ю. Дослідження сумісності мастил газотурбінних двигунів і працездатності їхніх сумішей 164

Тимочко О.І. Метод автоматизації підтримки прийняття рішень по управлінню динамічними об'єктами на основі інтелектуальних інформаційних технологій 166

Черних Ю.О. Метод синтезу структури інформаційної складової радіоелектронної системи бортового радіоелектронного обладнання 171

БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Адаменко М.І., Селіванов С.Є. Основи розрахунку меж екологічного впливу найбільш важливих чинників ураження аварій на арсеналах та складах вибухових речовин 174

Гриб Д.А., Худов Г.В., Маковейчук О.М., Карлов Д.В., Жуйков Д.Б. Використання супутникових даних в інтересах оцінки пожежної обстановки при бойовому застосуванні Повітряних Сил Збройних Сил України 176

Паценко Р.Е., Карлов Д.В., Медведський С.В., Клімішен О.О., Морозов А.І. Аналіз сигналів наддовгохвильових передавачів для виявлення атмосферних явищ (гроз) з використанням фазових портретів та фрактальної розмірності 180

Сутюшев Т.А. Спосіб виводу пошуково-ударної групи на об'єкт впливу з проміжку ешелону ізоляції в ході спеціальної операції спрямованої проти незаконних збройних формувань 185

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

Каткова Т.Г. Відповідальність за порушення законів та звичаїв війни за міжнародним правом і законодавством України 189

Степаненко О.О. Розробка математичної моделі функціонування системи управління 192

Шевченко О.В., Шишкін В.С., Фурманов К.В. Визначення необхідного рівня замовлення в системі забезпечення армійського корпусу топографічними картами 194

Ярош С.П. Термінологічно-лінгвістичний аналіз терміна "розвідувально-управляюча інформаційна система" 196

НАШІ АВТОРИ 202

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК 205

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СИСТЕМИ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

Науковий журнал

Щоквартальне видання

№ 3(23)

Відповідальний за випуск *Г.А. Кучук*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9401 від 9.12.2004 р.

Комп'ютерна верстка: *А.Д. Бердочник*
Дизайн обкладинки: *Т.М. Полуляшна*

Техн. редактор *А.Д. Бердочник* Коректор *Р.Ю. Жермельова*

Підписано до друку 25.10.2010	Формат 60×84/8		Папір офсетний
Гарнітура «Times New Roman»	Друк – різограф	Ум.-друк. арк. – 26,0	Обл.-вид. арк. – 25,7
Ціна договірна	Наклад 150 прим.		Зам. 1025-10

Видавництво Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 2535 від 22.06.2006 р.
Адреса видавництва: 61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП «АЗАМАЄВ В.Р.»
Свідоцтво про державну реєстрацію В02 № 229278 від 25.11.1998 р.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції. Серія ХК № 135 від 23.02.05 р.

м. Харків, вул. Познанська, 6, к. 84, тел. 8 (057)362-01-52