

УДК 621.373

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ НАНЕСЕНОГО ПОКРИТТЯ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ТОЧНОСТІ

Р.В. Криночкін, О.В.Осадчук.

Вінницький національний технічний університет. e-mail: r@politex.org.ua

В роботі розглянуті основні сучасні методи вимірювання товщини нанесеного покриття, наведена їх класифікація і основні види. Окреслені шляхи подальшого покращення параметрів систем вимірювання товщини. Запропоноване використання частотних генераторів на основі від'ємного опору замість класичних аналогово-цифрових перетворювачів.

Ключові слова: вимірювання товщини, частотні генератори, від'ємний опір.

Вступ

Необхідність розробки сучасних високоточних систем для вимірювання і контролю товщини нанесеного покриття зумовлена, перш за все, бурхливим розвитком нанотехнологій та подальшим зменшенням розмірів елементів електронної техніки, які значно підвищили вимоги до вимірювальних пристроїв [1-4].

На жаль, прогрес, що спостерігається у даній сфері, зазвичай супроводжується дуже значним збільшенням вартості вимірювального пристрою з одночасним зменшенням його надійності, що ставить під сумнів економіко-технічну ефективність такого прогресу. У даній роботі наводиться один з можливих шляхів розв'язання цієї проблеми, що і складає її мету.

1. Класифікація основних методів вимірювання товщини

Принцип роботи вимірювальних перетворювачів товщини може бути заснований на різноманітних фізичних явищах, таких, як зміна електричного опору, ємності, оптичної, радіаційної або магнітної провідності первинного датчика тощо.

Наведемо класифікацію методів вимірювання товщини за фізичним та конструктивним принципом (рис. 1). Класифікація також буде корисною для визначення ступеню можливості використання того чи іншого принципу у цифровій вимірювальній апаратурі. До основних шляхів визначення товщини тіла можна віднести наступні методи: механічні; магнітні (магнітного потоку, магнітного опору, вихрових струмів); електричні (ємнісні, резистивні); радіаційні (рентгенографічні, іонізаційні, оптичні).



Рис. 1. Класифікація методів визначення товщини покриття

Основним видом **механічного** вимірювача малих товщин є мікрометр. При більших товщинах використовуються також і інші механічні методи, наприклад, за допомогою зважування можна визначати товщину рівномірного покриття з відомою густиною [5].

Магнітні перетворювачі товщини використовуються у випадку різного виду магнітної проникності покриття і підкладки, наприклад для вимірювання немагнітних покриттів на феромагнітному матеріалі. Вони складаються з котушок, розташованих на розімкнутих П- або Ш-подібних феромагнітних сердечниках. Полюси сердечника притискаються до покриття, товщина якого вимірюється. Зміна товщини приводить до зміни магнітного опору перетворювача і його індуктивності або взаєміндуктивності.

Для визначення товщини покриття **електричними методами**, можуть бути використані: діелектрична міцність, ємність, опір плівки.

Резистивний метод. Вимір опору плівки - проста операція, що може бути використана для визначення товщини провідних плівок на непровідних підкладках і для напівпровідникових епітаксійних шарів [1]. Залежність опору тонкої провідної плівки R від товщини d можна представити у вигляді $R = \frac{r \cdot l}{w \cdot d}$, де l - довжина, w - ширина, r - питомий опір плівки. При умові константності питомого опору товщину плівки d можна безупинно контролювати за її опором [6].

Ємнісний метод. Може бути застосований для визначення товщин діелектричних плівок, нанесених на провідні підкладки. Вимірювана ємність обернено пропорційна товщині плівки, прямо пропорційна діелектричній постійній плівки і площі електрода (не враховуючи крайові ефекти).

Радіаційні методи засновані на вимірюванні характеристик відбитого, пропущеного або емітованого плівкою випромінювання.

Іонізаційні. Джерело випромінювання й іонізаційний перетворювач можуть бути розташовані як по різні сторони вимірюваного покриття, так і по один бік від нього. В обох випадках зі зміною товщини змінюється інтенсивність випромінювання, пропущеного/відбитого покриттям.

Рентгенографічні. Бувають двох видів: метод поглинання, заснований на вимірі ослаблення в плівці пучка рентгенівських променів; метод емісії ґрунтується на збудженні матеріалу плівки джерелом високої енергії [1].

Оптичні. Для методів контролю товщини плівок можна використати ряд оптичних явищ: інтерференцію, поглинання, пропускання, відбиття світла. Вибір конкретного явища для вимірювання визначається типом підкладки й матеріалом плівки.

2. Використання частотної генерації при вимірюванні товщини

Принципово електронний вимірювач товщини включає в себе наступні блок-елементи (рис. 2): первинний сенсор; аналоговий контролер сенсора; цифровий перетворювач; блок індикації; зовнішній цифровий інтерфейс. Система вимірювання може також містити різноманітні опціональні компоненти (запам'ятовування, автокалібрування тощо).

**Рис. 2. Блок-схема цифрового товщиноміра**

Контролер сенсора і цифровий перетворювач разом складають блок вимірювальних перетворювачів. Покращення його параметрів є одним з найбільш перспективних напрямків по підвищенню точності вимірювання, оскільки модернізація інших блоків зазвичай менш ефективна: цифрові індикатори на даний час вже мають високу роздільну здатність та низьку

похибку, а критичні параметри первинних сенсорів часто перевищують можливості інших блоків.

Цифрова техніка де-факто стала стандартом в сучасній електроніці. Тому розробка і використання нових ефективних вимірювальних систем можлива лише в рамках цифрових стандартів. Однак більшість первинних сенсорів до цього часу залишаються аналоговими (що взагалі-то можна розцінювати як перевагу, оскільки неперевність сигналу забезпечує відсутність похибок вибірки і квантування), що спричиняє необхідність використання блоків аналогово-цифрового перетворення між первинним сенсором та системою індикації. А, отже, розробка таких дешевих, надійних та точних аналогово-цифрових інтерфейсів стає однією з пріоритетних задач.

Для цілей вище згаданого перетворення найбільш широкого використання набули аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП). В високоточних вимірюваннях зазвичай застосовують АЦП з урівноваженням заряду або дельта-сигма АЦП, а в галузях, що потребують високої швидкодії, – конвеєрні АЦП. Однак треба вказати, що даний тип приладів досягнув певної технічної «зрілості» і тому темпи подальшого їх розвитку значно сповільнилися. В той же час існуючі АЦП не завжди задовольняють висунутим вимогам як по точності перетворення, так і по надійності та економічній ефективності.

В галузі вимірювання товщини автори пропонують відмовитися від класичного АЦП на користь зв'язки «ЧПВО-частотомір», при цьому на першому етапі аналоговий сигнал перетворюється в частоту, яка на другому «оцифровується» частотоміром. За рахунок використання частотних перетворювачів на від'ємному опорі (ЧПВО) вдається досягнути високої точності перетворення «сигнал-частота», а вже похибка вимірювання частоти частотоміром дуже низька (близько 1 Гц в мегагерцевому діапазоні – тобто 0,0001%).

Принцип роботи ЧПВО полягає у значній зміні вихідної частоти генерації при зміні електричних параметрів певних елементів схеми генератора (напруги керування, балансного опору, еквівалентних ємностей резонансного контуру). Якщо в якості одного з елементів схеми генератора використано первинний сенсор (наприклад ємнісний сенсор товщини), то ми отримуємо можливість керувати вихідною частотою генерації в залежності від значення вимірюваного параметра (товщини) [9].

Серед основних переваг ЧПВО можна виділити: надійність, високу точність, виняткову простоту, малу собівартість. Слід відзначити також високу завадостійкість частотно-модульованого сигналу; високу стабільність зразкових мір частоти; практичну відсутність впливу паразитних ЕРС та перехідних опорів; високу технологічність; можливість легкої інтеграції з первинними сенсорами з метою їх «інтелектуалізації» [8].

Висновки

1. Подальший розвиток електроніки спричинив виникнення потреби по модернізації та покращенню приладів вимірювання і контролю товщини покриттів, оскільки використовувані в даний час системи не завжди можуть задовольнити нові висунуті вимоги.

2. Класичний шлях підвищення точності, через зменшення похибок аналогово-цифрового перетворення, тягне за собою значне збільшення вартості пристрою з одночасним його ускладненням і зменшенням надійності.

3. Ефективним шляхом розв'язання поставленої проблеми є використання частотних перетворювачів на від'ємному опорі (ЧПВО). Заміна у вимірювальних системах блоків АЦП на зв'язку «ЧПВО - частотомір» дозволяє отримати оцифровані показники вимірювання, уникнувши похибок класичного аналогово-цифрового перетворення (похибок вибірки і квантування). Таким чином ми отримуємо вимірювальний перетворювач з низькою похибкою, високою завадостійкістю і виключною простотою (а значить низькою собівартістю і високою надійністю).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Майселл Л., Глэнг Р. Технология тонких пленок: справочник: Пер. с англ. Т. 2. – М.: Советское радио, 1977. - 778 с.

2. Тополянский П.А., Ермаков С.А. Толщина тонкопленочного покрытия при финишном плазменном упрочнении // Материалы 7-й конференции-выставки «Технологии ремонта, восстановления и

упрочнення деталей машин, механізмів, обладнання, інструмента і технологічної оснастки». – СПб.: СПбГПУ. – 2005. – С. 299-309.

3.Тополянский П.А., Ермаков С.А. Получение равномерного пленочного покрытия на площади круга при финишном плазменном упрочнении // Материалы 7-й конференции-выставки «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки». – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2005. – С. 299-309.

4.Бахчисарайцян Н.Г., Борисоглебский Ю.В. Практикум по прикладной электрохимии: Учебн. пособие для вузов. – Ленинград: Химия, 1990. – 304 с.

5.Евтихий Н.Н., Купершмидт Я.А. Измерение электрических и неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

6.Майселл Л., Глэнг Р. Технология тонких пленок: справочник: Пер. с англ. Т. 1. – М.: Советское радио, 1977. – 664 с.

7.Бриндли К. Измерительные преобразователи: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

8.Осадчук В.С., Осадчук О.В. Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2007. – 163 с.

9.Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові перетворювачі інформації. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 208 с.

Получено редакцией 20.10.2009 г.

© Осадчук О.В., 2009.

© Криночкін Р.В., 2009.

Осадчук Александр Владимирович, доктор технічних наук, професор, зав. кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет.

Криночкін Роман Владимирович, аспірант кафедри РТ, асистент, магістр електроніки. Вінницький національний технічний університет. E-mail: r@politex.org.ua; krinhome@ukrpost.net