УДК 631.371

НВЧ МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРНО НЕОДНОРІДНОГО БІООБ'ЄКТУ

Ю.М. Федюшко, доктор технічних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет
А.П. Марисюк, старший викладач
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Стаття присвячена аналізу фізичних основ НВЧ методів контролю та метрології неоднорідних структур біологічних об'єктів.

Біологічний об'єкт, діелектричні властивості, датчики, питомий опір.

На сьогоднішній день використання СВЧ методів для вимірювання електрофізичних параметрів біологічних об'єктів набуло широкого поширення, зважаючи на можливість швидкого сканування його стану. Принцип дії цих методів заснований на реєстрації втрат НВЧ потужності, що вносяться вільними носіями досліджуваного зразка в полі вимірювального датчика. При вимірюванні питомого електричного опору величина втрат НВЧ потужності безпосередньо визначає питомий опір зразка. При цьому виходить що електромагнітне поле зондує всю поверхню матеріалу, а освітлювана світлом зона визначає ту частину матеріалу, яка бере участь у вимірюваннях. Проте, такий спосіб вимірювання є не точним, оскільки при вимірюванні не враховується дифузія носіїв заряду. Щоб отримати коректні дані потрібна складна обробка результатів вимірювання, що також впливає на збільшення вартості приладів [1, 2, 3].

Уникнути похибки, яка пов'язана з дифузією, можна зондувати значну частину поверхні біологічного об'єкту, виконуючи вимірювання в малій локальній області. Для вимірювань використовувати датчик з резонатором квазістатичного типу з кінцевим вимірювальним отвором. Що дозволить мінімізувати конструкцію установки і скоротити число додаткового устаткування. Конструкція автодінного датчика на діоді Ганна, забезпечує одночасне виконання функції передавача і перетворювача інформативного сигналу, відбитого від вимірюваного зразка і системи що забезпечує взаємодію НВЧ поля з локальною областю вимірюваного зразка [4].

Завдяки конструктивній простоті, малогабаритності, загальнодоступності комплектуючих елементів, без контактності при вимірюванні і зручності експлуатації – ці датчики можуть повністю забезпечити роботу автоматизованих систем контролю стану біологічного об'єкту.

Мета досліджень – розробка фізичних основ використання НВЧ для створення методології ефективних низькоінтенсивних технологій та електронної системи неруйнівного контролю стану біооб'єктів.

Матеріал і методика досліджень. Принцип вимірювання питомого опору заснований на зміні сигналу з датчика при взаємодії НВЧ поля з вільними носіями в малій області біологічного об'єкту. У більшості відомих методів втрати, що вносяться зразком біооб'єкту, реєструються як зміни НВЧ потужності, яка пройшла через локальну область .

У діапазоні НВЧ електрофізичні параметри біооб'єкту виражені комплексною діелектричною проникністю, представленою в простій формі

$$\varepsilon' = \varepsilon\left[1 - \frac{з}{\omega\varepsilon\varepsilon_0\rho}\right], \qquad (1)$$

де ε – діелектрична проникність;

ω – кругова частота зондуючого поля.

Використовуємо поняття безрозмірної частоти $\Omega=\omega\varepsilon\varepsilon_0\rho$, чисельно рівною відношенню струму зсуву до струму провідності в безмежному середовищі з питомим опором ρ і діелектричною проникністю ε. У безмежному середовищі при $\Omega<1$, струми провідності переважають над струмами зсуву, і середовище характеризується як провідник. А якщо $\Omega > 1$, то струми зсуву малі і середовище подібне до діелектрика (рис. 1.).

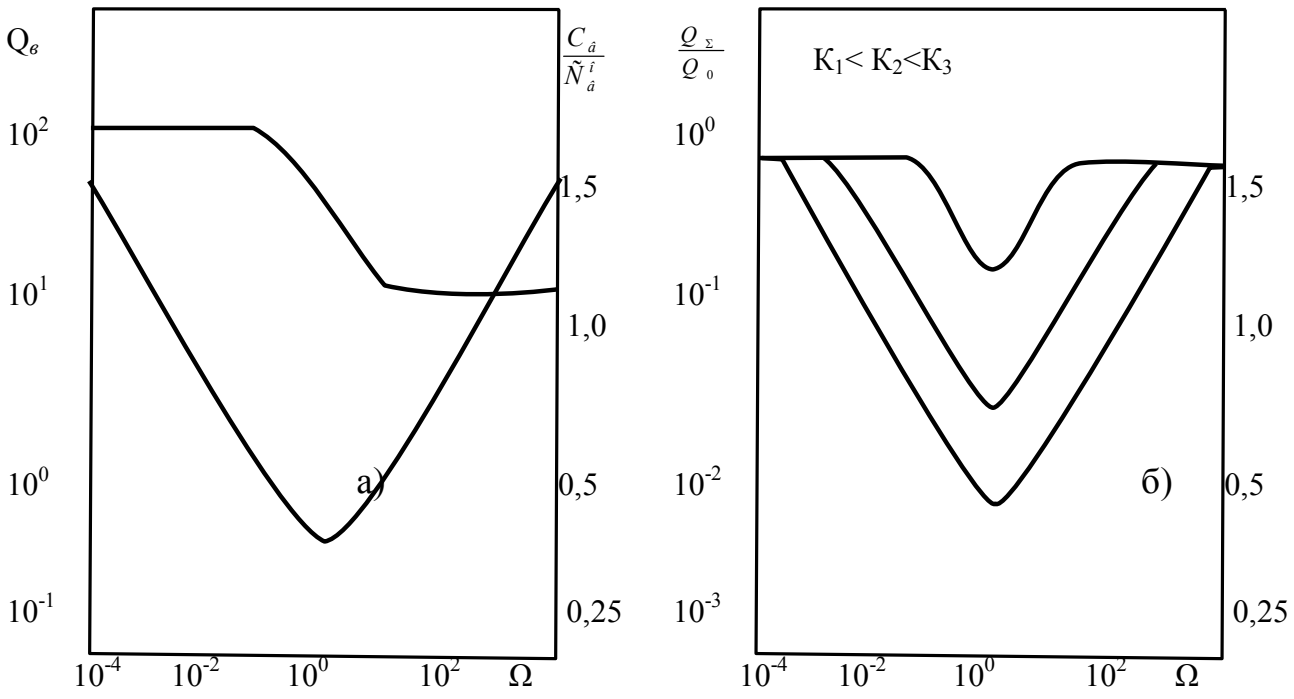

Рис. 1. Залежність:

а – добротності і ємкості конденсатора, заповненого напівпровідником, від безрозмірного питомого опору; б – добротності коливального контура від безрозмірного питомого опору для різного коефіцієнта вмикання

У разі ємкісного вмикання дослідного зразка в полі вимірювального датчика, коефіцієнт вмикання визначається за виразом:

$$\hat{E} = \frac{\tilde{N}_{\hat{a}}}{\tilde{N}_{\hat{a}} + \tilde{N}_0}. \qquad (2)$$

Величина K визначається співвідношенням d/d_∂, а також співвідношенням $C_в/C_0$ *і* може змінюватися від 0 до 1 (рис. 1б). Звертає на себе увагу характерний мінімум в області Ω=1 та прагнення Q_Σ до Q_o при Ω→∞ і Ω→0. Останній факт очевидний, оскільки в цьому випадку втрати вимірювального конденсатора прагнуть до нуля і Q_Σ визначається лише власними втратами контура. У разі, коли виконується умова $\omega\varepsilon\varepsilon_0\rho \succ 1$, електричне поле в зразку не екранується вільними носіями, і досліджуваний зразок можна розглядати як діелектрик з втратами, де ρ – питомий опір напівпровідника, ω – кутова частота НВЧ поля, ε_o – діелектрична проникність вакууму, ε – відносна діелектрична проникність напівпровідника.

Результати досліджень.

Потужність P_n, що пройшла через локальну область НВЧ датчика записується

$$P_{\ddot{i}} = \frac{P_\infty}{\left(1 + \frac{\alpha}{\rho}\right)^2}, \qquad (3)$$

де P_n – потужність, що пройшла через датчик у відсутності зразка,

α – коефіцієнт, визначається експериментально по калібрувальній кривій датчика.

Отже, маючи значення коефіцієнта α і значення виміряних P_n, можна визначити питомий опір:

$$\rho = \frac{\alpha}{\left(\left(\frac{P_\infty}{P_n}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1\right)} \qquad (4)$$

У разі зразків $\omega\varepsilon\varepsilon_0\rho < 1$, НВЧ поле проникає в напівпровідник лише на глибину скин-прошарку і втрати ті, що вносяться питомим опором зразка залежать від його товщини та параметрів геометрії отвору. В області питомих опорів (10^{-1} – 10 Ом см), не вдається отримати прості аналітичні вирази, що зв'язують параметри датчика з питомим опором зразка. У цій області, для вимірювання питомого опору, здійснюється калібрування датчика за допомогою еталонних зразків опорів.

Експериментальна оцінка вимірювань на еталонних зразках з питомим опором 10 Ом см показала відхилення від середнього значення менше 0,3 Ом·см.

Висновки

У відповідності до розрахунків і експериментального дослідження НВЧ – методик, на основі автодінних датчиків КВЧ діапазону, для вимірювання

питомого опору в структурно неоднорідному середовищі, встановлені межі та граничні значення точності вимірювань.

Збільшення частоти приводить до зменшення глибини проникнення і відповідно підвищенню локальності, але погіршенню чутливості методу вимірювання.

Список літератури

1. Усанов Д. А. Использование эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых СВЧ генераторах для создания устройств радиоволнового контроля / Д. А. Усанов, В. Д. Тупикин, А. В. Скрипаль, Б. Н. Коротин // Дефектоскопия. – Т.31. – №5. –Томск:, 1995. – С. 16 – 20.

2. Носков В.Я. Анализ автодинного СВЧ датчика для бесконтактного измерения и контроля размеров изделий / В. Я. Носков.– М.: Измерительная техника, 1992. – Вып.3. – С. 24 – 26.

3. Воторопин С. Д. Автоматизированная установка на основе автодинных датчиков КВЧ диапазона для контроля материалов / С. Д. Воторопин, А. В. Юрченко, В. И. Юрченко и др. – М.: Электронная промышленность, 1998. – Вып.1 – 2. – С. 136 – 137.

4. Бондаренко И. Н. Системы формирования информационных сигналов в резонаторной микроволновой микроскопии // Сборник научных докладов международной конференции «КрыМиКо – 2009» / И. Н. Бондаренко, Ю. Е. Гордиенко, С. Ю. Ларкин . – Севастополь, 2009. – С. 563 – 564.

Статья посвящена анализу физических основ СВЧ методов контроля и метрологии неоднородных структур биологических объектов.

Биологический объект, диэлектрические свойства, датчики, удельное сопротивление.

The article is devoted the analysis of physical bases of SVCH of methods of control and metrologi of not permanent structures of biological objects.

Biological object, dielectric properties, sensors, specific resistance.