

УДК 621.382:551.508

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ

© Зенон Готра, Віталій Григор'єв, Олег Мельник, Аліція Беднарчик, Данута Прошак, 2000

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Електронні прилади"
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна
Жешувський технологічний університет, кафедра "Електронні системи"
вул. В. Поля, 2, 35-959, Жешув, Польща
Науково-проектний відділ "Прополь", Жешув, Польща

Розглянуто застосування композиційного матеріалу в сенсорах вологості ємнісного типу та в сенсорах на основі плівкових RC-структур.

Рассмотрено применение композиционного материала в сенсорах влажности емкостного типа и в сенсорах на основе пленочных RC-структур.

The questions of application of offered composition material in humidity capacity type sensors and in sensors based on pellicle RC-structures are considered.

Вступ

Існує багато видів сенсорів вологості, дія яких базується на зміні фізичних, хімічних та електричних характеристик вологочутливих матеріалів, застосованих як активні середовища. Мікроелектронні сенсори вологості виготовляють за напівпровідниковими, тонко- та товстоплівковими технологіями. На їх основі побудовані сенсори вологості ємнісного, імпедансного, електролітичного та напівпровідникового типів. Ефективність сенсора визначається: лінійністю, динамікою, чутливістю, стабільністю, відсутністю гістерезису, стійкістю до шкідливих середовищ, стабільністю характеристик. Сенсори, описані в літературі, не завжди є універсальними. Тому постійно розробляють нові типи конструкції та вологочутливих матеріалів мікроелектронних сенсорів вологості [1, 2] (див. таблицю).

Принцип дії сенсора

У розробленому сенсорі вологості ємнісного типу (рис.1) електроди сформовані методом товстоплівкової технології з паладієво-срібної пасти на керамічній підкладці. Поверх електродів нанесено шар вологонепроникливого діелектрика, а на його поверхню – послідовно два шари вологопроникливого композиційного матеріалу. Композиційний матеріал складається з діелектричного вологочутливого матеріалу, в об'ємі якого є металічні мікрочастинки в завислому стані. Отже, одночасно збільшується площа сорбційної поверхні та зменшується товщина сенсора, що призводить до збільшення його чутливості та швидкодії. Для розробленого сенсора використано полівініловий спирт як діелектричний вологочутливий матеріал. Для роботи в якості активного елемента сенсора нами проградуювано його залежності.

Параметри сенсорів вологості, виготовлених за різними технологіями

Тип сенсора	Вологочутливий матеріал	Діапазон вимірювання	Час відповіді, не більше ніж	Робоча температура
Ємнісний	полімер кераміка	0...100%	1 хв	-40...80°C 25°C
		1...2000ppm	10 с	
Імпедансний	полімер кераміка тип "swelling"	30...90%	1 хв	0...50°C
		10...100%	10 хв	0...150°C
		20...90%	1 хв	-30...40°C
Електролітичний	LiCl	20...90%	5 хв	0...60°C
Напівпровідниковий	оксид металу, кераміка	10 ² ...10 ⁵ ppm	3 хв	300...600°C

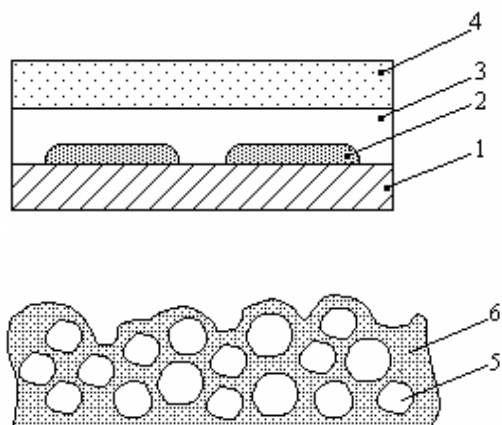


Рис. 1. Сенсор вологості ємнісного типу на основі композиційного матеріалу: 1 – підкладка, 2 – електроди, 3 – вологонепроникливий матеріал, 4 – композиційний матеріал (діелектричний матеріал з металічними мікрочастинками в завислому стані), 5 – металічні мікрочастинки, 6 – діелектричний матеріал

Виявлена залежність характеристик полівінілового спирту від вологості покладена в основу функціонування розробленого сенсора з композиційного матеріалу. До складу полівінілового спирту вносились алюмінієва пудра в певних вагових пропорціях. Від її концентрації та процентного складу полівінілового спирту залежить швидкодія та чутливість сенсора, яка визначається зміною ємності сенсора

$$C = \frac{0.0885 \cdot \epsilon \cdot S}{d}, \quad (1)$$

де ϵ – діелектрична стала; S – площа перекриття обкладок; d – відстань між обкладками.

Причому у виразі (1) всі параметри є функціями від вологості θ : $\epsilon=f(\theta)$, $S=g(\theta)$, $d=q(\theta)$. Типова залежність ємності сенсора при площі 1 см^2 наведена на рис.2.

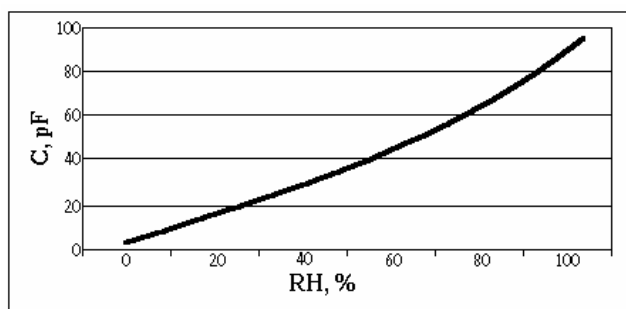


Рис. 2. Залежність ємності C від відносної вологості розробленого сенсора вологості

Виготовлення електродів сенсора з вологопроникливого матеріалу з металічними мікрочастинками в завислому стані дозволяє їм виконувати не тільки пасивну, але й активну функцію вологочутливого матеріалу.

За відсутності в середовищі вологи стан сенсора залишається незмінним, оскільки відстань між металічними мікрочастинками така, що робить неможливим їх безпосередній контакт. За наявності в середовищі вологи молекули води спочатку проникають у вологопроникливий матеріал з металічними мікрочастинками у завислому стані електродів, внаслідок чого стає можливим електричний контакт між ними. Залежно від кількості поглинутої вологи, яка пропорційна до вологості середовища, змінюється кількість металічних мікрочастинок, які контактують між собою по площі і по об'єму. Фактично сенсор вологості працює за принципом конденсатора, утвореного електродами і діелектричним шаром вологочутливого матеріалу між ними.

Конструкція сенсора

Розроблений сенсор вологості містить два електроди з шаром вологочутливого матеріалу між ними, кожен з електродів виготовлено у вигляді розміщеної на поверхні чи у приповерхневій частині шару вологочутливого матеріалу сітки, утвореної вологопроникливим або вологочутливим матеріалом з електропровідними мікрочастинками (рис.3).

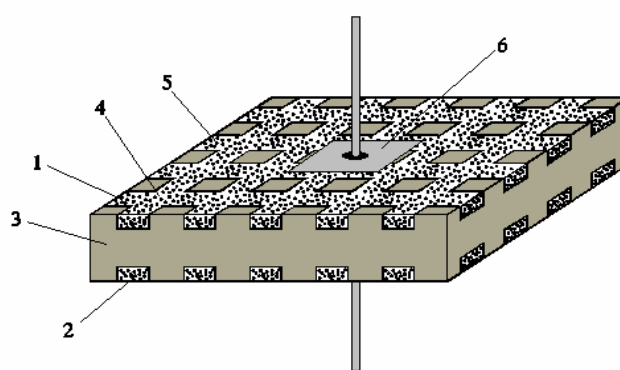


Рис. 3. Конструкція розробленого сенсора для вимірювання вологості: 1, 2 – електроди, 3 – вологочутливий матеріал, 4 – вологопроникливий матеріал, 5 – металічні електропровідні мікрочастинки, 6 – виводи

Електроди 1 і 2 з діелектричним шаром вологочутливого матеріалу 3 між ними утворюють конденсатор з певною вихідною ємністю. За відсутності в середовищі достатньої для спрацювання сенсора вологи відстань між електропровідними частинками 5 така, що робить неможливим їх безпосередній контакт, а також властивості шару вологочутливого матеріалу 3 не змінюються і, внаслідок цього, вихідна ємність залишається незмінною. При наявності вологи в середовищі ємність сенсора вологості змінюватиметься за рахунок двох механізмів. По-перше, при наявності в середовищі відповідного рівня вологості молекули води спершу проникають у вологопроникливий або вологочутливий матеріал 4 електродів 1 і 2, внаслідок чого стає можливим електричний контакт між електропровідними мікрочастинками 5, введеними в об'єм вологопроникливого або вологочутливого матеріалу 4. Залежно від кількості поглинутої вологи, яка пропорційна до вологості середовища, змінюється кількість електропровідних мікрочастинок 5, які контактують між собою. На початку процесу вимірювання переважає зміна кількості таких електропровідних мікрочастинок 5 по площі поверхні електродів 1 і 2. Це еквівалентно зміні площі електродів 1 і 2 конденсатора, утвореного електродами 1, 2 і діелектричним шаром вологочутливого матеріалу 3. Зміна площі електродів конденсатора приводить до зміни його ємності, величина якої показує вологість середовища. По-друге, молекули води абсорбуються шаром вологочутливого матеріалу 3. Молекули води адсорбуються шаром вологочутливого матеріалу 3 через проміжки в сітці електродів 1 і 2. Отже, пропорційно до кількості поглинутої вологи будуть змінюватися діелектричні властивості шару вологочутливого матеріалу 3. Молекули води будуть абсорбуватись шаром вологочутливого матеріалу 3 пропорційно до вологості середовища, і відповідно до цього змінюватиметься ємність сенсора вологості.

Сенсор вологості на основі розподіленої RC-структури

На основі розподілених плівкових RC-структур можна реалізувати фільтри нижніх частот, фільтри високих частот та смугові фільтри. Для побудови сенсорів вологості найбільш перспективними є так звані нульові фільтри [3]. До нульових фільтрів належать вузькосмугові фільтри, в яких на деякій визначеній

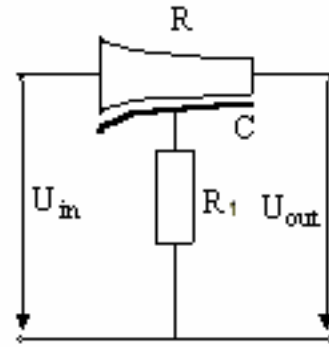


Рис. 4. Нульовий фільтр на RC-структурі

частоті ω_0 коефіцієнт передачі дорівнює нулю. Такі фільтри можна побудувати тільки на основі RC-структур або у вигляді комбінації RC-структури та зосередженого резистора або конденсатора.

У нашому випадку для побудови сенсора вологості використовували різновидність нульового фільтра з високими селективними властивостями. На рис. 4 показана схема нульового фільтра, який складається з неоднорідної (експоненціальної) RC-структури та резистора R_1 .

За відомими Z-параметрами фільтра можна знайти вираз для його коефіцієнта передачі за напругою:

$$K(\omega) = \frac{1}{j\omega c l} \frac{\theta}{\text{sh}\theta} e^{\frac{\beta l}{2}} + R_1 \quad (2)$$

$$\frac{1}{j\omega c l} \left(\frac{\theta}{\text{th}\theta} + \frac{\beta l}{2} \right) + R_1$$

де $\theta = \sqrt{j\omega RC}$; $\beta = (\ln(b_0/b_1))/2$; R та C – повні опір та ємність RC-структури; c – погонна ємність; l – довжина структури; b_0 та b_1 – відповідно початкова та кінцева ширини структури.

Параметри фільтра на нульовій частоті визначаються з умови рівності нулю чисельника виразу (2):

$$\theta e^{\frac{\beta l}{2}} + j\omega c l R_1 \text{sh}\theta = 0 \quad (3)$$

У нульовому фільтрі на плівковій RC-структурі, що досліджувався, використовувався розглянутий вище композиційний матеріал. Нульова частота фільтра становить 500 кГц (рис. 5). Ідея використання нульового фільтра як сенсора вологості оснований на зміні нульової частоти залежно від зміни ємності RC-структури під впливом вологості. Як показують дослідження, ця залежність має лінійний характер. При

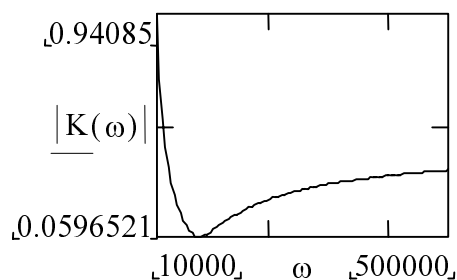


Рис. 5. Коефіцієнт передачі нульового фільтра на RC-структурі

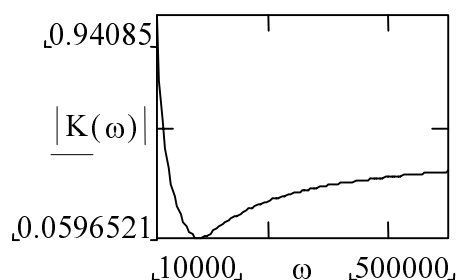


Рис. 6. Залежність нульової частоти фільтра від відносної вологості

збільшенні ємності на 1 пФ нульова частота фільтра зменшується на 570 Гц. Враховуючи, що залежність ємності від відносної вологості для розглянутого композиційного матеріалу також має практично лінійний характер, можна стверджувати, що сенсор вологості на основі RC-структури забезпечує практично лінійну

залежність нульової частоти від вологості (рис. 6). На рис. 6 нульова частота вказана в кГц, відносна вологість – в %. У разі зміни відносної вологості на 1 % нульова частота фільтра змінюється на 250 Гц.

Висновки

Розроблено конструкцію та досліджено характеристики товстоплівкового сенсора вологості ємнісного типу, в якому використовувався запропонований композиційний матеріал на основі полівінілового спирту з вкрапленими алюмінієвими мікрочастинками. Така конструкція забезпечує збільшення площі сорбційної поверхні та зменшення товщини сенсора, що призводить до збільшення його чутливості та швидкодії. Сенсор має високу чутливість і практично лінійну залежність ємності від вологості. Розглянута можливість використання даного матеріалу для побудови сенсорів вологості у вигляді нульових фільтрів на основі розподілених RC-структур. Показано, що залежність нульової частоти фільтрів від ємності та відносної вологості має лінійний характер.

1. Prudenziati M. *Thick film sensors*. Amsterdam – New York, 1994, 2 Mitchell A.K. *Humidity sensing in "Techniques and mechanisms in gas sensing"*. New York, 1991, 3. Potencki J. *Temperature transducer with thick-film distributed RC-networks in notch filter configuration // Proc. of the 16-th International Spring Seminar on Electronic Technology, "Thick and thin film sensor", 25-28 April, 1993, Szklarska Poreba, P. 40-43.*

УДК 536.532

МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНОГО СТАНУ БІНАРНИХ МЕТАЛЕВИХ АМОРФНИХ СИСТЕМ

© Пилип Скоропад, Ярослав Луцик, 2000

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка",
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Наведено алгоритм моделювання структури бінарних металевих аморфних сплавів.

Приведен алгоритм моделирования структуры бинарных металлических аморфных сплавов.

The algorithm of modelling of a structure binary metal amorphous of alloys is indicated.

У контексті інтерпретації результатів дифракційних вимірювань розглянемо систему з N ідентичних частинок, що взаємодіють та займають об'єм V . Виділивши з неї підсистему з S частинок, визначимо

імовірність знаходження першої частинки в нескінченно малому об'ємі dV_1 поблизу точки \vec{r}_1 , а n -ї – в об'ємі dV_n поблизу точки \vec{r}_n , для випадку довільного розташування решти частинок [1]: