

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

БАРАБАН СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 658.562.42

**МЕТОД І ЗАСІБ ВХІДНОГО КОНТРОЛЮ СТРУКТУРНО-ЧУТЛИВИХ
ПАРАМЕТРІВ НЕКРИСТАЛІЧНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Осадчук Олександр Володимирович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри радіотехніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Стенцель Йосип Іванович,
Технологічний інститут Східноукраїнського
національного університету ім. В. Даля,
м. Сєвєродонецьк,
завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих
систем управління;

доктор технічних наук, професор
Білинський Йосип Йосипович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електроніки.

Захист відбудеться "01" березня 2013 р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК

Автореферат розісланий "28" січня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. Ю. Кучерук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вхідний контроль завжди відносився до числа першочергових заходів, що забезпечують необхідну якість готової продукції. Проте в сучасних умовах необхідно змінювати сам підхід до реалізації вхідного контролю. Незважаючи на широке розповсюдження некристалічних напівпровідників при виробництві електронних приладів, до кінця не вирішеною залишається задача вхідного контролю їх молекулярної структури в умовах промислового виробництва. Прямі методи контролю є громіздкими, високовартісними та володіють низькою швидкістю. Непрямі методи контролю молекулярної структури полягають у вимірюваннях структурно-чутливих характеристик матеріалу, на основі яких робиться висновок про його будову. Одним з таких методів, що несе найбільшу інформативність, дозволяє здійснювати оперативний контроль в процесі промислового виробництва, а також є найбільш чутливим до структурних змін напівпровідників є диференційно-термічний аналіз (ДТА).

Параметрами, що характеризують фазовий перехід некристалічного напівпровідника є температура фазового переходу, час, за який проходить фазовий перехід, енергія активації відповідного процесу фазового переходу некристалічного напівпровідника, тепловий ефект в абсолютних одиницях по кривій диференційно-термічного аналізу. Але основним технічним параметром фазового переходу є пікове значення температури. В умовах промислового виробництва електронних приладів цей параметр вимірюють у лабораторіях термогравіметричним способом, що вимагає значних затрат часу, а отже робить неможливим оперативний вхідний контроль партій некристалічних напівпровідників на промислових об'єктах.

Відомі засоби вхідного контролю параметрів твердофазних систем, до яких відносяться некристалічні напівпровідники, є громіздкими, високовартісними, працюють переважно в ручному режимі, мають низьку точність, чутливість, достовірність та швидкість.

З огляду на викладене вище, очевидною є необхідність розв'язання науково-технічної задачі розвитку методу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників та створення на його основі засобу безперервного вхідного контролю в процесі виробництва електронних приладів.

Розв'язок даної задачі полягає в тому, що на основі використання статистичних критеріїв: Фішера і t -критерію при обробці результатів диференційно-термічного аналізу некристалічних напівпровідників можна організувати вхідний експрес-контроль структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників і визначати придатність або не придатність партій некристалічних напівпровідників для виробництва електронних приладів, а також підвищити вірогідність контролю.

Характеристики існуючих засобів вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників можна покращити шляхом використання частотних вимірювальних перетворювачів (ЧВП) температури некристалічних напівпровідників на основі транзисторних структур з від'ємним опором (ТСВО). Такі вимірювальні перетворювачі мають ряд переваг перед існуючими, які полягають в наступному: висока завадостійкість, що забезпечує високу точність вимірювання, потужний вихідний сигнал, що дозволяє відмовитись від підсилювачів при подальшій обробці сигналу, простота конструкції, що підвищує економічність приладу, можливість передачі інформації на відстань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота проводилась згідно з держбюджетною фундаментальною науково-дослідною роботою "Розроблення та дослідження моделей та процесів формування в кремнієвих пластинах р-п переходів та прихованих шарів при дії УЗ коливань і механічних напружень" (№ державної реєстрації 0109U001095, 2009 р.), з науково-дослідною роботою "Розробка та дослідження методів і засобів вхідного контролю структурно-чутливих параметрів

некристалічних напівпровідників" (за договором про творчу співдружність № 32/1), а також з держбюджетною науково-дослідною роботою "Розробка математичних моделей мікроелектронних частотних перетворювачів магнітного поля на основі транзисторних структур з від'ємним опором" (№ державної реєстрації 0110U002160, з 1 січня 2010 р.).

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення вірогідності вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі диференційно-термічного аналізу.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі розв'язуються такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі методи вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників та обґрунтувати вибір диференційно-термічного аналізу по відношенню до існуючих.

2. Проаналізувати відомі засоби вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників та обґрунтувати переваги засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі частотних вимірювальних перетворювачів по відношенню до існуючих.

3. Розробити математичну модель термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках, яка б адекватно описувала піки теплових ефектів, які виникають при зміні температури нагрівання некристалічних напівпровідників.

4. Розробити математичну модель частотного вимірювального перетворювача, яка дозволяє визначити залежність вихідного частотного сигналу від дії вхідної величини – температури некристалічних напівпровідників.

5. Удосконалити метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі диференційно-термічного аналізу, розробити структурну схему для його здійснення та алгоритм вимірювального контролю.

6. Розробити частотні вимірювальні перетворювачі на основі піроелектричних структур, що забезпечать вимірювання залежності $f = f(T)$ в широкому вимірювальному діапазоні з високою чутливістю.

7. Розробити мікропроцесорний засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі частотних вимірювальних перетворювачів.

8. Здійснити метрологічне оцінювання похибок засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників і впровадити розроблений засіб у практику.

Об'єктом дослідження є процес вимірювального контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників.

Предметом дослідження є методи та засоби вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні моделей фізики напівпровідників при розробці математичної моделі засобу вхідного контролю; диференціального та логарифмічного числення для розробки математичної моделі термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках; основних положень теорії функції комплексної змінної та теорії розрахунку нелінійних електричних кіл з використанням законів Кірхгофа для визначення функції перетворення та рівняння чутливості; методу змінних станів для моделювання вихідних коливань частотного вимірювального перетворювача; теорії ймовірності для оцінювання похибок вимірювання; теорії планування експерименту та комп'ютерного моделювання для експериментальної перевірки отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Удосконалено математичну модель термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках, яка відрізняється від існуючих тим, що адекватно описує піки теплових ефектів при зміні температури нагрівання некристалічних напівпровідників, що дозволило отримати аналітичний вираз для розрахунку пікових значень.

2. Удосконалено метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі розрахунку пікових значень термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках, який відрізняється від існуючих тим, що рішення про придатність партій некристалічних напівпровідників здійснюється на основі використання статистичних критеріїв Фішера і t -критерію, що дозволило підвищити вірогідність контролю до 0,97.

3. Теоретично встановлено і експериментально підтверджено залежність реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором від температури некристалічних напівпровідників, яка відрізняється від існуючих тим, що перетворення температури у частотний сигнал відбувається у структурі метал-піроелектрик-напівпровідник з від'ємним опором, що дозволило створити засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників з підвищеною точністю і розширеним вимірювальним діапазоном.

Практичне значення одержаних результатів

1. Запропоновано методику розрахунку зміни вихідних сигналів частотних вимірювальних перетворювачів, яка може бути використана для їх інженерного розрахунку.

2. Розроблено частотні вимірювальні перетворювачі температури некристалічних напівпровідників на основі піроелектричних структур, чутливість яких залежно від схемотехнічної реалізації є в межах від 50 Гц/ $^{\circ}$ С до 110 кГц/ $^{\circ}$ С при вимірювальному діапазоні від 23 $^{\circ}$ С до 1400 $^{\circ}$ С.

3. Розроблено програмне забезпечення з розрахунку характеристик частотного вимірювального перетворювача з врахуванням залежності параметрів елементів нелінійних еквівалентних схем пристрою від температури некристалічних напівпровідників.

4. Розроблено методику проектування засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників, яка складається з наступних частин: частотних вимірювальних перетворювачів, блоку нагрівання печі, блоку обробки сигналів, алгоритму вимірювального контролю. За цією методикою розроблено мікропроцесорний засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників.

5. Оцінено можливі значення інструментальних та методичних похибок вимірювального контролю за допомогою розробленого засобу. Встановлено, що загальна похибка вимірювань не перевищує 0,8 %, клас точності цього приладу складає 1,0.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в державне підприємство науково-дослідний інститут «Гелій» (м. Вінниця, акт від 03.05.2012) у вигляді методу та засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників, а також у навчальний процес кафедри радіотехніки при виконанні лабораторних робіт з курсу «Сенсори фізичних величин» та практичних робіт з курсу «Радіовимірювальні перетворювачі інформації» для магістрів спеціальності 8.090701 – «Радіотехніка» (м. Вінниця, акт від 22.06.2012).

Особистий внесок здобувача

Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно у Вінницькому національному технічному університеті. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників [1], оцінювання вірогідності контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників [2], математична модель термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках [1, 2], математичні моделі частотних вимірювальних перетворювачів з різними чутливими елементами [3, 6, 10, 15, 20, 22], оцінювання значення основних похибок у вимірювальному каналі частотного вимірювального перетворювача температури некристалічних напівпровідників [4], мікропроцесорний засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників [5, 18], новий спосіб вимірювання пікових значень диференційно-термічного аналізу [7], електричні схеми частотних вимірювальних перетворювачів на основі структури метал-сегнетоелектрик-напівпровідник [8], моделювання роботи вимірювального

перетворювача на основі БТПК-БТ структури з ВО [9, 14], експериментальні дослідження частотного вимірювального перетворювача температури некрystalічних напівпровідників [11], використання активної індуктивності з фазозсуваючим RC-колом замість пасивної [23, 24], використання піроелектричної транзисторної структури з від'ємним опором [26-28], використання активного індуктивного піроелектричного елемента [29], під'єднання піроелектричного конденсатора паралельно до транзисторної структури [30, 31], виконання в підкладці МПЕН-структури пазів, на дно яких нанести чутливий шар піроелектрика, що призвело до двосторонньої дії температури на провідний канал польового транзистора [25], аналіз сучасних методів вимірювання температури [12], аналіз сучасних безконтактних засобів вимірювання температури [13], електрична схема перетворювача температури з частотним виходом [16], конструкція сучасного USB-частотоміра [17], електрична схема вимірювального перетворювача теплового випромінювання [19], математична модель піроелектричного чутливого елемента [21].

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на міжнародних та регіональних конференціях, а саме: 4-а Міжнародна науково-практична конференція "Современные научные достижения – 2008" (м. Перемишль, 2008 р.), 5а Міжнародна науково-практична конференція "Актуальные проблемы современных наук-2009" (м. Перемишль, 2009 р.), IX Міжнародна конференція "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008)" (м. Вінниця, 21-24 жовтня 2008 р.), Міжнародна науково-практична конференція II-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2009) (м. Вінниця, 23-26 вересня 2009 р.), IV Міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009)" (м. Вінниця, 8-10 жовтня 2009 р.), 6-а Міжнародна науково-практична конференція "Дни науки – 2010" (м. Прага, 2010 р.), I міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія" (м. Вінниця, 19—21 травня 2010 р.), V Міжнародна конференція з оптоелектронних інформаційних технологій "Photonics-ODS 2010" (м. Вінниця, 28-30 вересня 2010 р.), X Міжнародна конференція "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)" (м. Вінниця, 19-21 жовтня 2008 р.), 7-ма міжнародна молодіжна науково-технічна конференція Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ-2011», а також на звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету в 2006-2010 рр.

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 31 науковій праці, в тому числі: 11 статей у науково-фахових журналах, 11 статей у науково-технічних журналах та збірниках праць науково-технічних конференцій, отримано 6 патентів України на корисну модель та 3 патенти на винахід.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків по роботі, переліку використаних джерел (132 бібліографічних посилання, 13 сторінок) та додатків (21 сторінка). Загальний обсяг роботи, в якому викладено основний зміст, складає 139 сторінок і містить рисунків 90, таблиць 4. Повний обсяг дисертації – 175 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовано мету роботи та задачі дослідження. Дана характеристика наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих методів і засобів вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некрystalічних напівпровідників, які широко використовуються при виробництві сучасних електронних приладів.

Показано, що для контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників найбільш доцільним є використання безконтактного диференційно-термічного аналізу. Завдяки неруйнівному впливу на об'єкт контролю, високу точність та чутливість, а також можливість безперервного, безконтактного, експресного аналізу структурних параметрів некристалічних напівпровідників безконтактний диференційно-термічний аналіз максимально відповідає вимогам, які висуваються до технічних засобів контролю структурних параметрів некристалічних напівпровідників в технологічному процесі під час виробництва електронних приладів. Обрано напрямки подальших досліджень.

У **другому розділі** розроблено математичну модель термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках, проведено математичний опис піків теплових ефектів, моделювання ДТА-кривої, розроблено математичну модель частотного вимірювального перетворювача, проведено дослідження динамічних процесів у вимірювальному каналі.

Більшість термодинамічних процесів, що протікають при нагріванні речовини і реєструються за допомогою ДТА, складаються з сукупності паралельних і послідовних реакцій, в результаті накладання яких отримують криву, досить складну для аналізу. Одним з наслідків накладання реакцій є зсув температури пікових характеристик, який виступає одним із основних параметрів, що фіксується ДТА. Іншим наслідком є неможливість розрахунку кінетичних і термодинамічних пікових характеристик по ДТА-кривим. В основному для опису виступу використовують функції елементарних піків: Гауса, Коші. Застосування даних функцій для опису усіх пікових характеристик не коректно, оскільки в більшості випадків піки термодинамічних процесів далекі від симетричності.

Запропоновано проводити математичний опис кожної гілки піка окремо, а потім використати комбінацію даних функцій елементарних піків. В основі розробленої математичної моделі лежить рівняння опису піка термодинамічного процесу, яке складається із суми величин, що характеризують форму переднього та заднього фронтів піка, а також містить параметр, модуль якого визначає висоту піку, а знак визначає вид термодинамічного процесу. Використовуючи дану модель, пікову характеристику, що відповідає протіканню ендотермічного процесу в некристалічному провіднику можна описати як

$$\Delta T = -\frac{k_0 R \varphi}{E} \cdot \frac{1}{e^{-\frac{E}{R}(T_{\min} - T_n)} + e^{\frac{E}{R}(T_{\min} - T_k)}}, \quad (1)$$

де k_0 – предекспоненціальний множник у виразі Ареніуса для константи швидкості процесу; R – універсальна газова постійна; φ – швидкість нагрівання; E – енергія активації ендотермічного процесу; T_{\min} – пікове значення ендотермічної ділянки пікової характеристики; T_n – температура початку ендотермічного процесу; T_k – температура кінця ендотермічного процесу.

Крім ендотермічних ефектів при нагріванні зразка можливо протікання процесів, що супроводжуються екзотермічними ефектами. Це процеси хімічних перетворень, а також переходи з метастабільних або заморожених станів в рівноважні, наприклад кристалізація некристалічних напівпровідників. Аналітичний вираз для побудови пікової характеристики, що описує екзотермічний ефект в некристалічному напівпровіднику при його нагріванні набуде вигляду

$$\Delta T = \frac{k_0 R \varphi}{E \cdot \left(e^{-\frac{E}{R}(T_{\max} + T_n)} + e^{\frac{E}{R}(T_{\max} + T_k)} \right)}, \quad (2)$$

де E – енергія активації екзотермічного процесу; T_{\max} – пікове значення екзотермічної ділянки пікової характеристики; T_n – температура початку екзотермічного процесу; T_k – температура кінця екзотермічного процесу.

Розглянуто ДТА-криву поліморфного перетворення некрystalічного напівпровідника. Для зручності чисельних оцінок було побудовано графік похідної сигналу ДТА по часу від температури зразка. З даного графіку визначено п'ять характеристичних точок. Встановлено, що пікове значення ДТА-кривої необхідно вважати найбільш точною оцінкою завершення перетворення некрystalічного напівпровідника. Запропоновано здійснювати операцію контролю структурних перетворень некрystalічних напівпровідників саме по піковим значенням кривої диференційно-термічного аналізу.

З математичної моделі термодинамічного процесу в некрystalічних напівпровідниках було отримано аналітичний вираз для знаходження пікових значень кривої диференційно-термічного аналізу некрystalічних напівпровідників

$$T_{\text{пik.зн.}} = \begin{cases} -\frac{1}{k_0\varphi} \ln \Delta T + T_{зр.}, & \text{при } \Delta Hr > 0; \\ \frac{1}{k_0\varphi} \ln \Delta T - T_{зр.}, & \text{при } \Delta Hr < 0, \end{cases} \quad (3)$$

де $T_{зр.}$ – температура досліджуваного зразка; ΔT – диференційна температура (різниця між температурою досліджуваного зразка і температурою термічно інертної речовини); ΔHr – позначення теплового ефекту.

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі ДТА було написано програму для розрахунку і побудови пікових характеристик ендотермічного та екзотермічного процесів, що виникають під час нагрівання некрystalічного напівпровідника.

Порівнянням результатів моделювання та відомих емпіричних залежностей доведено, що запропонована модель адекватно описує фізичні процеси, які протікають під час диференційно-термічного аналізу. Відносна похибка моделі не перевищує 5%.

Для вимірювання пікових значень ДТА запропоновано використовувати частотний вимірювальний перетворювач, в якому на одному кристалі здійснюється наступна послідовність вимірювальних перетворень: $T \rightarrow U \rightarrow C \rightarrow F$. Отримано рівняння залежності напруги переходів транзисторної структури з плівкою піроелектрика частотного вимірювального перетворювача від температури некрystalічного напівпровідника:

$$\begin{aligned} U_{\bar{\delta e}} &= (3/2\theta) \cdot \left(U_{\text{нор}} - (p \cdot \delta \cdot A \cdot \eta) / \tau^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha \right) \cdot T; \\ U_{\bar{\delta k}} &= (3/2\theta) \cdot \left(U_{\text{нор}} - (p \cdot \delta \cdot A \cdot \eta) / \tau^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha \right) \cdot T, \end{aligned} \quad (4)$$

де p – піроелектричний коефіцієнт; δ – товщина піроелектрика; ε – діелектрична стала матеріалу піроелектрика; ε_0 – діелектрична стала; A – площа поглинаючого шару на поверхні чутливого елемента; η – коефіцієнт емісії чутливого елемента; α – коефіцієнт, що характеризує тепловіддачу шляхом теплопровідності та випромінювання; τ – постійна, що не залежить від температури та часу; T – температура випромінювання.

Для діапазону температур від 350 К (77 °С) до 1000 К (727 °С) напруга переходів транзисторної структури змінюється від 0,8 В до 2,1 В. Чутливість в даному діапазоні температур становить 2 мВ/К.

Як видно з послідовності вимірювального перетворення, зміна напруги переходів транзисторної структури призводить до зміни бар'єрної ємності ЧВП і ємності переходу база-колектор. Залежність ємності транзисторної структури частотного вимірювального перетворювача від зміни контактної різниці потенціалів переходів транзисторної структури ЧВП

$$C_{j\bar{b}e}(U_{\bar{b}e}) = \begin{cases} C_{je} \cdot (1 - U_{\bar{b}e}(T)/U_{je})^{-M_{je}}, & \text{при } U_{\bar{b}e} \leq F_K U_{je}; \\ C_{je} \cdot (1 - F_K)^{-(1+M_{je})} \cdot (1 - F_K \cdot (1 + M_{je}) + M_{je} \cdot U_{\bar{b}e}(T)/U_{je}), & \text{при } U_{\bar{b}e} > F_K U_{je}; \end{cases}$$

$$C_{j\bar{b}k}(U_{\bar{b}k}) = \begin{cases} C_{jk} \cdot (1 - U_{\bar{b}k}(T)/U_{jk})^{-M_{jk}}, & \text{при } U_{\bar{b}k} \leq F_K U_{jk}; \\ C_{jk} \cdot (1 - F_K)^{-(1+M_{jk})} \cdot (1 - F_K \cdot (1 + M_{jk}) + M_{jk} \cdot U_{\bar{b}k}(T)/U_{jk}), & \text{при } U_{\bar{b}k} > F_K U_{jk}; \end{cases} \quad (5)$$

де M_{je}, M_{jk} – коефіцієнти, які враховують плавність емітерного, колекторного переходів; C_{je}, C_{jk} – ємності емітерного, колекторного переходів при нульовому зміщенні; $U_{\bar{b}e}, U_{\bar{b}k}$ – напруги між базою і емітером, базою і колектором біполярного транзистора; F_K – коефіцієнт нелінійності бар'єрних ємностей прямозміщених переходів.

При зміні напруги переходів транзисторної структури від 0,2 В до 2,1 В ємність транзисторної структури ЧВП змінюється від 0,4 пФ до 1,35 пФ. Чутливість в даному випадку складає 1,1 пФ/В.

Зміна ємності транзисторної структури призводить до зміни вихідної частоти

$$F(C) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{j\bar{b}e}(U_{\bar{b}e}) + C_{j\bar{b}k}(U_{\bar{b}k})}{C_{j\bar{b}e}(U_{\bar{b}e}) \cdot C_{j\bar{b}k}(U_{\bar{b}k}) \cdot L_{екв}}}. \quad (6)$$

Графічну залежність вихідної частоти вимірювального перетворювача від температури зображено на рис. 1.

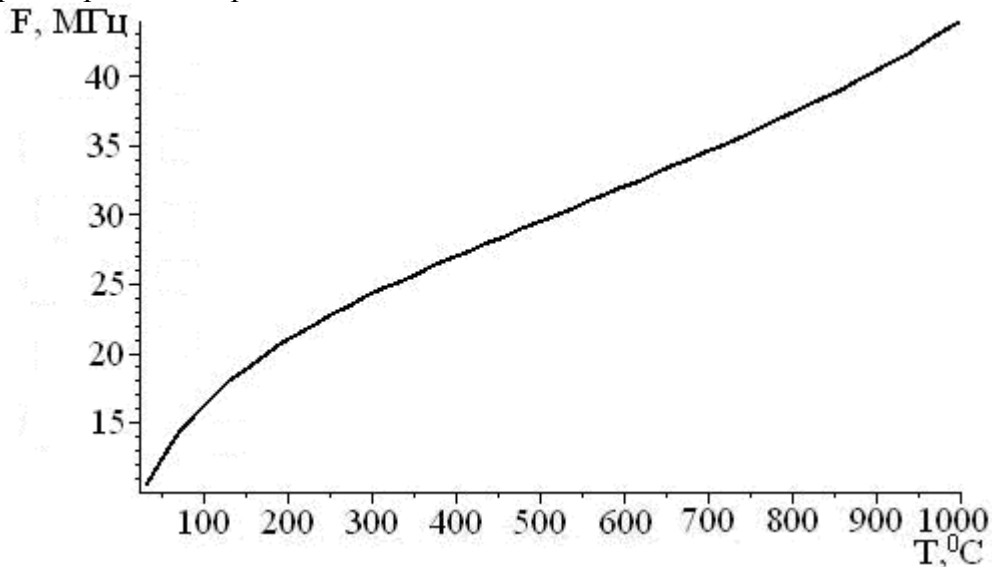


Рисунок 1 – Функція перетворення температури в частоту

Як видно з рис. 1 при зміні температури від 10 °C до 1000 °C вихідна частота пристрою змінюється від 11 МГц до 44 МГц. Чутливість частотного вимірювального перетворювача для входного контролю визначається з виразу (6) як перша похідна функції перетворення по температурі. Було отримано аналітичне та графічне зображення залежності

чутливості частотного вимірювального перетворювача від температури. Чутливість розробленого частотного вимірювального перетворювача зі зміною температури від 10°C до 1000°C змінюється від $25000\text{ Гц}/^{\circ}\text{C}$ до $110000\text{ Гц}/^{\circ}\text{C}$. Для моделювання вихідного сигналу ЧВП використано метод змінних стану, внаслідок чого отримано графічне представлення вихідних періодичних коливань пристрою.

Проведено дослідження динамічних процесів у вимірювальному каналі, внаслідок чого отримано перехідну характеристику процесу вимірювання в аналітичному і графічному вигляді, з якої видно, що час досягнення усталеного режиму роботи становить 4 мкс.

У **третьому розділі** удосконалено метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників, розроблено частотний вимірювальний перетворювач, структурну схему та алгоритм роботи засобу вхідного контролю, проведено оцінювання значення основних похибок у вимірювальному каналі. У результаті математичного моделювання отримано статичну характеристику засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників.

Суть методу полягає у встановленні рівності досліджуваних зразків ідентифікатору. Для цих цілей матеріал, що потрапив на дослідження проходить аналіз і проводиться обробка результатів відповідно до запропонованої методики. Результати досліджень порівнюються з аналогічними, отриманими для ідентифікатора. Ідентифікація із застосуванням ДТА проводиться в два етапи: перший етап – отримання ідентифікаційних термоаналітичних характеристик в результаті проведення випробувань з використанням статистичних методів обробки та обрахунку середніх величин і дисперсій; другий етап – встановлення рівності досліджуваного зразка ідентифікатору на основі порівняння дисперсій і середніх величин пікових значень ДТА з використанням статистичних критеріїв: Фішера (F), і t -критерію.

В результаті ДТА отримують відповідні графічні залежності (термограми). Обробка графічних залежностей проводиться з використанням відповідного програмного забезпечення засобу вхідного контролю.

Після обробки графічних зображень для кожного пікового значення і сукупності паралельних досліджень визначають: 1) середнє арифметичне $\bar{T}_{\text{пik.зн.}}$; 2) відхилення d від середнього арифметичного значення; 3) середньоквадратичне відхилення повторюваності результатів вимірювання S для кожного пікового значення. 4) обраховуються дисперсії σ для кожного пікового значення. Виявляється належність дисперсій, що порівнюються, одній і тій же генеральній сукупності (перевірка нуль-гіпотези, тобто $\sigma_1 = \sigma_2$) на основі порівняння критеріїв Фішера (F -критерій) – експериментального $F_{\text{експ}}$ і теоретичного $F_{\text{теор}}$ з використанням наступної нерівності

$$F_{\text{експ}} < F_{\text{теор}}, \quad (7)$$

де $F_{\text{експ}} = S_1^2(f_1) / S_2^2(f_2)$; S_1^2, S_2^2 – дисперсії пікових значень ідентифікатора і досліджуваного зразка матеріалу некристалічного напівпровідника; при цьому в чисельнику завжди ставиться більша дисперсія, тобто $S_1^2 > S_2^2$ ($S_1^2 / S_2^2 > 1$); $F_{\text{теор}}$

вибирається з табличних значень в залежності від ступенів свободи f_1 і f_2 .

Якщо для кожного пікового значення нерівність (7) виконується, то нуль-гіпотеза підтверджується. В цьому випадку випадкові похибки обох серій досліджень близькі по величині та не викликані впливом на них складу матеріалу некристалічних напівпровідників. В іншому випадку ($F_{\text{експ}} > F_{\text{теор}}$) робиться висновок про те, що матеріали некристалічних напівпровідників не ідентичні.

У випадку виконання нерівності (7) для кожного пікового значення проводиться порівняння двох середніх за допомогою t -критеріїв ($t_{експ}$ і $t_{теор}$) в наступному порядку:

- 1) для кожного пікового значення визначається усереднена дисперсія S_{cp}^2 ;
- 2) обчислюється $t_{експ}$ за формулою

$$t_{експ} = \left[(\bar{T}_{пик.зн.1} - \bar{T}_{пик.зн.2}) / \sqrt{S_{cp}^2} \right] \cdot \sqrt{n_1 \cdot n_2 / (n_1 + n_2)}, \quad (8)$$

де n_1 - кількість дослідів ідентифікатора; n_2 - кількість дослідів досліджуваного матеріалу некристалічного напівпровідника. Якщо знайдене значення $t_{експ}$ за абсолютною величиною виявиться меншим $t_{теор}$:

$$t_{експ} < t_{теор}, \quad (9)$$

де $t_{теор}$ визначається згідно табличних даних при заданих рівню значимості та числу ступенів свободи об'єднаної вибірки ($f = n_1 + n_2 - 2$), то нуль-гіпотеза приймається і порівняння середніх для кожного пікового значення не дає суттєвого розходження.

Якщо знайдене значення $t_{експ}$ за абсолютною величиною виявиться більшим $t_{теор}$ ($t_{експ} > t_{теор}$), то нуль-гіпотеза відхиляється і значення середніх для кожного пікового значення диференційно-термічного аналізу мають значні розходження.

Зразки матеріалів, що порівнюються, вважаються ідентичними за результатами диференційно-термічного аналізу на основі наступних висновків: 1) співпадає кількість основних пікових значень ДТА;

2) пікові значення диференційно-термічного аналізу задовольняють нерівностям (7), (9).

Для реалізації запропонованого методу розроблено засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників. В результаті проведеного критеріального аналізу інформативної ефективності вимірювальних перетворювачів пікових значень диференційно-термічного аналізу для підвищення точності, чутливості, розширення діапазону вимірювань, підвищення швидкодії, зниження собівартості пристроїв є доцільним вибрати частотний вимірювальний перетворювач на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором, функціональна схема якого зображена на рис. 2.

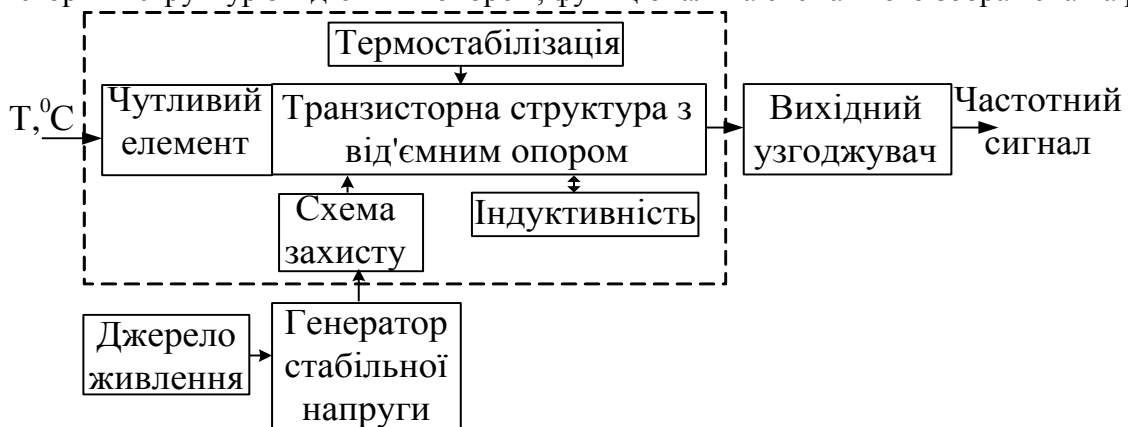


Рисунок 2 – Структурна схема частотного вимірювального перетворювача

Чутливим елементом на рис. 2 є піроелектрик, на який зверху нанесена плівка чорненого металу, що є термочутливою. Таким чином, поєднання чутливого елемента з ТСВО утворює структуру метал-піроелектрик-напівпровідник.

Засіб вхідного контролю складається з наступних частин: частотних вимірювальних перетворювачів, блоку нагрівання печі, блоку обробки сигналів, алгоритму вимірювального контролю. Розроблену структурну схему засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників зображено на рис. 3.

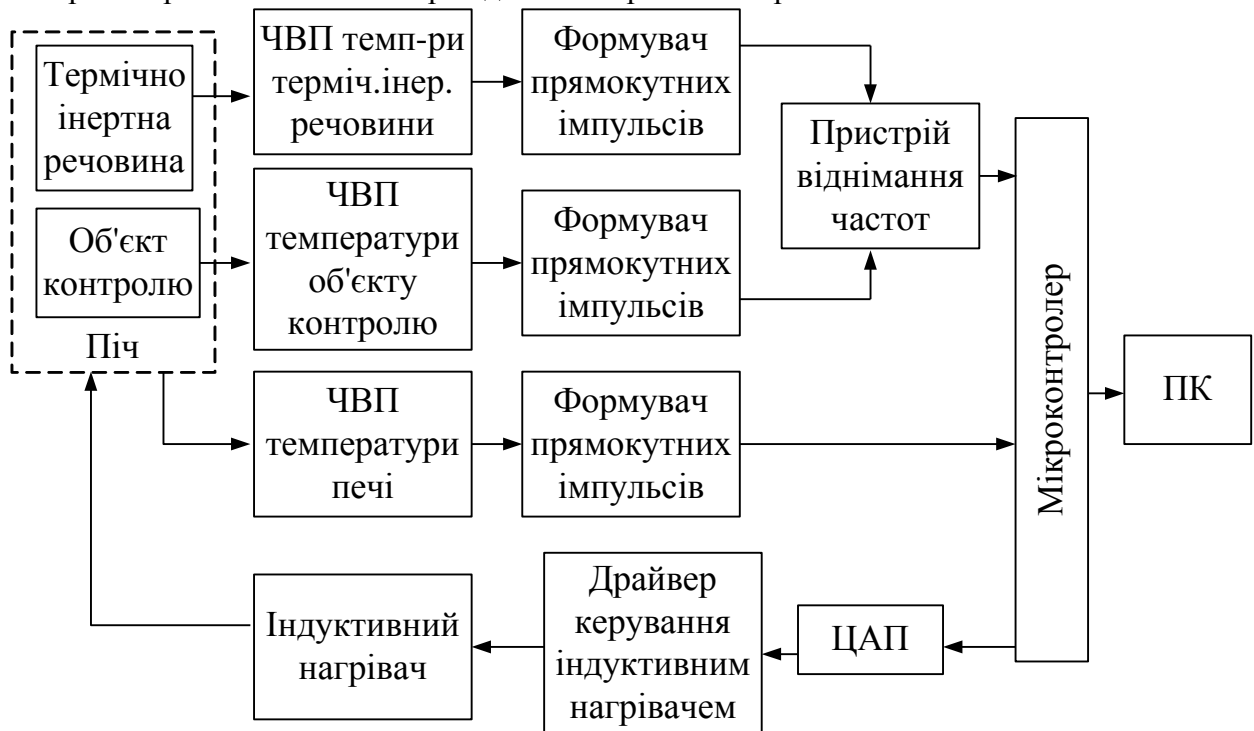


Рисунок 3 – Структурна схема засобу вхідного контролю

Розроблено алгоритм роботи засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників, який включає в себе ініціалізацію, вимірювання, контроль одного зразка некристалічного напівпровідника, контроль партії некристалічних напівпровідників.

Проведено дослідження метрологічних характеристик засобу вхідного контролю. Однією з них є статична характеристика (рис. 4), яка пов'язує величини пікових значень з кількістю імпульсів, підрахованих на виході лічильника мікроконтролера за час вимірювання $t_{вим}$. Як видно з графіку статична характеристика лінійна.

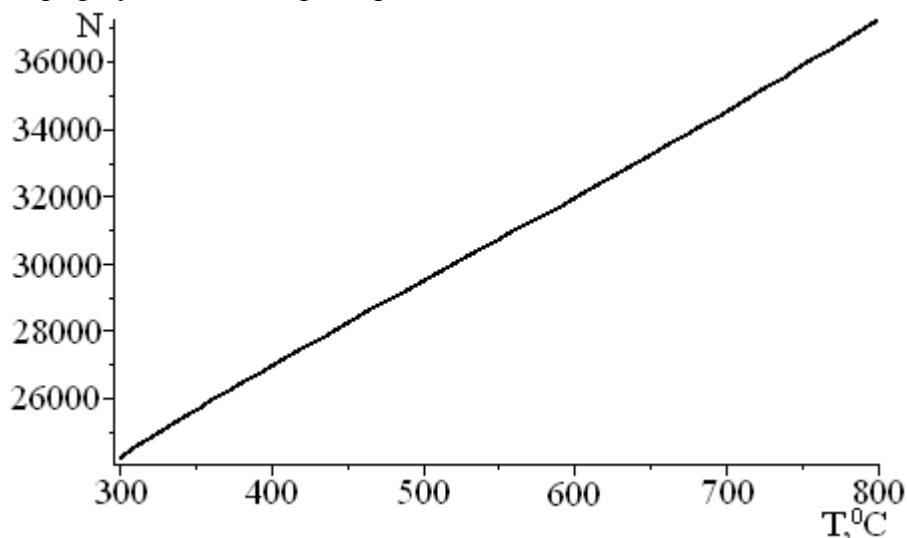


Рисунок 4 – Статична характеристика засобу вхідного контролю

Проведено оцінювання основних похибок вимірювального перетворення. При вимірюванні температури за випромінюванням інструментальна похибка зумовлена неточністю вимірювання потоку випромінювання від досліджуваного об'єкта внаслідок

впливу параметрів оптичної системи, електричної схеми, особливостей приймача випромінювання та зміни їх характеристик у часі.

Проаналізовано похибки, які виникають від впливу електричної схеми частотного вимірювального перетворювача. До них відносяться: похибка вимірювання, яка виникає у результаті нестабільності частоти автогенератора; похибка вимірювання, яка виникає у результаті зміни температури навколишнього середовища; похибка через нестабільність джерела живлення транзисторної структури; похибка через власні шуми і зовнішні наводки на вхідне коло електронного частотоміра; похибка квантування, яка виникає внаслідок неідеальності перетворення частоти в кількість імпульсів у мікроконтролері; похибка міри, що виникає від нестабільності джерела часової міри; похибка дискретності, що є різницею між часом появи імпульсів на вході лічильника частотоміра і часом видачі строб-імпульсу «часових воріт»; похибка розрядності, яка виникає через обмежену розрядність лічильника та мікроконтролера. Загальна інструментальна похибка частотного вимірювального перетворювача становить 0,31 %.

Методична похибка вимірювання розробленим засобом контролю зумовлена впливом випромінювальних властивостей об'єкту, використання обмеженої ділянки спектру, впливом проміжного середовища через яке проходить випромінювання від об'єкту до вимірювального перетворювача. Вираз складової методичної похибки вимірювання температури за випромінюванням визначається як сума часткових похідних від виразу визначення термодинамічної температури цим методом. До методичних похибок відносяться: похибка через введення невірних значень випромінювальної здатності об'єкту; похибка, яка виникає від зміни інтенсивності потоку випромінювання; похибка внаслідок залежності результатів вимірювання від відстані до об'єкту вимірювання; похибка через неповне заповнення об'єктом вимірювання поля зору чутливого елемента; похибка впливу температури корпусу чутливого елемента. Загальна методична похибка складає 0,42 %.

У **четвертому розділі** наведено результати практичної реалізації засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників. Мікропроцесорний засіб вхідного контролю складається з апаратної частини і спеціалізованого програмного забезпечення. Розроблено електричні схеми частотних вимірювальних перетворювачів для різних вимірювальних діапазонів з різними значеннями чутливості та точності, виготовлені експериментальні зразки. Внаслідок проведеного аналізу функціонально-схемної реалізації ЧВП на основі піроелектричних структур встановлено, що найбільшу зміну чутливості в діапазоні до 300 °С має схема з сегнетоелектричним конденсатором, а найбільшу зміну чутливості в діапазоні до 800 °С має схема на основі структури метал-піроелектрик-напівпровідник. Експериментальні дослідження схеми ЧВП на основі структури метал-піроелектрик-напівпровідник дозволили отримати сімейство вольт-амперних характеристик і функцію перетворення пристрою. Отримано експериментальну статичну характеристику засобу вхідного контролю. Відхилення експериментальної залежності від теоретичної не перевищує 4 %.

Експериментальні дослідження розробленого мікропроцесорного засобу вхідного контролю проведені для півки аморфного селеніума. На рис. 5 зображено отриману криву диференційно-термічного аналізу.

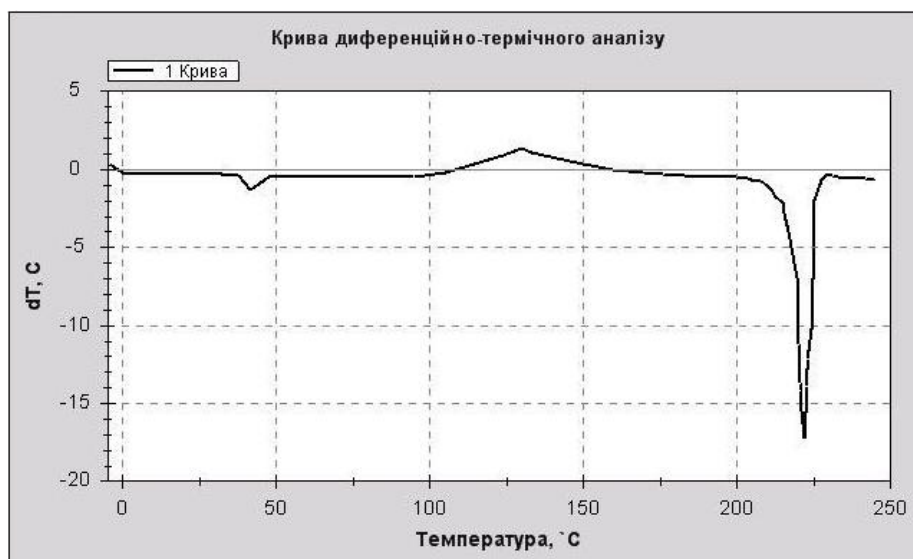


Рисунок 5 – Експериментальна ДТА-крива, отримана для плівки селеніума розробленим засобом зі швидкістю нагрівання $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за хвилину

Як видно з рис. 5 засобом вхідного контролю було зафіксовано три пікових значення: першого ендотермічного піка – $42,75\text{ }^{\circ}\text{C}$, екзотермічного піка – $132,28\text{ }^{\circ}\text{C}$, другого ендотермічного піка – $221,99\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проведено порівняння отриманих результатів із результатами ДТА плівки селеніума дериватографом, яке підтвердило вищу точність, а значить і вірогідність розробленого засобу.

Аналіз експериментальних досліджень вимірювання температури показав, що максимальне значення зведеної похибки вимірювання не перевищує $0,8\%$, клас точності складає $1,0$. Отримано основні статистичні характеристики похибки вимірювання температури: середньоквадратичне відхилення – $0,054\text{ }^{\circ}\text{C}$, абсолютна похибка не перевищує $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, довірчий інтервал – $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$. На основі експериментальних досліджень побудовано закони розподілу контрольованої величини, відносної похибки вимірювання температури. Виявлено, що систематична складова похибки зміщує функції щільності розподілу ймовірностей вимірювання температури і похибок вимірювання. Оцінено вірогідність контролю на основі помилок першого та другого роду. В результаті отримано значення $\alpha = 0,023$, $\beta = 0,007$. Вірогідність прийняття засобом вхідного контролю правильного результату становить $0,97$. Розрахована вірогідність вхідного контролю є вищою за показники вірогідності контролю існуючих засобів, представлених у порівняльній таблиці ($0,8 - 0,89$).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі в науковому плані удосконалено метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі розрахунку пікових значень термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках та використання статистичних критеріїв: Фішера і t -критерію, що дозволило підвищити вірогідність контролю.

В практичному плані запропоновано структурну схему та алгоритм вимірювального контролю засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників, на основі яких розроблено мікропроцесорний засіб вхідного контролю.

Отримано такі основні наукові та практичні результати:

1. Проаналізовано існуючі методи вхідного контролю молекулярної структури некристалічних напівпровідників та виділено їх основні недоліки. Наведено класифікацію методів вхідного контролю. Виявлено, що в умовах безперервного технологічного виробництва найбільш перспективним є метод на основі диференційно-термічний аналізу.

Проаналізовано засоби для диференційно-термічного аналізу і встановлено, що перспективним є використання частотних вимірювальних перетворювачів.

2. Удосконалено математичну модель термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках, яка відрізняється від існуючих тим, що адекватно описує піки теплових ефектів при зміні температури нагрівання некристалічних напівпровідників, що дозволило отримати аналітичний вираз для розрахунку пікових значень.

3. Удосконалено метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі розрахунку пікових значень термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках, який відрізняється від існуючих тим, що рішення про придатність партій некристалічних напівпровідників здійснюється на основі використання критеріїв Фішера і t -критерію, що дозволило підвищити вірогідність контролю до 0,97.

4. Теоретично встановлено і експериментально підтверджено залежність реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором від температури некристалічних напівпровідників, яка відрізняється від існуючих тим, що перетворення температури у частотний сигнал відбувається у структурі метал-піроелектрик-напівпровідник з від'ємним опором, що дозволило створити засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників з підвищеною точністю і розширеним вимірювальним діапазоном.

5. Розроблено математичну модель частотного вимірювального перетворювача, яка враховує залежності параметрів елементів нелінійних еквівалентних схем від температури некристалічних напівпровідників. Створено програмне забезпечення з розрахунку характеристик частотного вимірювального перетворювача на основі даної математичної моделі.

6. Розроблено частотні вимірювальні перетворювачі температури некристалічних напівпровідників на основі піроелектричних структур, чутливість яких залежно від схемотехнічної реалізації є в межах від 50 Гц/°С до 110 кГц/°С при вимірювальному діапазоні від 23 °С до 1400 °С.

7. Розроблено мікропроцесорний засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників на основі частотних вимірювальних перетворювачів.

8. Оцінено значення інструментальних та методичних похибок вимірювального контролю за допомогою розробленого засобу. Встановлено, що загальна похибка вимірювань не перевищує 0,8 %, клас точності цього приладу складає 1,0.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на ДП НДІ «Гелій» (м. Вінниця, акт від 19.06.2012), а також у навчальний процес кафедри радіотехніки ВНТУ при вивченні дисциплін «Сенсори фізичних величин», «Радіовимірювальні перетворювачі інформації» (м. Вінниця, акт від 22.06.2012).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Барабан С.В. Метод вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, А.О. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 3. – С. 90-93. – ISSN 2226-9150.

2. Барабан С.В. Підвищення вірогідності неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, А.О. Семенов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 2. – С. 79-82. – ISSN 2219-9365.

3. Барабан С.В. Математична модель автогенераторного засобу для визначення фазових перетворень твердих матеріалів / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, А.О. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 1. – С. 120-125. – ISSN 2226-9150.

4. Барабан С.В. Визначення метрологічних характеристик автогенераторного засобу з від'ємним опором для дослідження твердофазних систем / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, А.О. Семенов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 1. – С. 54-58. – ISSN 2219-9365.

5. Барабан С.В. Система вхідного контролю некристалічних напівпровідників на основі автогенераторних приладів з від'ємним опором / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, А.О. Семенов // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління – 2011. – № 4 (34). – С. 9-12.

6. Барабан С.В. Частотний перетворювач температури на основі сегнетоконденсатора / С.В. Барабан, В.С. Осадчук, О.В. Осадчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 3. – С. 206-210. – ISSN 1997-9266.

7. Барабан С.В. Розробка мікроелектронних перетворювачів теплової потужності у частоту на основі транзисторних структур з від'ємним опором / С.В. Барабан, В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.М. Ільченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – № 1. – С. 133-139. – ISSN 1999-9941.

8. Барабан С.В. Розробка радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів температури на основі структури метал-сегнетоелектрик-напівпровідник / С.В. Барабан, В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.М. Ільченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 3. – С. 94-97. – ISSN 1997-9266.

9. Барабан С.В. Перетворювач температури на основі IGBT-VJT структури з від'ємним опором [Електронний ресурс] / С.В. Барабан, О.В. Осадчук // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2009. – № 2. – С. 1-8. – режим доступу:

<http://nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-2/2009-2.htm>

10. Барабан С.В. Радіовимірювальний перетворювач температури [Електронний ресурс] / С.В. Барабан, О.В. Осадчук // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – № 1. – С. 1-9. – режим доступу:

http://nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2010_1/2010-1.htm

11. Барабан С.В. Мікроелектронний перетворювач температури на основі піроелектричного конденсатора / С.В. Барабан, В.С. Осадчук, О.В. Осадчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – №2. – С. 103-108. – ISSN 1997-9266.

12. Аналіз методів вимірювання температури на основі піроелектриків / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко // Матеріали 4-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Современные научные достижения – 2008» / Том 17/ Технические науки / Электротехника и радиоэлектроника / Przemysl. Nauka i studia. – С. 3-11. – ISBN 978-966-8736-05-06.

13. Осадчук В.С. Аналіз сучасних засобів вимірювання температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан // Матеріали 5-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальные проблемы современных наук-2009» / Номер 22 / Технические науки / Электротехника и радиоэлектроника / Przemysl. Nauka i studia. – С. 40-50. – ISBN 978-966-8736-05-06.

14. Осадчук В.С. Перетворювач температури на основі IGBT-VJT структури з від'ємним опором [Електронний ресурс] / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан // IX Міжнародна конференція контроль та управління в складних системах, 21-24 жовтня 2008 р.: тези доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – Режим доступу до статті:

http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_2.1.pdf

15. Барабан С.В. Мікроелектронний частотний перетворювач для моніторингу температури доквілля / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, В.С. Осадчук // II-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2009), 23-26 вересня 2009 р.: збірник наукових статей. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – С. 305-308. – ISBN 978-966-2190-11-3.

16. Барабан С. В. Радіовимірювальний перетворювач температури / С.В. Барабан, О.В. Осадчук, В.С. Осадчук // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні

проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009)", 8-10 жовтня 2009 р.: тези доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – С. 60.

17. USB-частотомір / О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.С. Звягін, Р.В. Криночкін / Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Дни науки – 2010» / Номер 25 / Технические науки / Электротехника и радиоэлектроника / Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o. – С. 32-34. – ISBN 978-966-8736-05-06.

18. Осадчук О.В. Система контролю температури на основі частотних перетворювачів з від'ємним опором / О.В. Осадчук, Р.В. Криночкін, С.В. Барабан // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 19-21 травня 2010 р. : тези доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – С. 281-282. – ISBN 978-966-641-356-0.

19. Осадчук В.С. Частотний вимірювальний перетворювач інфрачервоного випромінювання / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан // Фотоніка-ОДС 2010 : V Міжнародна конференція з оптико електронних інформаційних технологій, 28–30 вересня 2010 р. : тези доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – С. 199. – ISBN 978-966-641-378-2.

20. Осадчук В.С. Частотний перетворювач температури на основі сегнетоконденсатора [Електронний ресурс] / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан // X Міжнародна конференція контроль та управління в складних системах, 19–21 жовтня 2010 р. : тези доповідей – 2010. – Режим доступу до статті: <http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2010/materials/program.pdf>

21. Барабан Сергій Володимирович. Мікроелектронний перетворювач температури на основі піроелектричної структури / С.В. Барабан // Матеріали XV Міжнародного молодіжного форуму «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 18-20 квітня 2011 р. : тези доповідей. – Харків: ХНУРЕ, 2011. – 372 с.

22. Барабан Сергій Володимирович. Автогенераторний вимірювальний перетворювач з від'ємним опором / С.В. Барабан, А.Ю. Савицький // Матеріали 7-ої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій РТ – 2011", 11 — 15 квітня 2011 р. : тези доповідей. – Севастополь: СевНТУ, 2011. — 479 с.

23. Патент України на винахід № 87585, (51) МПК (2009) G01J 5/58. Мікроелектронний пристрій для вимірювання теплової потужності / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200712838; заявл. 19.11.2007; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.

24. Патент України на винахід № 88814, (51) МПК (2009) G01K 7/00. Мікроелектронний пристрій для вимірювання температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200714880; заявл. 27.12.2007; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.

25. Патент України на винахід № 90032, (51) МПК (2009) G01J 1/44. Транзисторний піроелектричний температурний сенсор / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.М. Ільченко, С.В. Барабан; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – - № 200806900; заявл. 19.05.2008; опубл. 25.03.2010, Бюл. №6.

26. Патент України на корисну модель № 31510, (51) МПК (2006) G01K 7/00. Мікроелектронний сенсор температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200714163; заявл. 17.12.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.

27. Патент України на корисну модель № 31170, (51) МПК (2006) G01K 7/00. Пристрій для виміру температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200714154; заявл. 17.12.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

28. Патент України на корисну модель № 42780, (51) МПК (2009) G01K 7/00. Мікроелектронний піроелектричний сенсор температури з частотним виходом / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200815042; заявл. 26.12.2008; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.

29. Патент України на корисну модель № 41856, (51) МПК (2009) G01K 7/00. Мікроелектронний пристрій для вимірювання температури з активним індуктивним піроелектричним елементом / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200900483; заявл. 23.01.2009; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.

30. Патент України на корисну модель № 31114, (51) МПК (2006) G01J 5/58. Мікроелектронний сенсор теплової потужності / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200713424; заявл. 03.12.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

31. Патент України на корисну модель № 31065, (51) МПК (2006) G01J 5/58. Пристрій для вимірювання теплової потужності / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, С.В. Барабан, О.М. Ільченко; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200715042; заявл. 19.11.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

АНОТАЦІЯ

Барабан С.В. Метод і засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників. Суть методу полягає у встановленні рівності досліджуваних зразків із ідентифікатором для встановлення придатності або непридатності партій некристалічних напівпровідників в умовах промислового виробництва електронних приладів. Для проведення вхідного контролю використовується диференційно-термічний аналіз. Встановлення рівності досліджуваних зразків з ідентифікатором відбувається на основі порівняння дисперсій і середніх величин пікових значень диференційно-термічного аналізу з використанням статистичних критеріїв: Фішера (F) і t -критерію.

В дисертаційній роботі розроблені теоретичні підходи до створення моделі термодинамічного процесу в некристалічних напівпровідниках на основі математичної фізики, що дозволило отримати аналітичну залежність для розрахунку пікових значень теплових ефектів, які виникають при зміні температури нагрівання некристалічних напівпровідників. На основі методу змінних стану отримано аналітичну та графічну залежність параметрів еквівалентної схеми частотного вимірювального перетворювача від температури некристалічних напівпровідників, його функцію перетворення і рівняння чутливості.

Розроблено методикою проектування засобу вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників, яка складається з наступних частин: частотних вимірювальних перетворювачів, блоку нагрівання печі, блоку обробки сигналів, алгоритму вимірювального контролю. За цією методикою розроблено мікропроцесорний засіб вхідного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників.

Ключові слова: вхідний контроль, частотний вимірювальний перетворювач, диференційно-термічний аналіз, алгоритм, аналітична залежність, функція перетворення, точність, вірогідність контролю.

АННОТАЦИЯ

Барабан С.В. Метод и средство входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Винницкий национальный технический университет, Винница – 2013.

Диссертационная работа посвящена усовершенствованию метода входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников. Суть метода состоит в определении равности исследуемых образцов с идентификатором для установления годности партий некристаллических полупроводников в условиях промышленного производства электронных приборов. Для проведения контроля используется дифференциально-термический анализ. Установление равности исследуемых образцов с идентификатором происходит на основании сравнения дисперсий и средних величин пиковых значений дифференциально-термического анализа с использованием статистических критериев: Фишера (F) и t -критерия.

В диссертационной работе разработаны теоретические подходы к созданию модели термодинамического процесса в некристаллических полупроводниках на основании математической физики, что позволило получить аналитическую зависимость для расчета пиковых значений тепловых эффектов, которые возникают при изменении температуры нагревания некристаллических полупроводников. На основании метода переменных состояния получены аналитическая и графическая зависимость параметров эквивалентной схемы частотного измерительного преобразователя от температуры некристаллических полупроводников, его функция преобразования и уравнение чувствительности. Разработано программное обеспечение для расчета указанных характеристик частотного измерительного преобразователя.

Предложено методику расчета изменения выходных сигналов частотных измерительных преобразователей, которая может быть использована для их инженерного расчета.

Теоретически установлено и экспериментально подтверждена зависимость реактивных свойств транзисторных структур с отрицательным сопротивлением от температуры некристаллических полупроводников, которая отличается от существующих тем, что преобразование температуры в частотный сигнал происходит в структуре металл-пирозлектрик-полупроводник с отрицательным сопротивлением, что позволило создать средство входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников с повышенной точностью и расширенным измерительным диапазоном.

Предложена структурная схема средства входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников с использованием частотных измерительных преобразователей. На основании структурной схемы разработано микропроцессорное устройство входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников. Предложен алгоритм измерительного контроля пиковых значений тепловых эффектов в некристаллических полупроводниках, которые возникают при изменении их температуры нагревания. Разработано специализированное программное обеспечение средства входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников, которое осуществляет преобразование полученных с USB-интерфейса данных в значения температуры, строит термограммы, выдает информацию об изменении температуры в текстовом и графическом виде, сохраняет измеренные значения температуры на ПК в форме файла данных, выдает информацию о годности исследуемого образца, а также о годности исследуемой партии некристаллических полупроводников.

Выполнены экспериментальные исследования средства входного контроля структурно-чувствительных параметров некристаллических полупроводников с пленкой аморфного селениума, определены статические погрешности измерений, достоверность входного контроля.

Ключевые слова: входной контроль, частотный измерительный преобразователь, дифференциально-термический анализ, алгоритм, аналитическая зависимость, функция преобразования, точность, достоверность контроля.

ABSTRACT

Baraban S.V. Method and device for input control of structure-sensitive parameters of amorphous semiconductors. – A manuscript.

A thesis for a candidate of technical sciences degree by speciality 05.11.13 – devices and methods of control and determination of substance composition. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia – 2013.

The thesis is devoted for improvement of the method of input control of structure-sensitive parameters of amorphous semiconductors. Essence of the method is to determine the equality of samples with the identifier for establishing suitability or unsuitability production lot of amorphous semiconductors in the industrial production of electronic devices. Differential thermal analysis is used for the input control. Establishing equality of the samples with the identifier is based on the comparison of variances and average values of peaks of differential thermal analysis using statistical criteria: Fisher (F) and t -criterion.

Theoretical approaches for creating the model of the thermodynamic process in amorphous semiconductors based on mathematical physics are developed in the thesis, which allowed us to obtain an analytical dependence for the calculation peaks of thermal effects that occur when the heating temperature of amorphous semiconductors is changing. Analytical and graphical dependence of the parameters of equivalent circuit of frequency measuring converter from the temperature of amorphous semiconductors and its function of conversion and equation of sensitivity are obtained based on the method of the variables of condition.

The design procedure of device for input control of structure-sensitive parameters of amorphous semiconductors, which consists of the following parts: frequency converters, block of heater, block of signal processing, algorithm for measurement control is developed. According to this design procedure the microprocessor device for input control of structure-sensitive parameters of amorphous semiconductors have been developed.

Keywords: input control, frequency measuring converter, differential-thermal analysis, algorithm, analytical dependence, function of conversion, precision, the reliability of control.

Підписано до друку 14.01.2013 р. Формат 29.7x42¹/₄
Наклад 100 прим. Зам. № 2013-011

Надруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: (0432) 59-81-59