

На правах рукопису

ІВАНІВ

ОЛЕГ ДМИТРОВИЧ



ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК
ПАСИВНОЇ ЧАСТИНИ МІКРОЗБІРОК РЕЗ В УМОВАХ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Спеціальність: 05.12.13 - Пристрої радіотехніки
та засобів зв'язку

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Робота виконана в Державному університеті
"Львівська політехніка"

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
доцент Павлиш В. А.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор Мандзій Б. А.
2. Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Смеркло Л. М.

Провідна організація - НДПІ ПАР і СУ "Промприлад", м. Львів

Захист дисертації відбудеться 28 березня 1995 р. в 16 год.
00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради К068.36.01 в
Державному університеті "Львівська політехніка", 290013,
м. Львів, вул. Ст. Бандери 12.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного
університету "Львівська політехніка", 290013, м. Львів, вул.
Професорська, 1.

Автореферат розісланий "21" лютого 1995 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради



Романишин Ю. М.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00751726 (S)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Темпи розвитку сучасної радіоелектроніки пов'язані, насамперед, з досягненнями мікроелектроніки, реалізацією ідей комплексної мікромініатюризації електронної апаратури. Одними з основних компонентів радіоелектронних засобів (РЕЗ) є інтегральні схеми (ІС), мікрозбірки (МЗБ) та інтегральні модулі, що виготовляються за гібридною технологією.

Існує два різновиди гібридної технології - товстоплівкова та тонкоплівкова, відмінність між якими полягає не стільки в товщині робочих шарів, скільки в фізико-хімічних процесах формування плівок. Завдяки кращим електрофізичним, конструктивним та експлуатаційним характеристикам тонкоплівкових пасивних елементів, у порівнянні з товстоплівковими, при створенні мікрозбірок РЕЗ з підвищеними вимогами до надійності, стабільності, густини компоновки, швидкодії, точності, масогабаритних показників - перевагу віддають тонкоплівковій технології, що відображається в стабільному щорічному прирості продажу гібридних тонкоплівкових МЗБ РЕЗ на світовому ринку в 10-16 відсотків.

Подальший розвиток та розширення області застосування гібридних тонкоплівкових МЗБ РЕЗ ставить на передній план наукових досліджень проблему підвищення та забезпечення стабільності їх характеристик, зокрема, функціональних параметрів пасивних елементів, як на етапі проектування, так і в умовах промислового виробництва. Існуючі методи, які базуються, в основному, на забезпеченні якості та стабільності пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі виробництва (збільшення кількості контрольованих параметрів, автоматизація контрольних операцій, підвищення технологічної дисципліни), стають настільки трудомісткими, що досягають майже 50 відсотків від загальної собівартості продукції.

Вихід із даного становища можливий лише у випадку перегляду та суттєвої зміни підходів до організації створення нової продукції, суть яких полягає в перенесенні центру ваги у вирі-

шенні проблеми забезпечення якості та надійності МЗБ РЕЗ з етапу виробництва на етап проектування та в розробці і переході до більш ефективних методів контролю і оперативного керування технологічними процесами їх виготовлення, що, зокрема, передбачає розробку нових підходів до вибору оптимального конструктивно-технологічного варіанту пасивної частини МЗБ РЕЗ, адекватних фізико-математичних та фізико-технологічних моделей її характеристик та нових методик контролю її параметрів.

Мета роботи і задачі досліджень. Мета роботи полягає в дослідженні та розробці методів забезпечення стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі проектування та виробництва, які дозволили б значно скоротити терміни створення нової продукції, підняти її якість та відсоток виходу придатних.

Згідно поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язуються наступні задачі:

- визначення вектору найбільш інформативних параметрів плівкових мікроструктур (ПМ) для оцінки стабільності їх характеристик на етапі проектування та виготовлення;

- експериментальне дослідження та розробка адекватних фізико-технологічних моделей визначених інформативних параметрів плівкових мікроструктур, з метою використання їх для оцінки стабільності характеристик та вибору оптимального конструктивно-технологічного варіанту (КТВ) пасивної частини МЗБ РЕЗ на ранніх етапах проектування;

- розробка структури та методології функціонування автоматизованої системи тестового контролю (АСТК) якості та стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ, а також нових методик тестового контролю параметрів ПМ;

- розробка структури та принципів функціонування автоматизованої системи наскрізного проектування (АСНП) гібридних тонкоплівкових МЗБ РЕЗ, а також окремих підсистем та програмних модулів, що входять до її складу.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених задач використовувались методи теорії складних систем, теорії імовірності та

математичної статистики, математичного програмування, комп'ютерного та математичного моделювання, теорії деформації твердого тіла, а також прийняття оптимальних рішень.

Нові наукові результати:

- розроблений новий метод забезпечення стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі проектування та виробництва, який дозволяє вибирати її оптимальний конструктивно-технологічний варіант і на відміну від інших комплексно враховує температурні та механічні впливи на функціональні параметри пасивних елементів, а також структурні характеристики плівкових шарів, які визначають їх стабільність в часі;

- на підставі експериментальних досліджень тензочутливості провідникових та резистивних матеріалів встановлено, що поздовжній коефіцієнт тензочутливості в діапазоні робочих товщин плівок на порядок вищий за поперечний, термостабілізаційний відпал в вакуумі приводить до зменшення його величини на 20-30%, залежність $\Delta R/R$ від деформації в області пружності має лінійний характер;

- вперше отримані співвідношення для розрахунку поздовжнього коефіцієнта тензочутливості тонкоплівкових резисторів (ТТР) та його температурної складової, поздовжньої тензочутливості ТКО ТТР, а також величини структурних механічних напружень в тонких плівках, які базуються на технологічних режимах осадження плівкових шарів та їх структурних характеристиках;

- розроблена нова методика розрахунку відносної наскрізної та об'ємної пористості тонкоплівкових конденсатів, яка враховує технологічні режими одержання плівок;

- розроблені модулі автоматизованого тестового контролю поздовжньої і поперечної тензочутливості ТТР та внутрішніх механічних напружень в плівкових мікроструктурах, використання яких в комплексі з існуючими модулями, дозволяє контролювати забезпечення стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі виробництва.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Метод забезпечення стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ, який базується на використанні вектору інформаційних параметрів плівкових мікроструктур, фізико-технологічних моделях їх розрахунку та виборі оптимального конструктивно-технологічного варіанту на ранніх етапах проектування.

2. Фізико-технологічна модель тензочутливості резистивних і провідникових мікроструктур, розроблені на її основі співвідношення для розрахунку поздовжнього коефіцієнта тензочутливості ТТР і поздовжньої тензочутливості ТКО ТТР та методика розрахунку величини механічних напружень в тонкоплівкових структурах.

3. Фізико-математична модель та методика розрахунку пористості тонкоплівкових вакуумних конденсатів, яка враховує технологічні режими одержання плівок.

4. Методи автоматизованого тестового контролю тензочутливості та величини внутрішніх механічних напруг в плівкових мікроструктурах, використання яких в комплексі з існуючими методами тестового контролю МЗБ РЕЗ, дає змогу контролювати забезпечення стабільності характеристик їх пасивної частини на етапі виробництва.

5. Структура та алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи тестового контролю тонкоплівкових МЗБ РЕЗ.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

- розроблено методики розрахунку поздовжньої тензочутливості та величини внутрішніх механічних напружень в плівкових мікроструктурах, які використовуються на етапі проектування та дозволяють прогнозувати фізико-механічні властивості пасивних елементів МЗБ РЕЗ та тонкоплівкових тензорезистивних датчиків;

- розроблено рекомендації по підвищенню стабільності ТТР в умовах зовнішніх механічних впливів, які застосовуються як на етапі конструкторського проектування, так і виробництва;

- розроблено методики розрахунку пористості та густини матеріалу тонкоплівкових вакуумних конденсатів, які дозволяють прогнозувати якість та стабільність характеристик пасивних еле-

ментів на етапі проектування МЗБ РЕЗ;

- розроблено та впроваджено модуль автоматизованого тестового контролю тензочутливості тонкопліткових резистивних елементів;

- розроблено метод автоматизованого визначення внутрішніх механічних напружень в плівкових мікроструктурах, який значно простіший за існуючі методи та дозволяє проводити як міжопераційний, так і кінцевий контроль величини механічних напружень в тонкопліткових елементах;

- розроблено програмний модуль прогнозування та оптимізації параметрів плівкових мікроструктур і вибору технології їх виготовлення, застосування якого в практиці проектування гібридних тонкопліткових МЗБ РЕЗ дає змогу значно покращити якість проектних рішень при розробці їх пасивної частини та зменшити об'єми стендових і натурних випробувань.

Реалізація та впровадження результатів роботи.

Дослідження виконувались на кафедрі "Конструювання і технологія виробництва радіоапаратури" Державного університету "Львівська політехніка" в рамках госпдоговірної та держбюджетної тематик у відповідності з цільовою науково-технічною програмою "КНП-2000" та спеціальними планами галузевих міністерств в 1990-1994 рр.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на Львівському об'єднанні радіотехнічної апаратури (ЛОРТА), а також використовуються в навчальному процесі при вивченні ряду дисциплін спеціальності 23.03 ДУ "Львівська політехніка". Акти, що підтверджують впровадження та економічну ефективність приводяться в дисертації.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми забезпечення високої надійності мікроелектронної апаратури" (м. Запоріжжя, 1990 р.); Науково-технічній конференції "Методи и средства оценки и повышения надежности приборов, устройств и систем" (м. Пенза,

1992 р.); Науково-технічній конференції "Физические основы деградации и надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем" (Нижній Новгород-Астрахань, 1992 р.); Науково-технічній конференції "Досвід розробки і застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці" (м. Львів, 1993 р.); IV Міжнародній конференції по фізиці і технології тонких плівок (м. Івано-Франківськ, 1993 р.); Науково-технічній конференції "Машинное моделирование и обеспечение надежности электронных устройств" (м. Бердянськ, 1993 р.); I Українській конференції з автоматичного керування "Автоматика-94" (м. Київ, 1994 р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів" (м. Львів, 1994 р.).

Публікації. Основні положення та результати роботи відображені в 14 друкованих роботах та використовувались в 3 науково-технічних звітах.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, заключення, списку використаної літератури (175 назв) та додатку. Основний зміст роботи викладений на 165 сторінках друкованого тексту, ілюстрованого 55 рисунками і 9 таблицями.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтовується актуальність проблеми, мета і основні задачі досліджень, сформульовані нові наукові результати та наукові положення, що виносяться на захист, вказана практична цінність та реалізація результатів проведених досліджень.

В першому розділі проводиться аналіз проблеми забезпечення стабільності характеристик МЗБ РЕЗ.

Розглядаються питання стабільності характеристик як МЗБ в цілому, так і окремих їх конструктивів. Показано, що визначальну роль в стабільності МЗБ відіграє стабільність характеристик та якість виготовлення їх пасивної частини.

Аналізується вплив механічних напружень, адгезійної взаємодії, температури, структури та дефектності плівкових шарів, масопереносу, іонізуючого випромінювання та інших факторів на стабільність характеристик пасивної частини МЗБ. Для аналізу впливу цих факторів запропоновано використовувати схему: природа, механізми і причини виникнення факторів - явища, які ними породжуються (з точки зору стабільності характеристик пасивних елементів) - кількісна характеристика явища - вплив властивостей матеріалів, конструкції та технологічних умов на величину кількісної характеристики явища.

На основі проведених теоретичних досліджень визначено загальну множину параметрів ПМ, які несуть інформацію про стабільність характеристик пасивної частини тонкоплівкових МЗБ.

Розглянуто технологічні аспекти забезпечення стабільності характеристик пасивної частини тонкоплівкових МЗБ та досліджено вплив матеріалів підкладок, резистивних і провідникових шарів на властивості створюваних структур.

Проаналізовано проблеми контролю та ідентифікації параметрів плівкових мікроструктур, де показано необхідність розробки нових ефективних методів контролю характеристик ПМ.

Зроблено обґрунтування напрямків та підходів до вирішення проблеми забезпечення стабільності характеристик пасивної частини тонкоплівкових МЗБ. РЕЗ, основними з яких є:

- визначення вектору інформативних параметрів плівкових мікроструктур для оцінки стабільності їх характеристик;
- розробка фізико-технологічних моделей інформативних параметрів ПМ;
- розробка методики вибору оптимального конструктивно-технологічного варіанту пасивної частини МЗБ;
- розробка методик контролю інформативних параметрів;
- розробка автоматизованої системи тестового контролю пасивної частини МЗБ.

В другому розділі розглядаються питання вибору множини найбільш інформативних параметрів ПМ, придатних для забезпечення

стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі проектування та виробництва; побудови моделей розрахунку інформативних параметрів та розробки методики вибору оптимального конструктивно-технологічного варіанту пасивної частини МЗБ.

На основі оцінки емпіричного взаємозв'язку інформативних параметрів ПМ із коефіцієнтами стабільності та виходу придатних по пасивній частині підкладок, побудовано вектор найбільш інформативних характеристик ПМ:

$$\bar{Y} = (K, \alpha_s, \beta_s, K_{TKO}, \sigma_s, s, s_v, m_x, R_n, t_p),$$

де K - коефіцієнт тензочутливості; α_s - температурний коефіцієнт опору (ТКО); β_s - температурний коефіцієнт тензочутливості; K_{TKO} - коефіцієнт тензочутливості ТКО; σ_s - внутрішні механічні напруження; s - відносна наскрізна пористість; s_v - відносна об'ємна пористість; m_x - відносна величина міжкристалітних прошарків; R_n - перехідний контактний опір; t_p - середній час до руйнування внаслідок електроміграції.

Теоретичні та експериментальні дослідження, які проведені в роботі були спрямовані на розробку адекватних фізико-технологічних та фізико-математичних моделей розрахунку K , β_s , K_{TKO} , σ_s , s і s_v .

При розробці фізико-технологічної моделі тензочутливості ПМ за основу була взята структурна модель тонкої плівки, в якій кристаліти представляються у вигляді прямокутних паралелепіпедів, розділених міжкристалітними прошарками. Поверхневий опір плівки за даною моделлю описується співвідношенням

$$\rho_s = \rho_i + \rho_a = \rho_i^* (1 + \alpha T) + \rho_a^* m_x \exp \left[\frac{0,957 W_k}{k T} (\ln(m_x^2 + 1))^2 \right], \quad (1)$$

де ρ_i^* , α - питомий опір і ТКО матеріалу плівки в масивному стані, відповідно; T - температура; ρ_a^* - поверхневий опір плівки товщиною 1 мкм;

$$m_x = \frac{b}{L} = \frac{1}{\sqrt{\exp(0,916(d/d_k)^n) - 1}}, \quad (2)$$

b - усереднена товщина міжкристалітних прошарків; L - усереднений

лінійний розмір кристалітів; d - товщина плівки; d_k - критична товщина плівки; n - коефіцієнт; W_k - енергія активації при d_k ; k - постійна Больцмана.

Оскільки проведені експериментальні дослідження показали, що поздовжній коефіцієнт тензочутливості ПМ на порядок вищий за поперечний, то в роботі було розроблено модель лише для поздовжньої тензочутливості тонких плівок. За даною моделлю для поздовжнього коефіцієнта тензочутливості K , його температурної складової β_n та поздовжнього коефіцієнта тензочутливості ТКО K_{TKO} було отримано наступні вирази:

$$K = 1 + \mu_s + \mu_l + \frac{\rho_l}{\rho_s} \eta_l + \frac{\rho_a}{\rho_s} \left[1 + \frac{1 - 0,9 W_k}{kT} \left[\frac{d}{d_k} \right]^{\frac{3}{2}n} (1 - \exp(-0,916 \left[\frac{d}{d_k} \right]^n)) \right], \quad (3)$$

$$\beta_n = \frac{1}{1 + \mu_s + \mu_l + \eta_s} \left\{ \eta_l \frac{\rho_l}{\rho_s} (\alpha_l - \alpha_s) + \eta_a \frac{\rho_a}{\rho_s} (\alpha_a - \alpha_s) - \frac{\rho_a}{\rho_s} (\eta_a - 1) \right\}, \quad (4)$$

$$K_{TKO} = \frac{\alpha_l \rho_l (\eta_l - \eta_s) + \alpha_a \rho_a (\eta_a - \eta_s) - \frac{\rho_a}{\rho_s} (\eta_a - 1)}{\rho_l \alpha_l + \rho_a \alpha_a}, \quad (5)$$

де μ_s , μ_l - коефіцієнт Пуасона матеріалу підкладки і плівки, відповідно; η_l - коефіцієнт еластоопору матеріалу плівки в масивному стані; α_s - ТКО плівки;

$$\alpha_s = - \frac{W_k}{kT^2} \left[\frac{d}{d_k} \right]^{\frac{n}{2}}; \quad \eta_a = 1 + \frac{1 - 0,9 W_k}{kT} \left[\frac{d}{d_k} \right]^{\frac{3}{2}n} (1 - \exp(-0,916 \left[\frac{d}{d_k} \right]^n)). \quad (6)$$

Адекватність співвідношень (3), (4) і (5) перевірялась на тонких плівках Ni, РС-4206 та К-50С. Максимальна розбіжність між розрахунковими і експериментальними залежностями $K = f(d)$, $\beta_n = f(d)$ і $K_{TKO} = f(d)$ не перевищувала 20 відсотків.

При розробці моделі внутрішніх механічних напружень в ПМ за основу була взята модель, за якою σ_s представляються у вигляді суми термічної σ_T і структурної σ_a складових.

Для розрахунку σ_T в більшості випадків користуються формулою

$$\sigma_T = \frac{E_f}{1 - \mu_f} (\alpha_{p1} - \alpha_{p_s}) (T_n - T), \quad (7)$$

де E_f , α_{p1} - модуль Юнга і ТКЛР плівки, відповідно; α_{p_s} - ТКЛР

підкладки; T_n , T - температура підкладки під час осадження плівки і експлуатації, відповідно.

Для σ_c в роботі, шляхом аналізу та моделювання експериментальних даних, було отримано наступне співвідношення

$$\sigma_c = \frac{E_f}{1-\mu_f} \sigma_k \epsilon_{\max}, \quad (8)$$

де ϵ_{\max} - коефіцієнт, який чисельно рівний мікродеформації тонкої плівки при $d = d_k$.

Порівняння розрахункових та експериментальних залежностей $\sigma_c = f(d)$ для РС-4206, СТ-3812 та Ag показало, що максимальна розбіжність між ними не перевищує 15 відсотків.

Модель пористості тонкоплівкових вакуумних конденсатів розроблялась на основі наступних допущень:

- плівка осідає на підкладку плоскопаралельними шарами;
- кожна молекула належить лише одному шару;
- розташування молекул в шарі рівномірне;
- пори, що утворюються в плівці, представляють собою вертикальні отвори різної глибини.

Застосування рівняння Аврамї-Колмогорова, модифікованого для двовірного випадку, моделі росту тонкої плівки в вакуумі та центральної граничної теореми теорії імовірності дало змогу отримати наступні вирази для розрахунку відносної наскрізної s і об'ємної s_v пористості та густини матеріалу γ_c вакуумних конденсатів:

$$s = \frac{1}{\sqrt{2\pi h d e^{-0.2355 \left(\frac{d}{d_k}\right)^2}}} \int_0^{gd} \exp \left[\frac{-(x-d)^2}{2h d e^{-0.2355 \left(\frac{d}{d_k}\right)^2}} \right] dx, \quad (9)$$

$$s_v = \int_0^r \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi h d e^{-0.2355 \left(\frac{d}{d_k}\right)^2}}} \int_0^{gd} \exp \left[\frac{-(x-d)^2}{2h d e^{-0.2355 \left(\frac{d}{d_k}\right)^2}} \right] dx \right] d\gamma, \quad (10)$$

$$\gamma_c = (1-s_v) \gamma_m. \quad (11)$$

де h - діаметр молекул осаджуваної речовини.

Адекватність розробленої моделі пористості тонких плівок

перевірялась шляхом порівняння розрахункових та експериментальних даних по густині матеріалу тонких плівок Al і Ge. В області товщин більших за 500 Å максимальна розбіжність між експериментальною кривою $\gamma_e = f(d)$ і розрахованою по (11) не перевищувала 20 відсотків.

Експериментальні дослідження впливу температури відпалу в вакуумі на тензочутливість ПМ показали, що за рахунок даної операції можна досягти зменшення поздовжнього коефіцієнта тензочутливості на 20-30 відсотків.

В роботі також показано, що стабільність опору ТПР в умовах зовнішніх механічних впливів в значній мірі залежить від їх розміщення на підкладці та матеріалу, товщини і технологічних режимів виготовлення резистивного шару.

Суть розробленої методики вибору оптимального конструктивно-технологічного варіанту пасивної частини МЗБ РЕЗ полягає в виборі такої комбінації провідникова плівка - резистивна плівка - підкладка та технології виготовлення плівкових шарів, які забезпечують мінімальне відхилення ρ_e та ТКО від заданого в ТЗ, з врахуванням умов експлуатації, мінімальний перехідний контактний опір R_n між провідниковим та резистивним шаром, мінімальну величину механічних напружень σ_n в шарах, мінімальну відносну наскрізну s та об'ємну s_v пористість ПМ.

Задача знаходження оптимального конструктивно-технологічного варіанту пасивної частини МЗБ формалізована у вигляді задачі нелінійного програмування

$$Q(X) \rightarrow \min_{X \in X_d} \rightarrow X^*, \quad (12)$$

де Q - аддитивний критерій оптимальності; X - вектор параметрів, що варіюються;

і розв'язується градієнтними методами.

В третьому розділі розглядаються питання контролю інформативних параметрів ПМ на етапі автоматизованого виробництва.

Приведено опис розробленого модуля автоматизованого тестового контролю коефіцієнтів поздовжньої та поперечної тензочутли-

вості ПМ, суть якого заключається у використанні оригінальної тестової схеми, що містить два резистори типу меандр, вимірвального пристрою, до якого входить балка рівного опору, тензодавач та електропривід і системи керування, яка складається з 3 АЦП, 1 ЦАП, персональної ЕОМ та програмного забезпечення.

Для визначення величини β_* та $K_{\text{тк}0}$ на етапі виробництва запропоновано методику, яка полягає в розрахунку цих коефіцієнтів за допомогою формул (4) та (5) базуючись на отриманих експериментально значеннях ρ_* , α_* та K . Порівняння експериментальних залежностей $\beta_*=f(d)$ і $K_{\text{тк}0}=f(d)$ та розрахованих на основі даної методики показало, що максимальна розбіжність між ними не перевищує 5 відсотків.

Розроблено та проведено атестацію методу визначення внутрішніх механічних напружень в ПМ, в основу якого покладено відому формулу Стоуні та спосіб вимірювання прогину підкладки за допомогою тензодавача на нитковидному кристалі кремнію, який перед осадженням плівки приклеюється до її неробочої сторони.

Для контролю забезпечення стабільності характеристик та якості пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі виробництва розроблено структуру та методологію функціонування автоматизованої системи тестового контролю, до складу якої входять:

- підсистема синтезу тестових схем (ТС);
- підсистема контролю ТС;
- підсистема статистичної обробки результатів тестового контролю;
- підсистема аналізу технологічної відтворюваності та стійкості технологічних процесів;
- база даних (БД) і база знань (БЗ);
- система управління БД і БЗ;
- диспетчер.

Визначено набір модулів автоматизованого тестового контролю необхідних для аналізу технологічної відтворюваності і стійкості ПП та оцінки стабільності пасивної частини МЗБ.

В четвертому розділі проводиться аналіз сучасного стану ав-

томатизації проектування гібридних тонкоплівкових МЗБ РЕЗ та розглядаються питання програмної реалізації отриманих результатів і їх місця в системі проектування МЗБ.

Показано, що найбільш перспективним напрямком розвитку автоматизації проектування МЗБ є інтеграція САПР і АСПП в автоматизовану систему наскрізного проектування МЗБ РЕЗ.

Розроблено структуру та основні функції АСПП, а також окремих підсистем, що входять до її складу. Показано, що в інтегрованої системи проектування МЗБ необхідно включити:

- підсистему аналізу технічного завдання;
- підсистему схемотехнічного проектування;
- підсистему конструкторського проектування;
- підсистему надійнісного проектування;
- підсистему технологічної підготовки виробництва;
- підсистему виготовлення графічної та текстової документації;
- базу даних і базу знань;
- систему управління БД і БЗ;
- диспетчер.

Описано програмний модуль прогнозування параметрів та вибору оптимального конструктивно-технологічного варіанту пасивної частини МЗБ, який побудований на основі розроблених в роботі методик та моделей і може використовуватись як в складі АСПП, так і автономно. За його допомогою можна: проводити розрахунок параметрів ПМ; знаходити оптимальний КТВ пасивної частини; моделювати процес осадження плівки.

Розроблено структуру та методологію функціонування підсистеми технологічної підготовки виробництва МЗБ РЕЗ, а також її бази знань, для якої використано фреймовий спосіб представлення технологічної інформації.

В додатках приводяться результати застосування розроблених методик для проектування МЗБ РЕЗ, розрахунки, які доповнюють роботу та документи, що підтверджують впровадження її основних положень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Виконана робота є завершеним науковим дослідженням, в якій розроблені методики проектування та контролю параметрів пасивної частини МЗБ РЕЗ, які дозволяють значно скоротити терміни розробки та освоєння випуску нової продукції, врахувати вплив умов експлуатації, підняти якість та стабільність характеристик пасивних елементів та відсоток виходу придатних виробів.

Основні результати дисертаційної роботи можна звести до наступного:

1. На основі аналізу конструкторських, технологічних та експлуатаційних факторів, які впливають на надійність, довговічність та стабільність характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ, визначено вектор інформативних параметрів плівкових мікроструктур за допомогою якого можна:

- забезпечувати стабільність характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі проектування;

- контролювати забезпечення стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ на етапі виробництва.

2. Розроблено новий метод забезпечення стабільності характеристик пасивної частини МЗБ РЕЗ, який базується на використанні вектору інформативних параметрів ПМ, фізико-технологічних моделях їх розрахунку та виборі оптимального КТВ на ранніх етапах проектування.

3. На підставі експериментальних досліджень тензочутливості провідникових та резистивних матеріалів встановлено, що позовжній коефіцієнт тензочутливості в діапазоні робочих товщин плівок на порядок вищий за поперечний, термостабілізаційний відпал в вакуумі приводить до зменшення його величини на 20-30%, залежність $\Delta R/R$ від деформації в області пружності має лінійний характер.

4. Розроблено фізико-технологічну модель тензочутливості резистивних і провідникових мікроструктур. Вперше отримано співвідношення для розрахунку позовжнього коефіцієнта тензочутли-

вості ТПР та його температурної складової, поздовжньої тензочутливості ТКО ТПР, а також величини структурних механічних напружень в тонких плівках.

5. Розроблено нову методику розрахунку відносної наскрізної та об'ємної пористості тонкоплівкових вакуумних конденсатів, яка враховує технологічні режими одержання плівок.

6. Розроблено рекомендації по підвищенню стабільності ТПР в умовах зовнішніх механічних впливів, які застосовуються як на етапі конструкторського проектування, так і виробництва;

7. Розроблено і впроваджено модуль автоматизованого тестового контролю поздовжньої та поперечної тензочутливості ТПР за допомогою оригінальної тестової схеми, який дозволяє на етапі виробництва визначати механічну стабільність ТПР і значно зменшити трудомісткість вимірів.

8. Запропоновано метод автоматизованого визначення внутрішніх механічних напружень в ПМ, який базується на використанні тензорезистивного елемента на основі нитковидного кристалу кремнію, що значно спрощує проведення вимірів та зменшує їх трудомісткість.

9. Розроблено структуру та методологію функціонування АСТК гібридних тонкоплівкових МЗБ РЕЗ, яка дозволяє на етапі виробництва аналізувати технологічну відтворюваність і стійкість технологічних процесів та оцінювати надійність виробів.

10. Запропоновано структуру та визначено основні функції автоматизованої системи наскрізного проектування гібридних тонкоплівкових МЗБ РЕЗ, побудованої на основі інтеграції САПР і АСТПВ, чим показано перспективи та напрямки розвитку автоматизації проектування в даній галузі.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Смердов А. А., Павлыш В. А., Иванов О. Д. Прогнозирование тензочувствительности тонкопленочных структур // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. - 1992.

- Вып. 9. - С. 39-43.

2. Павлыш В.А., Корж Р.О., Иванов О.Д., Гордиевич А.П. Система сквозного проектирования тонкопленочных гибридных микрочипов//Техника, экономика. Сер. Автоматизация проектирования/ Всероссийский научно-исследовательский институт мехотраслевой информации. - 1994. - Вып. 2-3. - С. 106-112.

3. Павлыш В.А., Иванов О.Д. Система прогнозування електрофізичних, механічних та структурних характеристик тонких плівок//Матеріали Міжнарод. наук.-тех. конф. "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів". - Львів, 1994. - С. 96-98.

4. Павлыш В.А., Иванов О.Д., Корж Р.О. Аналіз впливу механічних напружень на ТКО тонких плівок//Матеріали Міжнарод. наук.-тех. конф. "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів". - Львів, 1994. - С. 153-155.

5. Павлыш В.А., Иванов О.Д., Корж Р.О. Моделирование об'ємної пористості та питомої густини матеріалу вакуумних конденсатів//Матеріали Міжнарод. наук.-тех. конф. "Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів та підготовки інженерних кадрів". - Львів, 1994. - С. 32-34.

6. Павлыш В.А., Корж Р.О., Иванов О.Д. Исследование тензорезистивного эффекта в тонкопленочных структурах для прогнозирования и контроля их свойств//Тез. докл. науч.-тех. конф. "Физические основы деградации и надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем". - Н.Новгород - Астрахань, 1992. - С. 102-103.

7. Павлыш В.А., Иванов О.Д., Корж Р.О. Разработка методики обеспечения надежности тонкопленочных резистивных матриц при воздействии механических напряжений//Тез. докл. всесоюз. науч.-тех. конф. "Проблемы обеспечения высокой надежности микрорезистивной аппаратуры". - Запорожье, 1990. - С. 112.

8. Павлыш В.А., Корж Р.О., Иванов О.Д. Дослідження характеристик стабільності резистивних структур в умовах зовнішніх

впливів//Тез. доп. IV Міжнародної конф. по фізиці і технології тонких плівок. - Івано-Франківськ, 1993. - С. 214.

9. Павлиш В. А., Корж Р. О., Іванів О. Д. Розробка автоматизованої системи діагностики для оцінки механічної стабільності тонкоплівкових резистивних структур//Тез. доп. наук.-тех. конф. "Досвід розробки і застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці". - Львів, 1993. - С. 27.

10. Павльш В. А., Корж Р. О., Іванів О. Д. Методика исследования стабильности ГИС в условиях механических деформаций// Тез. докл. науч.-тех. конф. "Методы и средства оценки и повышения надежности приборов, устройств и систем". - Пенза, 1992. - С. 49.

11. Павльш В. А., Гордиевич А. П., Корж Р. О., Іванів О. Д. Опыт разработки САПР ТП для ПЭВМ//Тез. докл. науч.-тех. конф. "Машинное моделирование и обеспечение надежности электронных устройств". - Бердянск, 1993. - С. 28.

12. Павльш В. А., Корж Р. О., Іванів О. Д. Расчет пористости тонких пленок, полученных ионно-плазменным распылением//Тез. докл. науч.-тех. конф. "Машинное моделирование и обеспечение надежности электронных устройств". - Бердянск, 1993. - С. 127.

13. Павлиш В. А., Гордієвич А. П., Іванів О. Д., Корж Р. О. Автоматизована система прогнозування структурних та електричних характеристик керметних тонкоплівкових шарів//Тез. доп. 1-ї Української конференції з автоматичного керування "Автоматика-94". - Київ, 1994. - С. 244.

14. Павлиш В. А., Корж Р. О., Іванів О. Д. Структурна схема системи автоматизованого проектування тонкоплівкових гібридних мікросхем//Тез. доп. наук.-тех. конф. "Досвід розробки і застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці". - Львів, 1993. - С. 50.

АНОТАЦІЯ

Ivaniv O.D. The guarantee of REM microcircuitries passive part characteristics stability in automation manufacturing conditions. The research and the thesis for Candidate of Technical Science degree of 05.12.13 - Radio technique and communication device speciality. State University "Lvivska polytechnica", Lviv 1994.

14 scientific theses are being presented, which contain theoretical and experimental investigations on the development of the guarantee of REM microcircuitries passive part characteristics stability methods on the stage of design and manufacturing using the proposed models, techniques and algorithms of complex modelling, optimization and control of informative parameters of the film microstructures.

The results of the research have been implemented at LORTA (Lviv).

Іванів О.Д. Забезпечення стабільності характеристик пасивної частини мікрозбірок РЕЗ в умовах автоматизованого виробництва.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 - Пристрої радіотехніки та засобів зв'язку. Державний університет "Львівська політехніка", Львів, 1995 р. Захищається 14 наукових праць, які містять теоретичні та експериментальні дослідження, присвячені розробці методів забезпечення стабільності характеристик пасивної частини тонкоплівкових МЗБ РЕЗ на етапі проектування та виробництва з використанням запропонованих моделей, методик та алгоритмів комплексного розрахунку, оптимізації та контролю інформативних параметрів плівкових мікроструктур.

Здійснено промислове впровадження результатів роботи на підприємстві ЛОРТА м. Львова.

Ключові слова: мікрозбірка, фізико-технологічна модель, стабільність, конструктивно-технологічний варіант, тонка плівка.

Підписано до друку 15.02.95 Формат паперу 60x84 1/16
Папір газетний. Друк офсетний. Безкоштовно.
Друкарських листів І. Зам. 94. Тираж 100.

ІТН "Агрософт" м. Львів, вул. 700-річчя Львова, 63а

112060

Безкоштовно

АВ 32.009
АВ 32.009