

Кравченко О. В.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ДИСКРЕТНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛУ

В статті проведено дослідження причин деградації мікросхем, що виготовлені з напівпровідників для забезпечення надійності дискретних пристроїв комп'ютерних систем. Описано алгоритм прогнозування надійності дискретних пристроїв та наведено структуру інтелектуальної підсистеми прогнозування надійності дискретних пристроїв.

Ключові слова: надійність, деградація, дискретний пристрій, композитний матеріал, алгоритм, прогнозування.

1. Вступ

Відмова в роботі мікросхеми може бути визвана як програмними помилками, так і фізичними процесами [1, 2]. Мікросхема, з часом може «деградувати», особливо на завищених частотах і напругах. Під поняттям «деградація» мікросхеми розуміють відмову мікросхеми з причини нестабільності зарядів: вплив статичної електрики, міграція електронів через високу провідність оксидів, тунельний ефект і т. ін. Фізичні властивості матеріалів мікросхеми та технології її виробництва з великою ймовірністю визначають її надійність [3]. Недосконалість технології призводить до збільшення одних відмов в порівнянні з іншими. Тому, недосконалість виробництва мікросхем створює симетричний канал виникнення помилок: тобто, при одній технології виробництва мікросхем відмов, що визиваються обривом більше, ніж відмов, визваних коротким замиканням, а при іншій технології виробництва бачимо відмінний від описаного результат.

Поняття надійності дискретних пристроїв комп'ютерних систем вимагає як застосування існуючих методів досліджень, так і розробки нових з можливістю прогнозування поведінки матеріалів виробництва мікросхем.

Попереднє прогнозування поведінки матеріалів дискретних пристроїв комп'ютерних систем дозволить оцінювати надійність існуючих або мати апріорні вимоги до розроблюваних пристроїв.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Досить часто явище деградації мікросхем, що виготовлені з напівпровідників, пов'язують з процесом дифузії: масопереносом частин матеріалу напівпровідника (на його поверхні, по межах розділу фаз і в контактах). Саме цей процес, який може прискорюватися залежно від наявності дислокацій, внутрішніх механічних напруг і таких зовнішніх факторів, як тиск, температура, електричне поле, радіація та ін., обумовлює деградацію електричних характеристик приладу, повзучість, старіння, корозію матеріалів напівпровідникової структури та контактів.

Специфіка механізмів деградації найбільш чітко проявляється в залежності від методу створення випрямлення контакту. Так, експериментальні дослідження діодів з бар'єром Шоттки на основі арсеніду галію і кремнію в різних режимах роботи показали [4], що основним фізичним процесом, що обумовлює деградацію параметрів, є інтердифузія на межах розділу метал-напівпровідник і метал-метал. Взаємна дифузія призводить до утворення інтерметалевих з'єднань на межі метал-напівпровідник і до генерації глибоких центрів в області просторового заряду [5], погіршення провальної напруги бар'єру Шоттки [6–8].

Для діодів з бар'єром Шоттки поряд із взаємною дифузією компонентів важливим механізмом деградації є релаксація внутрішніх механічних напруг.

Вплив пластичної деформації на характеристики напівпровідникових приладів обумовлено неоднорідною зміною концентрації носіїв, їх часу життя та інших властивостей матеріалу, з якого виготовлений прилад. Кореляція надлишкових зворотних струмів напівпровідникових діодів з щільністю дислокацій в базі відзначається в роботі [6]. Пов'язані з дислокаціями генераційно-рекомбінаційні центри, зміни зонної структури напівпровідника, обумовлені деформаційним полем дислокацій, можуть проявитися в появі тунельних струмів. Авторами роботи [9] показано, що вельми ефективно здійснюється генерація дислокацій в процесі термокомпресії внаслідок градієнта температур та локальної пластичної деформації. Тому, при розробці методу прогнозування надійності дискретного пристрою необхідно враховувати як технологію виробництва деталі, так і властивості матеріалу.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — матеріали дискретних пристроїв комп'ютерних систем.

Метою проведення дослідження є аналіз причин деградації мікросхем, що виготовлені з напівпровідників та забезпечення надійності дискретних пристроїв комп'ютерних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- 1) виконати аналіз причин деградації мікросхем;
- 2) виконати класифікацію методів оцінки надійності;

3) описати модель прогнозування надійності дискретних пристроїв.

4. Класифікація методів оцінки надійності сучасних дискретних пристроїв

Враховуючи технологічні складності у відновленні логічних елементів при виникненні дефектів, особливе місце займає задача тестування та ремонту елементів дискретних пристроїв комп'ютерних систем. За [10] існує два основних рішення даної задачі:

- дублювання логічних елементів або областей кристалів, що призводить до подвоєння апаратної реалізації функціональності;
- використання генетичних алгоритмів для діагностування та відновлення працездатності на основі автономної конфігурації FPGA без використання зовнішніх пристроїв управління. Ідея ремонту цифрової структури призводить до виключення місця дефекту при повторному використанні процедури Place and Route після встановлення діагнозу.

За технологією діагностування блоків FPGA в кристал мікросхеми має вбудовуватися інфраструктура граничного сканування, що має розв'язувати задачі сервісного обслуговування SIP-функціонування. За цією технологією наведено модель процесу діагностування F-IP (рис. 1).

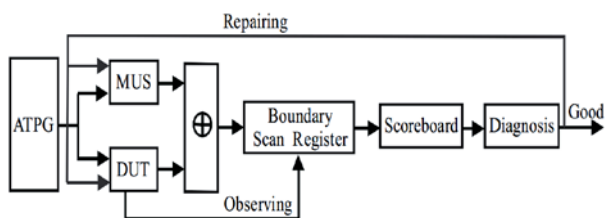


Рис. 1. Модель процесу діагностування F-IP [10]

Розв'язання задачі діагностування можна проводити засобами алгебро- та векторно-логічним методами. Даний математичний апарат дозволяє виконати діагностування дефектних компонентів на основі використання таблиці несправностей.

5. Алгоритм прогнозування надійності дискретних пристроїв

Якщо залишити осторонь мікроелектроніку, то наймасовішими нанопродуктами виявляються різного роду сплави, покриття та композитні матеріали, які набувають особливих властивостей завдяки своїй мікроструктурі. Аморфні і нанодисперсні стани багатьох металів кардинально відрізняються за своїми характеристиками від їх кристалічних форм. При цьому в одному матеріалі інколи вдається поєднати вкрай суперечливі механічні властивості: одночасно збільшити твердість і пластичність. Це розширює перспективи застосування різного роду композитів, коли у відносно м'яку, наприклад, хромову, матрицю вводиться вкрай твердий матеріал карбід вольфраму. В цьому випадку виходить всім давно відомий твердий сплав победіт. Однак, якщо півстоліття тому його робили, використовуючи частинки карбіду розміром з десятки мікрон, то сьогодні використовують порошки розміром істотно менше мікрона. Завдяки цьому він не тільки стає твердішим, але і більш гладко ріже сталь.

Всі матеріали, що застосовуються при створенні інтегральних мікросхем, повинні бути сумісними один з одним, щоб не приводили до окислення або паразитної дифузії з одного матеріалу в інший. Одним з найкращих матеріалів у виробництві мікросхем став алюміній. Його легко наносити на поверхню кремнію або двоокису кремнію, бо він з ними не взаємодіє. Тому технологія виробництва мікросхем ще недавно базувалася на перемішуванні плівки з алюмінію з іншими матеріалами. Але основним недоліком алюмінію є його мала електропровідність.

Дослідники з Массачусетського інституту вивели універсальний закон (формулу), який пов'яже воедино надпровідні властивості матеріалу, його температуру і габаритні розміри (товщину) для пояснення теорії надпровідності [11].

В результаті експерименту з тонкими плівками ніобію та інших матеріалів вони виявили, що практично до всіх надпровідників можна застосувати одну універсальну формулу: що товщина надпровідника (D), помножена на критичну температуру (T_c), при якій виявляються надпровідні властивості, і поділена на електричний опір матеріалу (R_c) становить деяку константу. Це значення унікальне для кожного матеріалу і знаючи його можна обчислити всі необхідні величини при проектуванні електронних пристроїв. Наприклад, якщо відомий сам надпровідник, то відома його критична температура і опір. Значить можна легко знайти товщину матеріалу, при якій максимально будуть проявлятися його надпровідні властивості [11].

Алгоритм прогнозування надійності дискретних пристроїв будемо будувати на основі моделі композитних матеріалів [3], що відображає поведінку матеріалу дискретного пристрою з врахуванням завершених фізичних процесів в самому матеріалі. Збої в роботі приладу за рахунок неправильного проходження струму в $n-p-n$ переходах викликати відмови в роботі пристроїв та зменшуватиме їх надійність.

Функція надійності дискретних пристроїв S залежить від значення надійності пристрою S_b , надане виробником, константа надпровідності кристалів пристрою p , функції характеристики матеріалів пристрою U та часу відповіді пристрою на тестове завдання — t . Всі вищезазначені параметри є нечіткими.

$$S_i = f(S_i, p, U, t). \quad (1)$$

Значення функції U є усередненою за значеннями $u_n(x, y)$ рівняння (2):

$$u_n(x, y) = \sum_i a_i \phi_i(x, y), \quad (2)$$

де коефіцієнти a_i знаходяться із системи рівнянь виду:

$$[u_n, \phi_i] = (f, \phi_i) + \int_{\partial\Omega} g \phi_i d\omega, \quad i = \overline{1, N}, \quad (6)$$

де N — число, яке означатиме кількість вершин трикутників триангуляції для варіаційно-різницевого методу, $\partial\Omega$ — границя області Ω , g, ω — функції з простору розв'язків задачі $W_2^2(\Omega)$. Базисні функції $\phi_i(x, y)$ автор даної роботи побудував за рис. 1 роботи [3], причому $\phi_i(x, y) = \phi_{ij}(x)$, де $x = (x_{1i}, x_{2j})$.

Алгоритм прогнозування надійності дискретних пристроїв зображено за допомогою схеми на рис. 2.

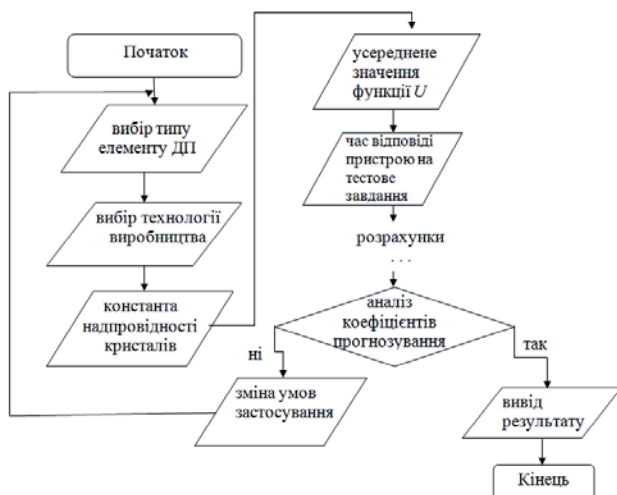


Рис. 2. Алгоритм прогнозування надійності дискретних пристроїв

За даним алгоритмом зображено структуру інтелектуальної підсистеми прогнозування надійності дискретних пристроїв (рис. 3).

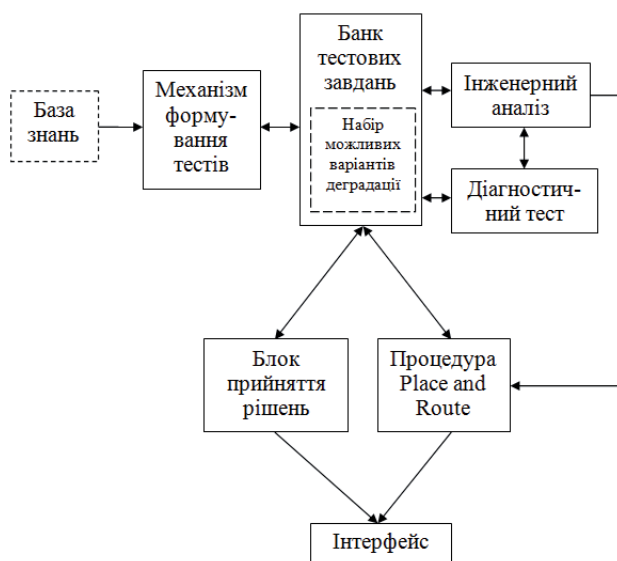


Рис. 3. Структура інтелектуальної підсистеми прогнозування надійності дискретних пристроїв

База знань та банк тестових завдань наповнюються за рахунок значень функція надійності дискретних пристроїв S та її складових. Прогноз надійності пристрою формується блоком прийняття рішень та паралельно можлива команда «Процедура Place and Route», яка дозволить виправити несправності.

6. Висновки

Відповідно до поставленої мети нами було проведено дослідження причин деградації мікросхем, що виготовлені з напівпровідників для забезпечення надійності дискретних пристроїв комп'ютерних систем.

В процесі дослідження:

- 1) виконано аналіз причин деградації мікросхем;
- 2) проведено класифікацію методів оцінки надійності;
- 3) описано алгоритм прогнозування надійності дискретних пристроїв;
- 4) наведено структуру інтелектуальної підсистеми прогнозування надійності дискретних пристроїв.

Проблема прогнозування надійності дискретних пристроїв пов'язується з проблемою створення матеріалів з наперед заданими властивостями: міцністю, пластичністю, стійкістю до високих та низьких температур, електропровідністю, що вимагає створення композитних матеріалів. Композити при вдалому технологічному створенні можуть витримувати високий тиск та різкі перепади температур. Але для створених матеріалів постає питання про поведінку різних компонент композитної системи при різних механічних навантаженнях. Тому в подальшому необхідно проводити дослідження фізичної складової дискретних пристроїв для більш точного прогнозування поведінки матеріалів, що допоможе уникнути певних причин деградації.

Література

1. Готра, З. Ю. Контроль качества и надежность микросхем [Текст]: учеб. пособие / З. Ю. Готра, И. М. Николаев. — М.: Радио и связь, 1978. — 168 с.
2. Погребинский, С. Б. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ [Текст] / С. Б. Погребинский, В. П. Стрельников. — М.: Радио и связь, 1988. — 165 с.
3. Златкін, А. А. Аналіз причин деградації матеріалів дискретних пристроїв комп'ютерних систем [Текст] / А. А. Златкін, О. В. Кравченко, О. С. Вовчановський // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 5/3(19). — С. 37–41. doi:10.15587/2312-8372.2014.27934
4. Конакова, Р. В. Прогнозирование надежности полупроводниковых лавинных диодов [Текст] / Р. В. Конакова, П. Кордош, Ю. А. Тхорик и др. — Киев: Наука думка, 1986. — 168 с.
5. Орешкин, П. Т. Барьерный слой как резонатор при поверхностно-барьерной неустойчивости [Текст] / П. Т. Орешкин, С. В. Рыжков // ФТП. — 1984. — Т. 18, № 6. — С. 1102–1105.
6. Baliga, V. J. Breakdown stability of gold, aluminum, and tungsten Schottky barriers on gallium arsenide [Text] / V. J. Baliga, R. Ehle, A. Sears, P. Campbell, W. Garwacki, W. Katz // IEEE Electron Device Letters. — 1982. — Vol. 3, № 7. — P. 177–179. doi:10.1109/edl.1982.25528
7. Dumas, J. M. Long term degradation of GaAs power MESFET's induced by surface effects [Text] / J. M. Dumas, J. Paugam, C. Le Mouellic, J. Y. Boulaire // 21th Ann. Proc. Reliab. Phys. — Phoenix, Arizona, 1983. — P. 226–228.
8. Пирогов, Ю. А. Повреждения интегральных микросхем в полях радиоизлучения [Электронный ресурс] / Ю. А. Пирогов, А. В. Солодов // Журнал радиоэлектроники. — 2013. — № 6. — Режим доступа: \www/URL: http://jre.cplire.ru/alt/jun13/15/text.html#14
9. Акулова, Г. В. Исследование дефектов в арсениде галлия, вводимых при термокомпрессии [Текст] / Г. В. Акулова, Т. А. Корнилова // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. — 1980. — Вып. 1. — С. 61–64.
10. Хаханов, В. И. Сервисное обслуживание современных цифровых систем на кристаллах [Текст] / В. И. Хаханов, Е. И. Литвинова, Christopher Umerah Ngene // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. — 2009. — № 7. — С. 319–323. — Режим доступу: \www/URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/recs_2009_7_59.pdf
11. Massachusetts Institute of Technology [Electronic resource]. — Available at: \www/URL: http://newsoffice.mit.edu/

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕГРАДАЦИИ МАТЕРИАЛА

В статье проведено исследование причин деградации микросхем, изготовленных из полупроводников для обеспечения надежности дискретных устройств компьютерных систем и описан алгоритм прогнозирования надежности дискретных устройств со структурой интеллектуальной подсистемы прогнозирования надежности дискретных устройств.

Ключевые слова: надежность, деградация, дискретное устройство, композитный материал, алгоритм, прогнозирование.

Кравченко Ольга Віталіївна, старший викладач, кафедра інформаційних технологій проектування, Черкаський державний технологічний університет, Україна, e-mail: kravchenko_ov@ukr.net.

Кравченко Ольга Віталіївна, старший преподаватель, кафедра информационных технологий проектирования, Черкасский государственный технологический университет, Украина.

Kravchenko Olga, Cherkasy State Technological University, Ukraine, e-mail: kravchenko_ov@ukr.net

УДК 621.396.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37703

Гнатовская А. А.

ПОВЫШЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ МАТРИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Проанализирован подход повышения жизнеспособности матричного теплонагруженного приемника излучения, основанный на зависимости откликов элементов матрицы и его окружения, что позволяет обеспечить корректную реакцию системы управления при выходе из строя части элементов восприятия входной информации. Разработаны модельные средства, обеспечивающие визуальное представление результатов.

Ключевые слова: работоспособность, надежность, теплонагруженные элементы, сигнал, интерполяция.

1. Введение

При передаче интенсивного лазерного излучения на расстояние по атмосферному каналу пространственное распределение пучка подвергается изменениям. Волновой фронт излучаемой волны обычно представляется сферической поверхностью, направление распространения которой совпадает с осью z . Распространение излучения низкой интенсивности в вакууме описывается следующим образом [1]:

$$A'(x', y', z' = 0) = A_0' \exp \left[-\frac{x'^2 + y'^2}{2a_0'^2} \left(1 - i \frac{ka_0'^2}{R} \right) \right], \quad (1)$$

где A_0' — максимальная амплитуда волны, a_i — полуширина пучка, $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, λ — длина волны, R — радиус кривизны волнового фронта.

При рассмотрении монохроматических волн в турбулентной среде с мгновенным значением напряженности электрического поля $E(\rho, t) \exp(i\omega t)$, где $\rho = \{r, z\} = \{x, y, z\}$, полагают, что длина волны λ существенно меньше характерного пространственного масштаба турбулентности, а временные изменения флуктуаций диэлектрической проницаемости среды $\epsilon(\rho, t)$ достаточно медленные, для оптически однородной среды, учитывающей турбулентное возмущение, выражение (1) принимает вид [2]:

$$A(r, z) = \frac{ik}{2\pi z} \int_{-\infty}^{\infty} A_0(r_0) \exp \left[\frac{ik}{2z} |r - r_0|^2 + i\mu(r, r_0, z) \right] d^2r_0, \quad (2)$$

где $\mu(r, r_0, z)$ — набег фазы.

Из приведенных выражений следует, что качество восприятия изображения объекта как при отсутствии канала передачи, а тем более при его наличии, существенно зависят от расстояния для объекта и свойств канала. Действительно, при гауссовом излучателе и достаточно удаленном объекте при отсутствии искажений в канале на объект падает плоская волна с равномерной амплитудой по всей поверхности объекта. В случае фазовых искажений волнового фронта распределение интенсивности на объекте неоднородно, что приводит к искаженному восприятию изображения объекта.

Промышленное применение лазеров требует различных плотностей мощностей лазерного излучения и его пространственного распределения (резка материала, закаливание металла, шлифовка и т. п.) [3], поэтому управление лазерным пучком является необходимой функцией [4], а создание надежных средств управления является актуальной задачей [5], способствующей расширению функциональных возможностей и качества лазерной обработки.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Создание систем управления интенсивным лазерным излучением связано с анализом пространственного распределения интенсивности пучка. Для контроля состояния фокусировки или расфокусировки пучка [6] используют матричные приемники излучения, построенные на терморпарах, металлических терморезисторах или пироэлектрических приемниках излучения [7, 8]. Поскольку целевым назначением технологических лазерных систем является резка материалов, в том числе