

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГРИБСЬКИЙ МАКСИМ ПЕТРОВИЧ

УДК 537.86

**ФІЗИКА ПРОЦЕСІВ НАПРУЖЕНИХ СТРУМОВИХ І
ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ МІКРОСХЕМ ПРИ ВПЛИВІ
ІМПУЛЬСНИХ НВЧ-ПОЛІВ**

Спеціальність 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Суми – 2009

Дисертація є рукописом.

Робота виконана у Таврійському національному університеті ім. В.І. Вернадського Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор фізико-математичних наук, доцент **Старостенко Володимир Вікторович**, Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, завідувач кафедри радіофізики і електроніки.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор **Аркуша Юрій Васильович**, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, професор кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій;

доктор фізико-математичних наук, професор **Чорноус Анатолій Миколайович**, Сумський державний університет, проректор з наукової роботи.

Захист відбудеться « » грудня 2009 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.02 при Сумському державному університеті: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, ауд. 236, корпус ЕТ.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розіслано « » листопада 2009 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

А.С. Опанасюк

ВСТУП

Актуальність теми. Інформаційні технології визначають розвиток усіх галузей науки та техніки. У свою чергу, рівень інформаційних технологій визначається станом та тенденціями розвитку елементної бази електронної апаратури (ЕА), в основному інтегральних мікросхем (ІМС). За їх допомогою проводиться практично вся обробка інформації в сучасній техніці, медицині, системах зв'язку.

У процесі роботи електронної апаратури мікросхеми можуть зазнавати дії різних зовнішніх факторів, що впливають на їхній функціональний стан, аж до катастрофічних відмов. У даний час працездатність ЕА визначається функціональним станом мікросхем, їх режимами роботи. Мікросхеми і напівпровідникові прилади проектують для роботи в номінальних режимах. Фізичні процеси цих приладів під час роботи в напружених струмових та теплових режимах практично не вивчені.

Одним із найпоширеніших видів зовнішніх впливів на ЕА є імпульсні електромагнітні поля (ІЕМП) природного та штучного походження. Дослідженням впливу імпульсних електромагнітних полів на напівпровідникові прилади та мікросхеми присвячена велика кількість робіт. Разом з тим велика кількість фахівців, які займаються проблемою впливу електромагнітних полів на елементну базу ЕА, дослідження подібного роду впливу звели до подачі на виводи напівпровідникових приладів відеоімпульсу напруги, а до виводів мікросхем - радіоімпульсу. Однак такий імітаційний підхід не дає зв'язку параметрів фактора впливу з результатом його дії, зокрема, неможливо врахувати роль поляризаційного фактора, що визначає величини напруг, які діють на мікроструктурні елементи кристалу мікросхем.

Дослідження з безпосереднього впливу імпульсних електромагнітних полів на мікросхеми у відкритому просторі вперше були проведені у Харківському фізико-технічному інституті (ХФТІ) під керівництвом проф. Магди І.І. Вони дозволили виявити основні закономірності перетворення енергії електромагнітних полів в електротеплові процеси у мікроструктурних елементах (МСЕ) кристалу мікросхем. Подібні дослідження з використанням хвилевідних методів проводилися у Таврійському національному університеті ім. В. І. Вернадського. Поряд з дослідженнями з безпосереднього впливу імпульсних електромагнітних полів на мікросхеми у хвилеводі, спрямованими на поглиблене розуміння процесів та результатів перетворення полів у мікроструктурних елементах мікросхем, у ТНУ було розроблено чисельно-аналітичну модель взаємодії, яка дозволяє розв'язати дифракційну задачу для мікросхеми у хвилеводі та електротеплову задачу для моделі кристалу. Дані дослідження, як експериментальні, так і теоретичні, були проведені для мікросхем розроблених у минулі десятиріччя із низьким та середнім рівнями інтеграції. Сучасні мікросхеми з великим рівнем інтеграції вимагають нового підходу до вивчення фізичних процесів у їх мікроструктурних елементах при реалізації неномінальних режимів. Науковому розробленню цих питань присвячена дана дисертаційна робота.

У цьому плані актуальними у науковому та практичному аспектах є:

- дослідження процесів перетворення енергії імпульсних електромагнітних полів, що впливають на прилади та мікросхеми, в електричну та теплову у мікроструктурних елементах сучасних ІМС;
- дослідження фізичних процесів у приладах, що працюють у напружених струмових та теплових режимах; вивчення пробійних явищ в активних та пасивних мікроструктурних елементах кристалу мікросхем;
- розроблення рекомендацій із заходів підвищення стійкості приладів до впливу імпульсних електромагнітних НВЧ - полів.

Тематика роботи відповідає науковим програмам Міністерства освіти і науки України з фундаментальних досліджень. Основні результати роботи увійшли до звіту держбюджетної теми кафедри радіофізики і електроніки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського, номер держреєстрації №0101U005650 «Дослідження впливу імпульсних електромагнітних полів на мікроструктури і моделювання електронних приладів». Здобувачем, як одним із виконавців даної теми, виконано комплекс експериментальних та теоретичних досліджень щодо впливу імпульсних електромагнітних полів на сучасні мікросхеми.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у встановленні фізичних закономірностей процесів що відбуваються у мікроструктурних елементах кристалу сучасних мікросхем великого рівня інтеграції під час їх роботи в напружених струмових та теплових режимах.

Для досягнення мети потрібно було вирішити такі задачі:

- розробити методики проведення експериментальних досліджень з впливу імпульсних електромагнітних полів на сучасні мікросхеми та електронні модулі;
- провести експериментальні дослідження і проаналізувати отримані результати;
- на підставі експериментальних досліджень і результатів моделювання мікросхем із низьким та середнім рівнями інтеграції розробити модель взаємодії імпульсних електромагнітних полів із мікроструктурними елементами кристалу сучасних ІМС з великим рівнем інтеграції;
- визначити основні електричні кола розряду у кристалі під час впливу імпульсного електромагнітного випромінювання та розробити електротеплову модель кристала сучасних мікросхем, що дозволить прогнозувати працездатність ІМС у напружених струмових та теплових режимах;
- на прикладі моделі польового транзистора встановити ступінь впливу геометричних розмірів каналу і затвора приладу, а також режимів роботи на фізичні процеси під час його роботи в неномінальному режимі.

Об'єкт дослідження - фізичні процеси у кристалах сучасних мікросхем при перетворенні енергії діючих НВЧ полів.

Предмет дослідження - напружені струмові і теплові режими у кристалах сучасних мікросхем при впливі потужних імпульсних НВЧ полів.

Методи дослідження. Результати, отримані в дисертаційній роботі, ґрунтуються на: експериментальних хвилевідних методах визначення

працездатності мікросхем при безпосередньому впливі на них потужних імпульсних електромагнітних полів; статистичних методах обробки результатів експериментальних досліджень; моделюванні процесів і приладів за допомогою аналітичних співвідношень, що описують їх властивості та характеристики з подальшим використанням чисельних методів, зокрема, декомпозиційного, прогонки, великих частинок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Набув подальшого розвитку хвильовідний метод експериментального дослідження впливу імпульсних електромагнітних полів на мікроструктурні елементи кристалу сучасних мікросхем з великим рівнем інтеграції.
2. Розроблено чисельно-аналітичні моделі взаємодії імпульсних електромагнітних полів із мікроструктурними елементами кристалу сучасних мікросхем та електротеплову модель кристалу, що вперше дозволили прогнозувати стійкість ІМС до впливу імпульсного електромагнітного випромінювання, яка визначається в основному розмірами кристалу та поляризаційним фактором і не залежить від їхнього функціонального призначення.
3. Уперше розглянуті електричні кола розряду з активними мікроструктурними елементами кристалу сучасних мікросхем.
4. На прикладі моделі ПТШ вперше показано, що поверхнева густина потужності, яка розсіюється в напівпровідниковому приладі при пробі, не враховує в повній мірі його конструктивні особливості, тому як функцію в критерії Вунша-Белла необхідно брати значення питомої об'ємної потужності під час електротеплового пробою транзистору.

Практичне значення результатів, отриманих у процесі виконання роботи, полягає в наступному:

1. Встановлено граничні значення полів, при яких починаються збої в роботі і катастрофічні відмови сучасних мікроконтролерів із мікропроцесорами, мікросхем пам'яті, мікросхем аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів, мікроскладань приймачів та передавачів. Це може бути покладено в основу галузевих стандартів, що визначають стійкість ІМС.
2. Стійкість екранованих мікросхем до електромагнітного випромінювання значною мірою визначається зовнішніми електричними колами та радіoeлементами. Цю обставину необхідно враховувати при компонуванні плат, що функціонують поблизу джерел електромагнітних випромінювань.
3. Отримано статистичні дані про вихід з ладу мікроструктурних елементів кристалу, які можуть бути використані виробниками ІМС при розробці нових технологій їх виготовлення або при виборі нових матеріалів мікросхем.
4. Запропоновано встановлювати ІМС, які можуть зазнати впливу електромагнітного випромінювання, у спеціальні панелі з розрядниками, або проектувати й виготовляти мікросхеми з розрядниками.
5. Розроблено чисельно-аналітичну модель перетворення енергії електромагнітних полів у електротеплові процеси в сучасних мікросхемах, яка дозволяє прогнозувати їх стійкість при зменшенні базових елементів кристалу

та збільшенні його розмірів під час роботи в напружених режимах, зокрема при впливі потужних ІЕМП.

6. Визначено оптимальну довжину каналу ПТШ і значення еквівалентної ємності розрядного кола, які можуть бути використані розробниками для створення мікросхем, що працюють в умовах впливу потужних НВЧ-полів.

7. Розроблена комп'ютерна методика тестування функціонального стану ІМС, що працює у напружених струмових та теплових режимах, використовується у науково-дослідній роботі ТНУ і лабораторних практикумах під час навчання студентів спеціальності 6.070201 - прикладна фізика й 7.070201 - радіофізика.

Особистий внесок здобувача. Усі експериментальні дослідження виконані автором самостійно. Теоретичні роботи виконані за допомогою пакетів програм разом з їх розробниками. У наукових роботах зі співавторами здобувачем особисто зроблено і отримано таке:

- у роботах [1, 2, 3, 6, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 21] проведені експериментальні дослідження із впливу імпульсних електромагнітних полів на сучасні мікросхеми, проведено обробку результатів, та їх аналіз;
- у роботах [4, 5, 9, 11, 15, 18] сформульовані задачі, виконано аналіз результатів чисельного моделювання;
- у роботах [7, 8, 20, 22] запропонована та обґрунтована модель кристалу, електричних кіл розряду, виконані розрахунки, проведено їх аналіз.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на 7 міжнародних конференціях: 16-й, 17-й, 18-й і 19-й Кримських конференціях «НВЧ-техніка та телекомунікаційні технології» (Криміко 2006, 2007, 2008 і 2009); «Молодь та сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікацій» (РТ-2006, РТ-2007); 3-му Міжнародному форумі «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» (МРФ, Харків, 2008).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 12 статей у вітчизняних та зарубіжних наукових журналах і збірниках. З 12 статей 2 продубльовані у журналі Telecommunications and Radio Engineering [1, 2], 2 статті [3, 10] опубліковані у виданнях переліку ВАК України з технічних наук, 8 статей опубліковані у науково-технічних виданнях переліку ВАК України з фізико-математичних наук, 12 тез доповідей опубліковані в працях міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, перелік посилань, 3 додатки. Робота викладена на 155 сторінках, містить 6 таблиць і 65 рисунків. Перелік посилань містить 128 найменувань на 15 сторінках. Додатки - на 14 сторінках, загальний обсяг роботи з додатками – 170 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету, задачі, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зв'язок з науковими роботами та темами. Зазначено об'єкт та предмет досліджень, наукові методи, які використано під час виконання роботи. Наведено відомості про загальне число публікацій за темою дисертації, кількість публікацій, що входять до переліку ВАК України з фізико-математичних наук, відзначено внесок здобувача в опублікуванні у співавторстві наукові статті, вказані форми апробації результатів досліджень.

У першому розділі «Огляд літератури з впливу імпульсних електромагнітних полів на елементну базу електронної апаратури» проаналізовано методи і результати досліджень із впливу ІЕМП на елементну базу ЕА і мікросхеми, стан та тенденції розвитку виробництва мікросхем.

Відмічається що, обробка сигналів здійснюється в мікросхемах, які при впливі ІЕМП можуть давати збої у роботі або виходити з ладу. У цьому розділі також наведено основні результати впливу ІЕМП на елементну базу ЕА. У дослідженнях із впливу імпульсних електромагнітних полів спочатку на напівпровідникові прилади, а потім на мікросхеми, виникла проблема щодо їх поведінки при функціонуванні в напружених струмових та теплових режимах, що власне є предметом досліджень.

Відмічено, що при імітаційному підході позитивним є те, що можна експериментально досліджувати динаміку поведінки приладів, аж до їх руйнування. Недоліком цього підходу є те, що характеристики фактора впливу, не пов'язані з результатом дії електромагнітного поля.

Експериментальні дослідження із безпосереднього впливу потужних імпульсних електромагнітних полів на мікросхеми дозволили встановити механізм цього впливу, а також основні причини, які викликають руйнування мікроструктурних елементів кристалу.

Основним недоліком, що не дозволяє застосувати раніше розроблену теорію для мікросхем минулих десятиліть щодо аналізу фізичних процесів в сучасних мікросхемах, пов'язаною з великою відмінністю між ними, особливо в ступені інтеграції та кількості шарів металізації.

Другий розділ «Експериментальні дослідження із впливу імпульсних НВЧ полів на сучасні мікросхеми» присвячено опису установки і методик аналізу результатів експериментальних досліджень із впливу ІЕМП на сучасні мікросхеми.

Перед дослідженнями з безпосереднього впливу НВЧ на мікросхеми у хвилевідному тракту були проведені дослідження на панорамному вимірювачі Р2-56 коефіцієнта стоячої хвилі (K_{CX}) та її ослаблення A , з метою визначення співвідношень між падаючою, відбитою, поглиненою хвилями, та хвилею, що пройшла. При впливі ІЕМП на мікросхеми їх стійкість визначається значеннями електричної компоненти діючого поля. За отриманими залежностями $K_{CB} = K_{CB}(f)$ и $A = A(f)$ знайдено співвідношення (1):

$$P_{\text{ПАД}} = 10^{-0,1A} P_{\text{ПР}}, \quad (1)$$

а значення напруженості електричної компоненти хвилі H_{10} визначаються зі співвідношення (2):

$$E_m = 920 \sqrt{(T/\tau) \cdot 10^{-0,1A} P_{\text{ПР}}}, \quad (2)$$

де T – період проходження, τ – тривалість радіоімпульсів.

Вивчення безпосереднього впливу імпульсного електромагнітного випромінювання на мікросхеми здійснювалося у хвилевідному тракті на довжині хвилі 10 см, з імпульсною потужністю $P_i \leq 30$ кВт ($E_m \leq 130$ кВ/м). Впливу ІЕМП зазнавали мікросхеми типу Attiny15, PIC16F628-20I/P (мікроконтролери), 24LC16, 27C256-20FA (мікросхеми пам'яті), TLC549IP і AD7243 (аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі), мікроскладання RX600x/GX600x (екрановані НВЧ мікроскладання приймачів і передавачів) і електронні модулі, що містять мікросхеми АЦП/ЦАП і мікроскладання приймачів і передавачів. Для кожного типу мікросхем були розроблені електричні і програмні схеми тестування їх функціонального стану при впливі ІЕМП. На рис.1 наведено типову структурну схему установки, яка використовувалася для досліджень стійкості мікросхем до електромагнітного випромінювання.

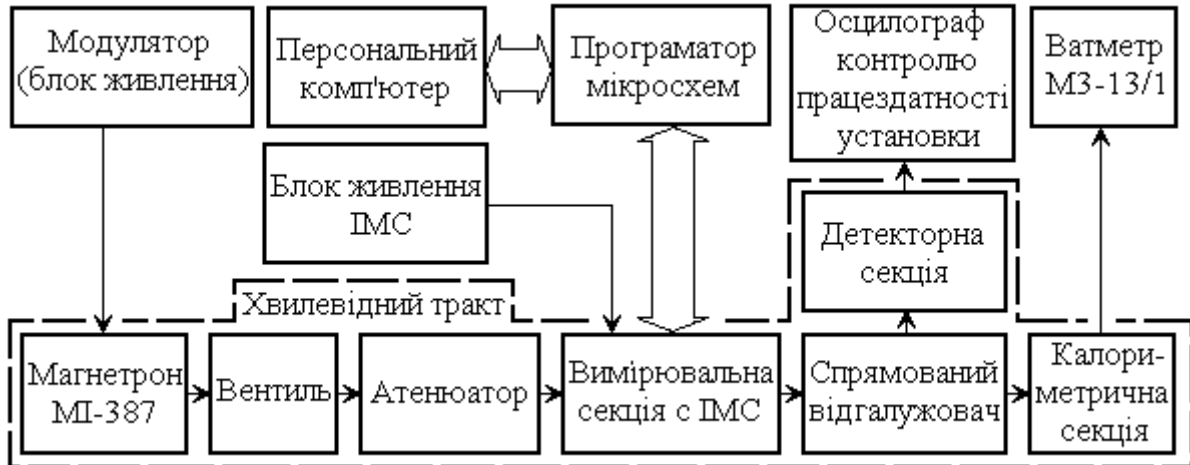


Рис.1. Структурна схема установки тестування працездатності мікросхем при впливі імпульсних електромагнітних полів

Характерною рисою установки є використання комп'ютера для визначення працездатності мікросхем при впливі ІЕМП. Впливу ІЕМП зазнали 140 мікросхем, 40 мікроскладань та 60 електронних модулів (електронних обладнань із досліджуваними мікросхемами та іншими радіоелементами на монтажній платі).

Вплив на мікросхеми здійснювався для двох їх орієнтацій відносно поля, а саме грань кристалу з мікроструктурними елементами була паралельною вектору електричної компоненти поля хвилі H_{10} у хвилеводі, і грань кристалу з

мікроструктурними елементами розташовувалася перпендикулярно до вектору електричної компоненти поля хвилі H_{10} у хвилеводі.

Результатами впливу, які фіксувалися в експериментальних дослідженнях, були збої у роботі мікросхем та їх катастрофічна відмова. Встановлено, що поляризаційний фактор (взаємна орієнтація поля і мікросхеми) визначає величини додаткових напруг, які прикладаються до елементів кристалу мікросхем при дії ІЕМП. Він значною мірою визначає на роботу ІМС та їх стійкість при впливі електромагнітного випромінювання. Найбільші значення додаткових напруг до розрядних кіл прикладаються в тому випадку, коли грань кристала із мікроструктурних елементів (МСЕ) паралельна вектору напруженості електричного поля хвилі H_{10} . Крім поляризаційного фактора, на працездатність мікросхем при впливі ІЕМП значну роль грають розміри кристалу мікросхем. Функціональне призначення мікросхем не впливає на їх реакцію при дії ІЕМП.

Експериментальні дослідження показали, що при впливі ІЕМП на ІМС із кристалом 4×4 мм збої у роботі мікросхем починаються з напруженостей поля $E_m \geq (0,05-1)$ кВ/м, катастрофічні відмови - з $E_m \geq (75-90)$ кВ/м (грань з МСЕ паралельна вектору напруженості електричної компоненти поля). У тому випадку, коли грань кристалу із МСЕ є перпендикулярною вектору напруженості електричної компоненти поля, граничні значення полів, як мінімум, на порядок вищими зазначених.

На рис.2 наведено статистичні дані виходу із ладу мікроструктурних елементів кристалу мікросхем при впливі потужних полів. Більшість мікросхем виходять із ладу при впливі потужних ІЕМП внаслідок пропалювання металізації (30% - пропалювання контактних майданчиків, 30% - пропалювання струмопровідних доріжок на підкладці кристала мікросхем (рис.3), у 30% вихід ІМС обумовлено спільним пропалюванням струмопровідних доріжок та активних мікроструктурних елементів кристалу, у 10% вихід ІМС відбувається внаслідок пропалювання активних МСЕ (рис.2). Фрагмент кристалу із пропалюванням металізації показано на рис.3.

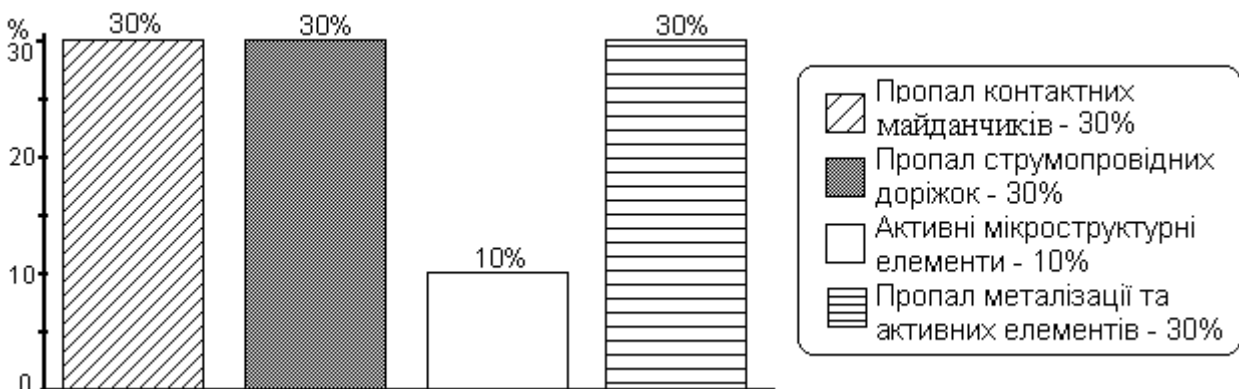


Рис.2. Статистичні дані щодо виходу мікроструктурних елементів сучасних мікросхем при впливі ІЕМП

Експериментальні дослідження показали, що екранування не є засобом захисту мікросхем від впливу ІЕМП. Додаткові напруги до розрядних кіл кристалу при цьому виді впливу прикладаються через сполучні провідники розміщених поряд радіоелементів.

Електронні модулі з мікросхемами АЦП/ЦАП та мікроскладаннями приймачів/передавачів розміщалися на платах розмірами не більше 25×20мм. Дослідження показали, що орієнтація модуля у прив'язці до орієнтації мікросхеми відносно поля визначає його стійкість. Граничні значення відмов електронних модулів внаслідок відмов мікросхем такі самі, як і безпосередньо у мікросхем. Граничні значення полів, при яких починаються збої в роботі електронних модулів, нижчі, ніж у мікросхем.

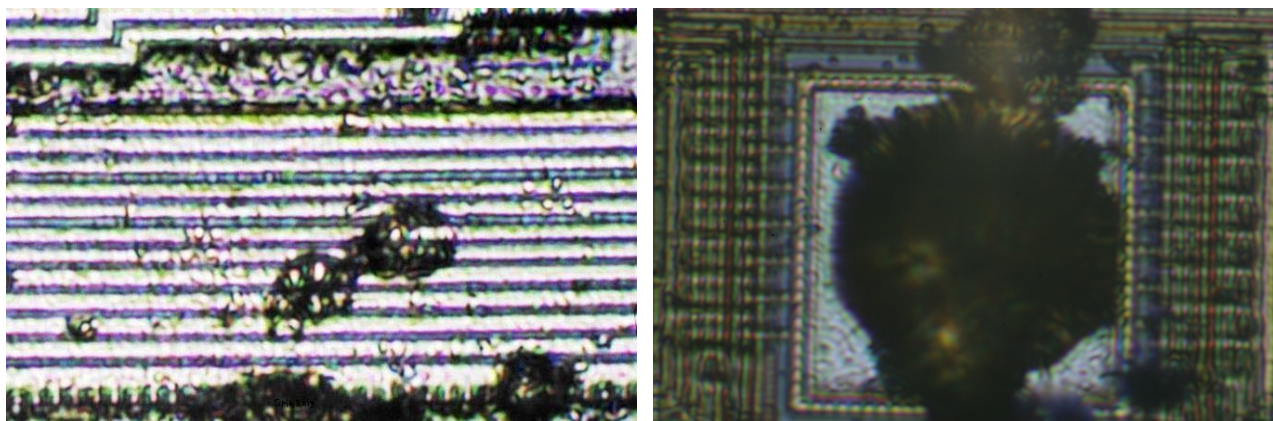


Рис.3. Фрагменти пропалювання провідних доріжок та контактного майданчика у мікросхемі 27С256-20FA

За результатами експериментальних досліджень розроблені рекомендації направлені на підвищення стійкості мікросхем до впливу імпульсних електромагнітних полів, які приведені у висновках автореферату.

У третьому розділі «Модель взаємодії імпульсних НВЧ полів з мікроструктурними елементами кристалу сучасних мікросхем» розглянуто основні співвідношення, що покладено в основу пакетів програм, які дозволяють моделювати фізичні процеси перетворення енергії електромагнітного поля в напружені струмові та теплові процеси у мікроструктурних елементах розрядних кіл кристалу сучасних мікросхем.

Основою для побудови чисельно-аналітичної моделі взаємодії ІЕМП із мікроструктурними елементами сучасних мікросхем були експериментальні дані і досвід розроблення подібної моделі для мікросхем з низьким рівнем інтеграції. Модель взаємодії електромагнітного випромінювання із МСЕ мікросхем включає у собі розв'язання дифракційної задачі для мікросхем у хвилеводі, аналіз електричних кіл розряду у кристалі, розв'язання рівняння теплопровідності для моделі кристалу і моделювання напружених струмових і теплових режимів в активному мікроструктурному елементі кристалу – базуючись на прикладі польового транзистора.

Розв'язання дифракційної задачі у хвилевідному тракті здійснювалося декомпозиційним методом із використанням мінімальних автономних блоків. У розрахунках геометрія макрокомпонентів мікросхем (корпус, виводи, кристал), задавалася максимально наближеною до реальної структури. Адекватність розв'язання дифракційної задачі контролювалася різними засобами, зокрема, шляхом порівняння результатів розрахунків K_{CX} та ослаблення A з експериментальними даними. Ці розбіжності не перевищували 10%. Отримані результати розподілу полів у мікросхемі (біля кристалу) використовувалися для знаходження додаткових напруг, що прикладаються до розрядних кіл.

У роботі зроблено докладний аналіз електричних кіл пробою при впливі потужних ІЕМП. Відповідно до експериментальних даних найбільша увага приділено колам розряду із послідовним з'єднанням провідних та діелектричних МСЕ. На рис.4 наведено фрагмент моделі кристалу сучасних мікросхем та кіл розряду: 1- електричне коло розряду із провідними і діелектричними МСЕ; 2 – коло пробою з активними МСЕ. Струм, наведений ІЕМП в колі розряду, визначається із співвідношення (3):

$$|i| = \frac{\vec{E}_m \cdot \vec{d}}{\sqrt{2} \cdot |Z_0|}, \quad (3)$$

де \vec{E}_m – амплітуда вектора напруженості електричної компоненти електромагнітного поля; $|\vec{d}| \cos \alpha$ – довжина розрядного кола вздовж вектора напруженості поля; \vec{d} - вектор, спрямований уздовж розрядного кола; α – кут між векторами \vec{d} й \vec{E}_m , який визначається із розв'язання дифракційної задачі.

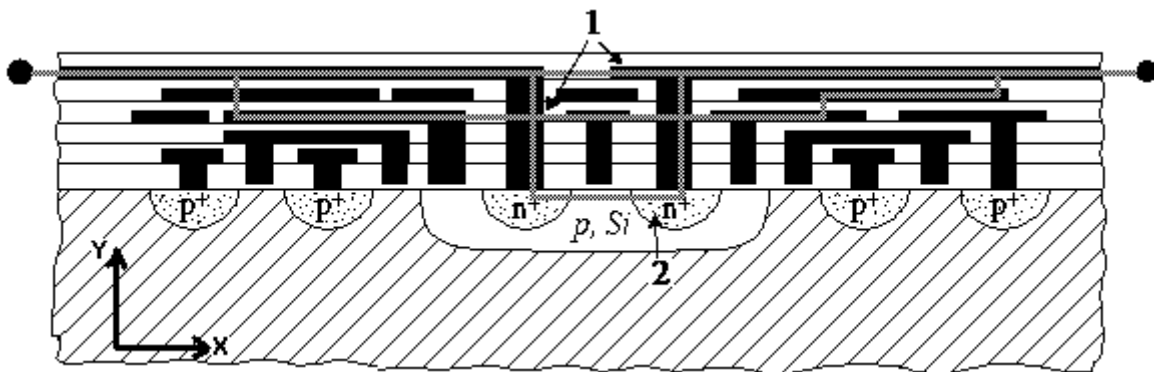


Рис.4. Модель кристала та електричних кіл розряду сучасних мікросхем

Неоднорідність провідних та діелектричних плівок урахувалося шляхом їх дискретизації уздовж напрямків x та y (рис.4). Дискретизація була адаптивною, а індексація вздовж напрямку x - суцільною, та не залежала від матеріалу плівки.

Співвідношення для модуля комплексного опору у розрядному колі, отримано з урахуванням втрат струму зміщення, має такий вигляд (4):

$$|\dot{Z}_0| = \sqrt{\left(\frac{h_x^2}{S^2} \left[\sum_{k=1}^{N+1} \sum_{i=1}^{N_{yk}} \frac{1}{\sum_{j=1}^{N_y} \sigma_k(i,j)} + \frac{S}{h_x} \sum_{k=1}^N \frac{\operatorname{tg}(\delta_k)}{\omega C_k (1 + \operatorname{tg}^2(\delta_k))} \right] + \left(\sum_{k=1}^{N+1} \omega L_k - \sum_{k=1}^N \frac{1}{\omega C_k (1 + \operatorname{tg}^2(\delta_k))} \right)^2 \right)}, \quad (4)$$

Динаміка електротеплових процесів у моделі кристала досліджувалася шляхом розв'язання неоднорідного рівняння теплопровідності (5):

$$c_s \rho_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_s(T, t) \cdot \frac{\partial T_s}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_s(T, t) \cdot \frac{\partial T_s}{\partial y} \right] + q_s(x, y, t), \quad (5)$$

де T_s – температурне поле на s -му шарі (s – позначення шару у багат шаровій структурі кристалу уздовж напрямку y); c_s - питома теплоємність s -шару; ρ_s - густина матеріалу шару; $K_s(T, t)$ - коефіцієнт теплопровідності; $q_s(x, y, t)$ – питома потужність джерел тепла s – шару. Теплообмін між шарами враховувався за допомогою відповідних граничних умов.

Крім цього, у даному розділі розглянуто основні положення, які покладено в основу програмного забезпечення, що дозволяє моделювати процеси у польовому транзисторі із затвором Шоткі (ПТШ) на GaAs і Si. За основу у моделі ПТШ прийняте кінетичне наближення, а розв'язання здійснювалося за допомогою методу великих частинок.

Розв'язання кінетичного рівняння зводилося до задання функції розподілу, граничних умов та розв'язання рівнянь руху для носіїв заряду в кристалі з урахуванням механізмів їх розсіювання:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{d\varepsilon_k}{d\vec{k}} \quad \text{і} \quad \frac{d\vec{k}}{dt} = \frac{1}{\hbar} \vec{F}, \quad (6)$$

де \vec{r} - координата; \vec{k} - квазіімпульс великої частинок; ε_k - енергія носія заряду; \vec{F} - діюча на нього зовнішня сила; m^* - ефективна маса носія заряду; \hbar - стала Планка.

Інтегралі зіткнень розраховувалися за допомогою відповідних імовірнісних співвідношень на кожному кроці інтегрування. До системи рівнянь, що описують процеси в транзисторі, входили рівняння (6), рівняння Пуассона і теплопровідності.

Пакет програм, що використаний, дозволяє досліджувати фізичні процеси в ПТШ у напружених струмових та теплових режимах аж до виходу приладу з ладу.

У четвертому розділі «Моделювання напружених струмових та теплових режимів у мікроструктурних елементах кристалу сучасних мікросхем» наведено результати розрахунків та аналізу фізичних процесів у електричних колах розряду кристалу мікросхем при впливі імпульсних електромагнітних полів, розроблено критерії для прогнозування стійкості сучасних ІМС.

З урахуванням втрат струмів зміщення, у колі розряду з послідовного з'єднання провідних та діелектричних мікроструктурних елементів визначені причини більш швидкого пропалу струмопровідних доріжок.

Внаслідок моделювання електротеплових процесів з урахуванням втрат струмів зміщення пояснюють, чому пропал алюмінієвих доріжок відбувається при значеннях полів на 10% менших у порівнянні коли втрати струму зміщення в діелектрику не враховувались. У випадку мідних доріжок у канавці з танталу ці відмінності в граничних значеннях полів становлять 5%.

Одним із найбільш істотних параметрів, що визначають значення струму в розрядному електричному колі, є значення його опору. Фізичні розрахунки визначають що при пропалі розрядного кола повинно виконуватися наступне співвідношення (7):

$$R_{\Sigma} \ll 1/\omega C_{\text{екв}}, \quad (7)$$

де R_{Σ} – еквівалентний опір провідних мікроструктурних елементів, $C_{\text{екв}}$ – еквівалентна ємність діелектричних плівок, ω – колова частота зовнішнього поля.

Згідно із (7) струм зміщення повинен визначати струм провідності в провідних МСЕ. Співвідношення (7) знайдено експериментально і визначає необхідну умову пропалення провідних плівок у металодіелектричних структурах при впливі потужних ІЕМП.

Аналіз результатів експериментальних даних та аналітичних розрахунків показує, що мікросхеми створені за технологією 120 нм виходять із ладу при густині струму в колі розряду $j \approx 0,5 \cdot 10^{12} \text{ А/м}^2 = 5 \text{ кА/мм}^2$. На підставі знайдених значень $C_{\text{екв}}$ і густини струму в роботі проведено прогнозування стійкості мікросхем при впливі потужних ІЕМП залежно від рівня технології і розмірів ($D \times D$ мм) кристала (рис.5). Знайдені значення $C_{\text{екв}}$ дозволяють досліджувати динаміку електротеплових процесів у моделі кристала з багаторівневою металізацією (рис.4) з урахуванням особливостей провідних та діелектричних плівок.

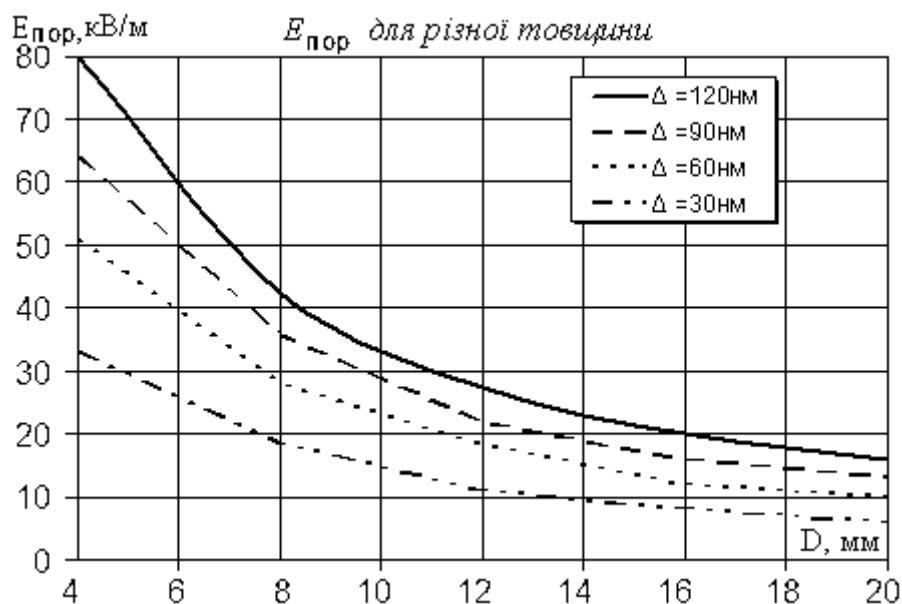


Рис.5. Залежність граничної напруженості ІЕМП, від розмірів кристалу з шириною струмопровідних доріжок - Δ

Крім цього, у розділі проаналізовано електричні кола розряду з польовими транзисторами. За допомогою чисельно-аналітичної моделі досліджено фізичні процеси в ПТШ, що працюють у напружених струмових та теплових режимах, починаючи від лавинного до теплового пробою для різних розмірів ширини затвору і каналу. Розрахунки вольт-амперних характеристик (ВАХ) та критеріальних залежностей проводилися для ПТШ як з урахуванням, так і без урахування струму зміщення. На рис.6 зображені критеріальні залежності Вунша-Белла для ПТШ без урахування струму зміщення для ширини каналу транзистора в 240 нм і 400 нм (криві 1 і 2, відповідно).

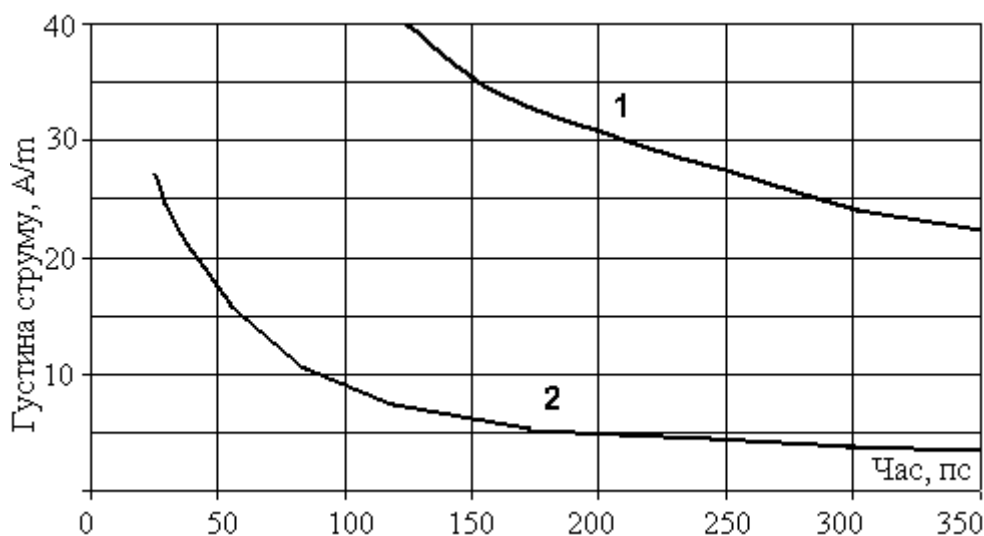


Рис.6. Критеріальні залежності стійкості ПТШ

Зменшення розмірів ширини каналу транзистора призводить до виходу за номінальний режим і до балістичного режиму роботи приладу. Аналіз фізичних процесів та характеристик ПТШ у напружених струмових режимах показує, що в основному пробій у кристалі при впливі потужних ІЕМП реалізується через розрядні кола з пасивними мікроструктурними елементами, що узгоджується з експериментальними результатами.

Із урахуванням отриманих результатів можна констатувати, що розроблена модель мікросхем дозволяє досліджувати фізичні процеси у мікроструктурних елементах кристалу сучасних мікросхем, що виникають під час реалізації напружених струмових та теплових режимів та прогнозувати стійкість мікросхем до впливу імпульсних НВЧ полів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі новими є результати експериментальних досліджень і чисельно-аналітичного моделювання напружених струмових та теплових режимів у мікроструктурних елементах кристалу сучасних мікросхем і електронних модулів на їх основі при впливі потужних імпульсних НВЧ полів:

1. При впливі потужних НВЧ полів на мікросхеми відбувається перетворення енергії електромагнітного поля в електротеплову енергію макрота мікроструктурних елементів, при цьому вихід з ладу мікроструктурних елементів кристалу обумовлено їх роботою в напружених струмових і теплових режимах за рахунок додаткових напруг, які наводяться електромагнітним випромінюванням. Граничні значення полів, при яких починаються збої і катастрофічні відмови, залежать від орієнтації мікросхем відносно поля та розмірів кристалів, при цьому функціональне призначення ІМС не впливає на ці граничні значення. Катастрофічні відмови МСЕ сучасних мікросхем, що працюють у напружених струмових та теплових режимах при впливі імпульсних НВЧ полів, настають через пропалювання контактних майданчиків (30%), пропалювання провідних доріжок (30%), внаслідок спільного теплового руйнування провідних доріжок та активних мікроструктурних елементів (30%) і теплового руйнування тільки активних МСЕ (10%).

2. Установлено, що реакція мікросхем на вплив електромагнітного випромінювання у складі електронних модулів така сама, як і при впливі безпосередньо на мікросхеми, однак знижуються граничні значення полів, при яких починаються збої у роботі мікросхем, при цьому граничні значення катастрофічних відмов не змінюються.

3. Запропоновано метод прогнозування стійкості до впливу потужних ІЕМП для мікросхем різних технологій (90 нм, 60 нм, 30 нм) і різними розмірами кристалів (від 8×8 мм до 20×20 мм). Отримані дані можна використовувати для нормативної технічної документації, що регламентує працездатність ЕА в

умовах впливу на неї ІЕМП. Для підвищення стійкості ЕА до впливу ІЕМП доцільно використовувати в ній мікросхеми з невеликими розмірами кристалів, а для підвищення стійкості мікросхем із кристалами більших розмірів необхідно розробляти топологію мікросхем із розрядниками або застосовувати панелі кріплення ІМС із вбудованими розрядниками.

4. Установлено, що екранування мікросхем не є ефективним засобом їх захисту від електромагнітного випромінювання при наявності зовнішніх радіоелементів, приєднаних до виводів ІМС, а схеми захисту від електростатичної електрики підвищують стійкість мікросхем тільки до впливу одиночного радіоімпульсу. Встановлено, що активна складова струмів зсуву знижує граничні значення полів, що руйнують металізацію з алюмінію на кристалі ІМС на 10 – 12%, а з міді з підшаром з танталу на – 5%.

5. Аналіз фізичних процесів у розрядних колах із провідних та діелектричних МСЕ показав, що омична й просторова неоднорідності доріжок з алюмінію і міді призводять до зниження стійкості мікросхем до впливу потужних ІЕМП, а пропалювання металізації відбувається у тих випадках, коли $R_{\Sigma} \ll 1/\omega C_{\text{екв}}$, тобто за умови, що струм зміщення визначає струм у ланцюзі розряду.

6. Для розрядного кола з пасивних МСЕ знайдені значення еквівалентної ємності і густини струму, при яких мікросхеми виходять із ладу під впливом потужних ІЕМП. Знайдене значення густини струму відповідає точці на критеріальній залежності Вунша-Белла $P/S = f(\tau)$ для розглянутого розрядного кола сучасних мікросхем.

7. Розглянуто розрядне електричне коло з активними МСЕ, досліджений вплив розмірів ширини затвора на ВАХ та теплову стійкість ПТШ; показано, що оптимальним є відношення довжини затвора до довжини каналу 0,4-0,6. Отримані дані можуть бути використані розробниками мікросхем, які можуть зазнати впливу зовнішніх полів НВЧ.

8. На підставі числових експериментів встановлено, що для ПТШ із різними довжинами каналів узагальненої критеріальної залежності стійкості приладів є залежність $P/V = f(\tau)$, а не $P/S = f(\tau)$ (Вунш-Белл). Порівняння часу виходу з ладу активних і пасивних мікроструктурних елементів мікросхем при впливі потужних ІЕМП показує, що час виходу з ладу напівпровідникових приладів менше, ніж провідних, і цим пояснюється те, що здебільшого пробій відбувається через розрядні кола, що містять пасивні МСЕ.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Influence of Pulse Electromagnetic Fields on Current-Technology Microcontrollers / [**Gribskii M. P.**, Grigor'ev E. V., Voitovich A. K., Zuev S. A., Starostenko V. V. and Churyumov G. I.] // Telecommunications and Radio Engineering. – 2007. – V. 66, N 19. – P.1791–1797.
2. Influence of Pulse Electromagnetic Fields on Integrated Memory Chips / [**Gribskii M. P.**, Akhramovich L. N., Grigor'ev E. V., Zuev S. A., Starostenko V. V. and Churyumov G. I.] // Telecommunications and Radio Engineering. – 2007. – V. 66, N 19. – P.1799–1804.
3. Воздействие импульсных электромагнитных полей на интегральные микросхемы памяти / [**Грибский М. П.**, Ахрамович Л. Н., Григорьев Е. В., Зуев С. А., Старостенко В. В., Чурюмов Г. И.] // Радиоэлектроника и информатика. – 2006. – Т. 35, № 4. – С. 15–17.
4. Динамика электротепловых процессов в диэлектрических структурах микросхем при воздействии электромагнитных полей / [**Грибский М. П.**, Старостенко В. В., Таран Е. П., Полетаев Д. А., Чурюмов Г. И.] // Радиоэлектроника и информатика. – 2007. – Т. 37, № 2. – С. 45–49.
5. Влияние ширины затвора на вольт-амперные характеристики и электротепловую стойкость ПТШ / [**Грибский М. П.**, Зуев С. А., Слипченко Н. И., Старостенко В. В., Унжаков Д. А.] // Радиоэлектроника и информатика. – 2007. – Т. 38, № 3. – С. 24–26.
6. Воздействие импульсных электромагнитных полей на микросхемы АЦП и ЦАП / [**Грибский М. П.**, Григорьев Е. В., Старостенко В. В., Унжаков Д. А.] // Радиоэлектроника и информатика. – 2007. – Т. 39, № 4. – С. 24–26.
7. Модель кристалла микросхем для исследования напряженных токовых и тепловых режимов / [**Грибский М. П.**, Григорьев Е. В., Слипченко Н. И., Старостенко В. В., Таран Е. П., Унжаков Д. А.] // Радиотехника. – 2008. – Вып. 153. – С. 158–161.
8. Прогнозирование стойкости микросхем при их работе в напряженных токовых режимах / [**Грибский М. П.**, Григорьев Е. В., Зуев С. А., Старостенко В. В., Таран Е. П., Унжаков Д. А.] // Вісник СумДУ. Серія «Фізика, математика, механіка». – 2007. – № 2. – С. 185–190.
9. Wunsch-Bell Criterial Dependence For Si and GaAs Schottky-Barrier Field-Effect Transistors: «Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics 9» (UWB CP9) / [G. I. Churyumov, **M. P. Gribskii**, V. V. Starostenko, V. Yr. Tereshenko, D. A. Unzhakov, S. A. Zuev] ; edited by Frank Sabath : Springer, 2009. – P. 395–402.
10. Воздействие импульсных электромагнитных полей на современные микроконтроллеры / [**Грибский М. П.**, Григорьев Е. В., Старостенко В. В.,

Войтович С. А., Зуев С. А., Чурюмов Г. И.] // Прикладная радиоэлектроника. – 2006. – Т. 5, № 2. – С. 294–297.

11. Численный расчет динамики электротепловых процессов в проводящих структурах современных микросхем при воздействии электромагнитных полей / [Грибский М. П., Старостенко В. В., Таран Е. П., Трибрат М. И.] // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2007. – Вып. 139. – С. 13–18.

12. Воздействие импульсных электромагнитных полей на экранированные микросхемы / [Грибский М. П., Григорьев Е. В., Зуев С. А., Старостенко В. В., Чурюмов Г. И., Унжаков Д. А.] // Прикладная радиоэлектроника. – 2007. – Т. 6, № 4. – С. 590–593.

13. Воздействие импульсных электромагнитных полей на интегральные микросхемы памяти / М. П. Грибский, Л. Н. Ахрамович, Е. В. Григорьев, С. А. Зуев, В. В. Старостенко, Г. И. Чурюмов, А. А. Борисов, А. М. Петров. – «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: 16-я междунар. Крымская конф.; Севастополь, 11-15 сент. 2006 г.: материалы. – Севастополь: Вебер, 2006. – Т.2. – С. 699–700.

14. Воздействие импульсных электромагнитных полей на современные микроконтроллеры и микросхемы памяти / М. П. Грибский, А. К. Войтович. – «Молодежь и современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2006»: междунар. молодёжная науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и ученых; Севастополь, 17-21 апр. 2006 г.: материалы. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – С. 210.

15. Стойкость медных пленочных элементов микросхем при воздействии мощных электромагнитных полей / В. В. Старостенко, М. П. Грибский, Е. В. Григорьев, Е. П. Таран. – «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 17-я междунар. Крымская конф.; Севастополь, 10-14 сент. 2007 г.: материалы. – Севастополь: Вебер, 2007. – Т. 2. – С. 663–664.

16. Влияние экранирования на стойкость микросхем при воздействии электромагнитных полей / В. В. Старостенко, М. П. Грибский, Е. В. Григорьев, С. А. Зуев, Е. П. Таран, В. В. Терещенко, Д. А. Унжаков. – «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: 17-я междунар. Крымская конф. ; Севастополь, 10-14 сент. 2007 г.: материалы. – Севастополь: Вебер. – 2007. – Т.2. – С. 665–666.

17. Грибский М. П. Воздействие импульсных электромагнитных полей на современные приемопередающие экранированные СВЧ микросхемы / Грибский М. П. – «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2007»: 3-я междунар. молодёжная науч.-техн. конф.; Севастополь, 16-21 апр. 2007г.: материалы. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2007. – С. 232.

18. Расчет критериальных зависимостей стойкости ПТШ при воздействии видео- и радиоимпульсов напряжения / М. П. Грибский, С. А. Зуев, В. В. Старостенко, Д. А. Унжаков, А. А. Шадрин. - «СВЧ-техника и

телекоммуникационные технологии»: 18-я междунар. Крымская конф.; Севастополь, 8-12 сент. 2008 г. : материалы. – Севастополь: Вебер. – 2008. – Т.2. – С. 674 – 675.

19. Воздействие импульсных электромагнитных полей на микросхемы АЦП и ЦАП / **М. П. Грибский**, Е. В. Григорьев, В. В. Старостенко, Д. А. Унжаков. – [«СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: 18-я междунар. Крымская конф.; Севастополь, 8-12 сент. 2008 г.: материалы. – Севастополь: Вебер, 2008. – Т. 2. – С. 676–677.

20. Модель кристалла микросхем для исследования напряженных токовых и тепловых режимов / **М. П. Грибский**, Е. В. Григорьев, В. В. Старостенко, Е. П. Таран, Д. А. Унжаков. – «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: 18-я междунар. Крымская конф.; Севастополь, 8-12 сент. 2008 г.: материалы. – Севастополь: Вебер. – 2008. – Т. 2. – С. 678–679.

21. Воздействие импульсных электромагнитных СВЧ полей на современные микросхемы / **М. П. Грибский**, Е. В. Григорьев, В. В. Старостенко, Е. П. Таран, Г. И. Чурюмов. – «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» : 3-й междунар. форум; Харьков, 22-24 окт. 2008 г.: материалы. – Харьков, 2008. – Т.6. – С. 73 – 74.

22. Численно-аналитическая модель взаимодействия электромагнитных полей с микроструктурными элементами кристалла микросхем / **М. П. Грибский**, Е. В. Григорьев, В. В. Старостенко, Е. П. Таран, Г. И. Чурюмов. – «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития»: 3-й междунар. форум ; Харьков, 22-24 окт. 2008 г.: материалы. – Харьков, 2008. – Т. 6. – С. 75–77.

23. Влияние межэлектродных емкостей на стойкость ПТШ при воздействии импульсных электромагнитных полей / Д. А. Унжаков, С. А. Зуев, **М. П. Грибский**, В. В. Старостенко, М. В. Глумова. – «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» : 19-й междунар. Крымская конф. ; Севастополь, 14-18 сент. 2009 г.: материалы. – Севастополь: Вебер, 2009. – Т. 2. – С. 734–735.

24. Прогнозирование стойкости микросхем при воздействии мощных импульсных электромагнитных полей / М. В. Глумова, **М. П. Грибский**, Е. В. Григорьев, В. В. Старостенко, Е. П. Таран, Д. А. Унжаков. – «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: 19-й междунар. Крымская конф.; Севастополь, 14-18 сент. 2009 г.: материалы. – Севастополь : Вебер, 2009. – Т. 2. – С. 736–737.

АННОТАЦИЯ

Грибский М.П. Физика процессов напряженных токовых и тепловых режимов современных микросхем при воздействии мощных СВЧ полей. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – физика приборов, элементов и систем. – Сумской государственной университет, г. Сумы, 2009.

В диссертации изложены методики экспериментального исследования непосредственного воздействия импульсных СВЧ полей на современные микросхемы, сделан анализ результатов, рассмотрены основные положения модели взаимодействия электромагнитных полей с микроструктурными элементами (МСЭ) кристалла интегральных микросхем (ИМС), приведены результаты теоретических исследований, в частности, результаты прогнозирования стойкости ИМС для различных их технологий и размеров кристалла.

Экспериментальные исследования по непосредственному воздействию импульсных СВЧ полей на микросхемы осуществлялись в волноводном тракте. Отличительной чертой данных исследований является использование персонального компьютера для тестирования работоспособности микросхем. Непосредственному воздействию мощных импульсных электромагнитных полей (ИЭМП) подвергались микроконтроллеры с микропроцессорами, микросхемы памяти, микросхемы АЦП и ЦАП, экранированные СВЧ микросборки приемников и передатчиков, электронные модули на основе микросборок и микросхем АЦП и ЦАП. В результате экспериментальных исследований определены пороговые значения полей, при которых начинаются сбои в работе микросхем и их катастрофические отказы, получены статистические данные отказов микроструктурных элементов при воздействии импульсного электромагнитного излучения. Аналогичные данные получены для электронных модулей. Проведенные исследования показали, что экранирование не является эффективным средством защиты от воздействия ИЭМП. Дополнительные напряжения к микросхеме прикладываются через внешние цепи, что в итоге приводит к напряженным токовым и тепловым режимам МСЭ кристалла микросхем. На основании экспериментальных исследований сделаны практические рекомендации по повышению стойкости электронной аппаратуры и непосредственно микросхем к воздействию мощных ИЭМП.

Для исследования влияния различных параметров электромагнитного излучения и микросхем на результат воздействия разработана численно-аналитическая модель взаимодействия СВЧ полей с микроструктурными элементами кристалла вплоть до их теплового разрушения. С учетом экспериментальных данных в работе подробно проанализированы цепи разряда в кристалле микросхем. Для наиболее вероятной цепи пробоя из проводящих и диэлектрических микроструктурных элементов найдено значение

эквивалентной емкости, позволяющее определить предельное значение плотности тока для микросхем с известной технологией, что соответствует точке на критериальной зависимости Вунша-Белла для стойкости дискретных элементов. По найденным значениям плотности тока сделан прогноз стойкости микросхем с различными технологиями и размерами кристаллов. Установлено важное соотношение между сопротивлениями проводящих и диэлектрических МСЭ, определяющее ток в разрядной цепи. Исследовано влияние потерь тока смещения на развитие электротепловых процессов в проводящих МСЭ в цепи разряда из пассивных микроструктурных элементов. Исследованы напряженные токовые и тепловые процессы в пространственно и омически неоднородных проводящих дорожках из алюминия в оболочке из титана и в медных дорожках с подслоем из тантала.

Проведен анализ цепей, содержащих активные полупроводниковые МСЭ. Моделирование физических процессов в ПТШ осуществлялось в кинетическом приближении с помощью метода крупных частиц. Для полевого транзистора с затвором Шоттки с помощью пакета программ, позволяющего рассматривать электротепловые режимы в нем вплоть до его прожога, рассмотрены влияние размеров затвора и рабочего канала на его стойкость. Рассчитаны времена тепловых разрушений в канале транзистора для различных размеров рабочего канала и различных значений дополнительных напряжений, прикладываемых к разрядной цепи с ПТШ.

Ключевые слова: импульс, электромагнитное поле, воздействие, микросхема, кристалл, микроструктурные элементы, катастрофический отказ, разрядная цепь.

АНОТАЦІЯ

Грибський М.П. Фізика процесів напружених струмових і теплових режимів сучасних мікросхем при впливі потужних НВЧ-полів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем. - Сумський державний університет, м. Суми, 2009.

У дисертації наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень потужних імпульсних електромагнітних полів на сучасні мікросхеми. Експериментальні дослідження проведено у хвилевідному тракту для мікронтролерів, мікросхем пам'яті, АЦП і ЦАП, мікроскладань приймачів і передавачів. За результатами експериментальних досліджень визначено граничні значення збоїв та катастрофічних відмов мікросхем, отримано статистичні дані по виходу з ладу мікроструктурних елементів, зроблено рекомендації щодо підвищення стійкості мікросхем до даного виду впливу.

Розроблено числено-аналітичну модель взаємодії імпульсних електромагнітних полів із мікроструктурними елементами кристалу сучасних мікросхем, що містить вирішення дифракційної задачі для мікросхеми у

хвилеводі та електротеплову модель кристалу сучасних мікросхем з багат шаровою металізацією.

Проведені дослідження дозволяють прогнозувати стійкість мікросхем до впливу імпульсних електромагнітних полів залежно від рівня технології розмірів кристала.

Ключові слова: імпульс, електромагнітне поле, вплив, мікросхема, кристал, мікроструктурні елементи, катастрофічна відмова, розрядне коло.

ABSTRACT

Grybskyi M. P. Physics of strained current and heat processes – regimes of modern microschemes under the influence of mighty microwave fields. Manuscript.

The thesis for Candidate Degree in Physico-Mathematical sciences by the speciality 01.04.01 – physics of devices, elements and systems. Sumsky State University. Sumy, 2009.

The dissertation deals with the methods of experimental investigation of direct microwave fields influence on modern microschemes, its resnets and their analysis, the basic position of electromagnetic fields interaction with microstructural elements of microscheme crystals. The results of theoretical investigation, in particular prognosis of microschemes endurance for different technologies and sizes of crystals were given. The experimental research of direct impulse microwave fields influence on microschemes was carried out in waveguide.

The distinguishing feature of the research in applying PC for testing microschemes efficiency. Besides microprocesses, memory microschemes ADC and DAC, screen microwave microassemblies of receivers and transmitters, electronic modules and microschemes ADC and DAC were affected. As a result the threshold significance under which the failure in the work of microschemes takes place was defined. Statistic data of microstructural refuses under the influence of impulse electromagnetic radiation were obtained. Numeral analytical model of microwave fields interaction with microstructural crystal elements up to their heat implantation damages was developed. The discharge chain in microscheme crystal was analyzed in details. The significance of equivalent capacity for most valid chain damage from passive microelements was found. At allows to define the limit significance of current density for microschemes. The prognosis of microscheme stability with different technologies and crystal sizes was done.

The dynamics of heat capacity processes in moderate dialectic and active microstructures in strained current and heat regimes was investigated.

Key words: impulse, electromagnetic field, interaction, microscheme, crystal, microstructural elements, catastrophic failure.

Підписано до друку 25.09.2009 р.
Формат 60×90/16. Папір ксерокс. Гарнітура Times New Roman Cyr. Друк офс.
Ум. друк. арк. 1,2. Обл.-вид. арк. 0,9.
Тираж 100 пр.
Замовлення №

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.
Свідоцтво про внесення видавничої справи до державного реєстру
ДК № 3062 від 17.12.2007.
Надруковано у друкарні СумДУ
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.