

А. Н. Дреев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАФИКА НА ОПЕРАТИВНОСТЬ ДОСТАВКИ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрена проблема оперативности доставки сообщений в телекоммуникационных системах и сетях. Исследовано влияние загруженности телекоммуникационного канала на оперативность доставки информационных пакетов, а также проведено имитационное моделирование для проверки теоретических выводов и подтверждения практических результатов.

Ключевые слова: сеть; телекоммуникационная система; оперативность; моделирование; очередь.

O. M. Dreev

TRAFFIC INTENSITY EFFECT CONCERNING OPERATIVITY OF INFORMATION DELIVERY AS A SIMULATION OBJECT

In the article the problem of message delivery efficiency in telecommunication systems and networks, we examine the effect of congestion on the telecommunication channel efficiency of delivery of information packets, conducted simulation to verify the theoretical findings and practical confirmation of the results.

Keywords: network; telecommunication system; efficiency; modeling; turn.

УДК 681.35

В. В. КУЗАВКОВ, Г. І. ГАЙДУР, С. О. СЕРИХ,
Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В БАГАТОШАРОВОМУ ОБ'ЄКТІ

У статті розв'язується завдання з розробки нових технологій оброблення інформації та ухвалення рішення при локалізації несправних елементів цифрових блоків, здійснюваній автономними автоматизованими системами діагностування із використанням методу власного випромінювання.

Ключові слова: діагностична інформація; метод власного випромінювання; радіоелектронний компонент.

Вступ

Особливість методу власного випромінювання, застосовуваного для виробів радіоелектроніки, полягає в наявності прямого зв'язку між ресурсом радіоелектронних компонентів (РЕК) та їхньою температурою. Для низки компонентів (транзисторів, діодів, оксидних катодів, резисторів) розраховано відповідні статистичні залежності [1]. Оперативність методу власного випромінювання особливо чітко виявляється при дослідженні великої кількості однотипних цифрових блоків і РЕК.

Аналіз джерел [1–3] показав, що теплові поля однотипних виробів добре корельовані. Діагностичний параметр (ДП) при діагностуванні формується згідно зі способом перенесення теплової енергії (теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання) і може бути поданий не лише набором числових значень, а й у вигляді двовимірних (тривимірних) термограм. Після формування набору інформативних ознак можуть бути застосовані алгоритми розпізнавання образів.

Аналіз можливостей методу власного випромінювання показав його придатність для вископродуктивної безконтактної діагностики із застосуванням комп'ютерної техніки при обробці результатів [4].

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження підтверджують практичну можливість

використання методу власного випромінювання як для визначення технічного стану цифрового блока, так і для локалізації несправних РЕК у його складі.

Постановка задачі

Процес локалізації несправності пов'язаний із визначенням несправного РЕК за допомогою реєстрації та обробки діагностичного параметра — теплового відгуку на вхідні тестові послідовності для цього РЕК. Використання методу власного випромінювання потребує створення нових діагностичних моделей, що відбивають зв'язок ДП із фізико-хімічними властивостями РЕК. Для побудови моделі перенесення теплоти від «розігрітого» кристала на поверхню РЕК (задача нестационарної теплопровідності) потрібно проаналізувати технологію виготовлення РЕК та структуру сучасного напівпровідникового РЕК.

Основна частина

Технологія напівпровідникового виробництва базується на прецизійних процесах обробки: фотота електролітографія, оксидування, іонно-плазмове розпилювання, іонна імплантація, дифузія, термокомпресія і т. ін.

Виокремлюють низку загальних технологічних операцій виготовлення напівпровідників та ІМС, а також їх послідовність.

Наприклад, виготовлення планарного напівпровідника у складі ІМС поділяється на такі етапи [8]:

- підготовка напівпровідникових пластин;
- створення топологічного рисунка;
- «виращування» $p-n$ переходів;
- приєднання електричних виводів;
- складання та герметизація.

На першому етапі епітаксціальні структури, наприклад $n-n+$ типу, або монокристалічні підкладки з електропровідністю n - чи p -типу, піддають очищенню.

Наступний етап — створення топологічного малюнка. Для того, щоб сформувати області з електропровідністю p -типу, необхідно забезпечити проведення локальної дифузії через вікна в захисній масці з півки діоксиду кремнію SiO_2 товщиною $0,3 \dots 1,0$ мкм. Розміри цих вікон задають, використовуючи фотолітографію. На півку наносять шар фоторезисту та експонують його ультрафіолетом. Засвічені ділянки фоторезисту виявляють і півку SiO_2 вилучають.

Прецизійним дозуванням кількості домішки, що вводиться в кристал, отримують $p-n$ переходи. При створенні області p -бази використовують процес іонної імплантації, який полягає у впровадженні прискорених іонів у поверхню кристала. Щоб сформувати базову область і $p-n$ перехід колектор-база на необхідній глибині, використовують подальший дифузійний розгін упродовженних атомів бору. У результаті формується область бази з глибиною $2 \dots 3$ мкм.

Для приєднання до областей емітера, бази та колектора електричних виводів металізують поверхні контактів. Півку діоксиду вилучається з потрібних ділянок. Термічним випаровуванням у вакуумі на всю поверхню пластини напорошується шар металу (наприклад, алюмінію) завтовшки близько 1 мкм. Багатшарову структуру МДН транзистора в складі ІМС наведено на рис. 1.

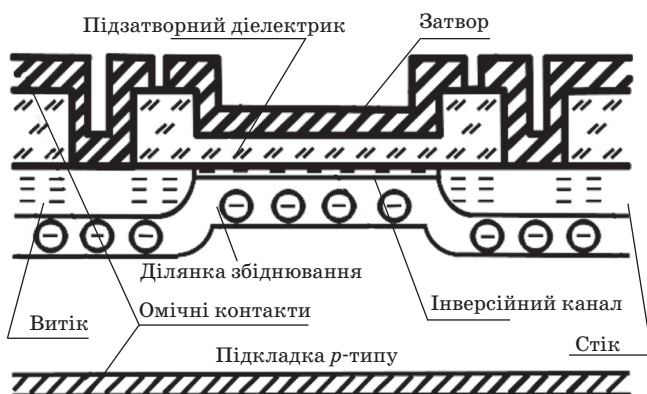


Рис. 1. Багатшарова структура МДН транзистора в складі ІМС

Далі йде етап складання та герметизації. Підготовлена до складання пластина містить багато (до десятків тисяч) окремих елементів. Цю пластину розрізають на окремі структури — криста-

ли, монтують на тримач, здійснюють розведення під'єднання електричних виводів до контактів, і герметизують.

Герметизацію (створення навколо кристала герметичної, механічно міцної оболонки) призначено для захисту його від впливу навколишнього середовища. Оболонка створюється так: основу корпусу з розміщеним на ньому напівпровідниковим кристалом обволікують пластмасою.

Для створення пластмасового корпусу використовують різні пластичні матеріали: заливні компаунди і прес-порошки на основі епоксидних, кремній-органічних і поліефірних смол. Корпуси (зовнішні геометричні розміри) сучасних РЕК стандартизовано. Аналіз розмірів РЕК потрібен для моделювання структури теплового поля навколо РЕК.

Аналіз технології виготовлення сучасних напівпровідникових РЕК показав, що вони мають багатшарову конструкцію, до складу якої входять тримач кристала, підкладка з «виращеним» кристалом РЕК, а також герметична і механічно міцна оболонка.

Розв'язання задачі нестационарної теплопровідності в такому багатшаровому об'єкті, як РЕК, полягає у визначенні теплофізичних характеристик шарів за заданими часовими залежностями температури біля поверхні РЕК і температури самої поверхні.

Отже, маємо *одновимірну пряму задачу нестационарної теплопровідності*.

Сформулюємо її, подавши РЕК як багатшаровий об'єкт, зображений на рис. 2. Зорієнтуємо вісь z перпендикулярно до меж окремих шарів РЕК (перпендикулярно до розглядуваних компонентів поверхні), а осі x і y проведемо так, аби вони утворювали з віссю Z трійку взаємно перпендикулярних прямих (див. рис. 2). Початок систе-

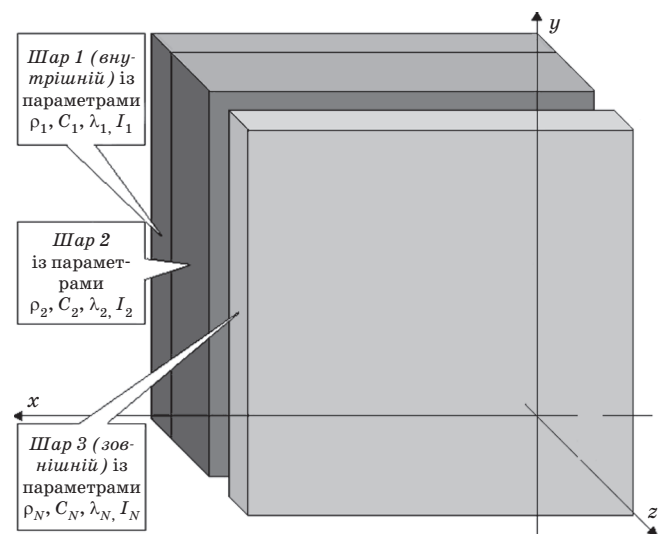


Рис. 2. Багатшаровий об'єкт, в якому розв'язок одновимірної задачі теплопровідності вважається правильним

ми координат — точку (0,0,0) візьмо на одній із поверхонь багат шарової конструкції (внутрішня поверхня). Вісь z спрямуємо до протилежної сторони конструкції (зовнішня поверхня). Щоб одновимірне наближення було правильне, необхідно, аби розмір об'єкта в площині (xy) (довжина та ширина РЕК), перевищував розмір уздовж осі z (висота РЕК).

Температура поверхонь РЕК змінюється з часом у заданий спосіб: за відомими температурними «історіями» на межах цих поверхонь.

Рівняння теплопровідності [5]

$$C(z)\rho(z) = \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \lambda(z) \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2}$$

перепишемо у вигляді

$$T(z,t) = \int_0^t C(z)\rho(z) dt,$$

де $T(z,t)$ — залежність температури від координати z і часу t ; $C(z)$ питома теплоємність; $\rho(z)$ — густина матеріалу; $\lambda(z)$ — коефіцієнт теплопровідності (значення теплофізичних характеристик матеріалу шарів досліджуваних РЕК).

Теплофізичні характеристики матеріалів шарів вважаються постійними всередині кожного з шарів, а отже, задаються кусково-постійними функціями координати z .

Джерелом енергії в багат шаровій структурі РЕК є розігрітий кристал p - n переходу.

Температура T цього кристала визначається відповідно до діагностичної моделі p - n переходу для методу власного випромінювання, що ґрунтується на аналізі вольт-амперної характеристики (ВАХ) переходу [6]:

$$T = U - \varphi_{30} / \left(\frac{k}{q} \ln \frac{I}{I_{00}} - \varepsilon_3 \right), \quad (1)$$

де k — стала Больцмана; T — температура; q — заряд електрона; I_{00} — величина, що не залежить від температури; φ_T — температурний потенціал; φ_{30} — ширина забороненої зони при нульовій температурі; ε_3 — температурна чутливість.

Вираз (1) дозволяє визначити температуру кристала напівпровідника залежно від струму через p - n перехід та фізико-хімічних властивостей напівпровідника.

Підставивши в (1) значення струму через p - n перехід [7]

$$I = -\frac{2qD_n}{L_n} S'_n \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1 + \frac{2qD_n}{L_n} S'_n \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2,$$

дістанемо математичну модель температурної залежності p - n переходу:

$$T = \frac{U - \varphi_{30}}{\frac{k}{q} \ln \left(\frac{-\frac{2qD_n}{L_n} S'_n \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1 + \frac{2qD_n}{L_n} S'_n \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2}{I_{00}} \right) - \varepsilon_3}, \quad (2)$$

де — W ширина бази; L_n — довжина дифузійного зміщення електронів в базі;

граничні умови

$$n_1 = n_p^0 (e^{\lambda U_{\delta,e}} - 1); \quad n_2 = n_p^W (e^{\lambda U_{\delta,k}} - 1);$$

n_p^0, n_p^W — рівноважні концентрації в базі на межі відповідно емітерного та колекторного переходу; $U_{\delta,e}, U_{\delta,k}$ — напруга, прикладена відповідно до емітерного та колекторного переходу; S — площа напівпровідника; D_n — коефіцієнт концентрації електронів;

Вираз (2) — це математична модель залежності температури кристала p - n переходу від струму через цей перехід.

Побудована модель дозволяє визначити нагрівання кристала напівпровідника або кількість теплоти як діагностичний параметр процесів, що відбуваються в напівпровіднику.

Висновки

Розглянуто технологію виготовлення та структуру сучасних РЕК у плані постановки та розв'язання задачі нестационарної теплопровідності багат шарової структури. Початкову температуру T визначає «розігрітий» кристал напівпровідникового переходу, причому ця температура відповідно до діагностичної моделі залежить від струму I та фізико-хімічних властивостей матеріалу напівпровідника.

Напрямок подальших досліджень є аналіз механізму передавання теплоти від «розігрітого» кристала p - n переходу на «поверхню» РЕК.

Література

1. **Вавилов, В. П.** Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники / В. П. Вавилов. — М.: Радио и связь, 1984. — 152 с.
2. **Концевой, Ю. А.** Методы контроля технологии производства полупроводниковых приборов / Ю. А. Концевой, В. Д. Кудин. — М.: Энергия, 1973. — 140 с.
3. **Данилин, Н. С.** Теория и методы неразрушающего инфракрасного контроля радиоэлектронных схем / Н. С. Данилин, О. Д. Бакланов, Ю. И. Загоровский. — М.: Изд-во МО СССР, 1974. — 164 с.
4. **Кузавков, В. В.** Застосування методу власного випромінювання для технічної діагностики радіоелектронних блоків / В. В. Кузавков, О. Г. Янковський: зб. наук. праць Одес. держ. академії техн. регулювання та якості. — Одеса: ОДАТРА, 2014. — № 9. — С. 30–37.
5. **Лебедев, Н. Н.** Сборник задач по математической физике / Н. Н. Лебедев, И. П. Скальская, Я. С. Уфлянд. — 1955.
6. **Физика** полупроводниковых приборов: в 2-х книгах. Кн. 2 // Пер. с англ. — 2-е перераб. и доп. изд. — М.: Мир, 1984. — 456 с.
7. **Кузавков, В. В.** Діагностична модель p - n (n - p) переходу в динамічному режимі для безконтактного індукційного методу діагностування / В. В. Кузавков: зб. наук. праць Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. — К.: ВІКНУ, 2014. — Вип. № 45. — С. 41.

В. В. Кузавков, Г. І. Гайдур, С. А. Серих

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОМ ОБЪЕКТЕ

В статье решается задача по разработке новых технологий обработки информации и принятия решения при локализации неисправных элементов цифровых блоков автономными автоматизированными системами диагностирования с использованием метода собственного излучения.

Ключевые слова: диагностическая информация, метод собственного излучения, радиоэлектронный компонент.

V. V. Kuzavkov, G. I. Gajdur, S. O. Serych

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ELECTRONIC SEMICONDUCTOR COMPONENTS FOR SOLVING THE PROBLEM OF NON-STATIONARY HEAT CONDUCTION IN A MULTILAYER OBJECT

In this article was solved the task of developing new technologies of the process of information and decided the localization of the faulty elements of digital blocks as an autonomous automated systems of diagnostic with using of its own radiosity.

Keywords: diagnostic information; radiosity; radio-electronic components.

УДК 621.396.93

Э. А. СУКАЧЕВ, д-р техн. наук, профессор; А. А. ПОСПЕЛОВА, аспирантка,
Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Исследованы изменения помеховой обстановки при движении мобильной станции в заданном направлении. Дана оценка зависимости отношения сигнал/помеха на входе приемника абонента от количества источников помех, а также обсуждены полученные результаты.

Ключевые слова: подвижная связь; плоская регулярная гексагональная решетка; аффинная система координат; внутрисистемная помеха в соте; отношение сигнал/помеха.

Введение

Применение сотовой структуры при развертывании сетей радиосвязи с подвижными объектами позволяет многократно использовать одну и ту же выделенную полосу частот. Наряду с явным достоинством такой организации мобильной связи — высокой спектральной эффективностью — имеется, однако, весьма существенный ее недостаток, который выражается в наличии взаимных помех между станциями, использующими одинаковые частотные каналы. Подобные помехи, называемые внутрисистемными, бывают двух видов.

К первому относятся помехи, поступающие на вход приемника мобильной станции (МС) от передатчиков базовых станции (БС), расположенных в соседних кластерах, в сотах с совпадающими частотами. Это так называемый *прямой канал*, или *нисходящая линия* (*downlink channel*).

Ко второму виду относятся помехи на входе приемника БС от передатчиков МС, находящихся в соседних кластерах, в сотах с совпадающими частотами. Это так называемый *обратный канал*, или *восходящая линия* (*uplink channel*). Для борьбы с помехами этих двух видов используют увеличение размерности кластера и/или секторизацию антенн базовых станций.

В известных публикациях, например [1; 2], эти помехи исследуются довольно обстоятельно. И все же такой анализ статичен, поскольку выполняется для МС, находящихся на границе соты, т. е. для наилучшего случая. Между тем нередко возникает необходимость изучить характер изменения помеховой обстановки, например в нисходящей линии при движении МС.

Цель статьи — разработка метода анализа изменения помеховой обстановки при движении МС по заданной траектории и демонстрация этого метода на конкретном примере.

Анализ изменения отношения сигнал/помеха при движении мобильной станции в соте по прямолинейной траектории

При проектировании сотовых сетей подвижной радиосвязи (СПР) предварительно выбирают радиус R соты и размерность K кластера, а затем на карте города вычерчивают *плоскую регулярную гексагональную решетку*, покрывающую всю зону обслуживания [3].

Каждая МС свободно перемещается по территории обслуживания, в результате чего уровни полезного сигнала и внутрисистемных помех на входе приемника абонента непрерывно изменяются. Отношение сигнал/помеха (C/P) можно рассчитать, если известны технические характеристики приемопередаю-