



ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ ОБЧИСЛЕННЯМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ МЕРЗ КРИСТАЛОМ НА ЖОРСТКИХ ВИВОДАХ

Євгенія Левус

Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013
elevus@polynet.lviv.ua

Резюме: у статті описано чисельно-аналітичний метод аналізу температурних полів мікроелектронних пристроїв, виготовлених за технологією встановлення активною стороною на жорсткі виводи. Розглядається проблема зменшення часу процедури температурного аналізу мікроелектронного пристрою. Проблема є актуальною, оскільки задача забезпечення необхідного температурного режиму функціонування пристрою розв'язується через багатократне виконання аналізу температурних полів. Одним з ефективних способів розв'язання цієї проблеми є використання розподілених обчислень. Описано обчислювальну схему методу температурного аналізу з використанням механізму розподілених обчислень. Представлені результати обчислень вказують на ефективність застосування розподілених обчислень і зменшення часових витрат на 30 відсотків при застосуванні двох комп'ютерів, об'єднаних в мережу.

Ключові слова: МЕРЗ з кристалом на жорстких виводах, чисельно-аналітичний метод аналізу, паралельні обчислення, розподілені обчислення, алгоритм аналізу температурних полів.

ВСТУП

Високі технології в сфері виробництва мікроелектронних пристроїв (МЕРЗ) вимагають попереднього проведення етапу проектування майбутнього виробу. Характерні тенденції розвитку мікроелектронних систем – мікромініатюризація, підвищення рівня інтеграції при складному функціональному призначенні – приводять до концентрації великих потужностей тепловиділення в малих об'ємах конструкції.

Аналіз та оцінка засобів тепловідводу лежать в основі конструювання МЕРЗ. При цьому потрібно забезпечити, як надійність функціонування, так і мінімізацію витрат на засоби тепловідводу.

Для розв'язання проблеми забезпечення заданих теплових режимів МЕРЗ необхідні ефективні методи та засоби теплового проектування (thermal design). Розвиток технологій мікроелектроніки зумовлює ускладнення математичних моделей та методів теплового проектування. Це призводить до збільшення витрат часу комп'ютерних обчислювальних експериментів. Навіть стрімкий розвиток комп'ютерної техніки, а саме побудова

все більш швидких математичних процесорів, нездатні повністю вирішити дану проблему [1].

Задача забезпечення необхідного температурного режиму розв'язується через знаходження у величезному “просторі параметрів”, що містить приблизно сотні тисяч різноманітних значень, саме таких, при яких отримані температури не будуть перевищувати допустимі.

Результати аналізу температурних полів, які формуються під час функціонування МЕРЗ, використовуються для постановки задачі забезпечення заданого температурного режиму. Задача аналізу завжди може бути розв'язана тим чи іншим методом, якщо є всі необхідні дані для розрахунку. Задача формування набору параметрів, при яких забезпечується необхідний температурний режим зводиться, як правило, до повного перебору варіантів базової конструкції. Тобто здійснюється розв'язування цієї задачі через багаторазовий аналіз температурних полів [2]. Тому проблема скорочення машинного часу процедури температурного аналізу МЕРЗ є актуальною. Відомим методом розв'язання такої проблеми є використання розподілених обчислень [3,4].

1. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Спосіб встановлення кристала МЕР на жорсткі виводи є досить поширеним в конструкціях багатокристалних модулів [1,5]. Це пояснюється рядом переваг, що характеризують цей спосіб збирання:

- надійність з'єднань;
- висока технологічність і автоматизація трудомістких операцій;
- висока степінь інтеграції з максимально можливою економією площі та ваги;
- гнучкість структури;
- сумісність з іншими технологіями виробництва МЕР.

Практично монтаж цим методом виконується за допомогою об'ємних кулькових або стовпчикових виводів. Кристал може встановлюватися на кремнієвий чи керамічний підшарок, або на тонкоплівкову структуру на основі полімерного матеріалу, в якій реалізується багатшарове монтажно-комутаційне з'єднання.

МЕР цього класу мають цілий ряд конструктивних, технологічних та експлуатаційних переваг, що обумовило надзвичайне поширення в сучасній мікроелектроніці і їх застосування в різноманітних приладах.

Характерною особливістю такої конструкції є те, що теплообмін від кристала здійснюється в основному кондукцією через виводи в підшарок, і тільки незначна частина тепла передається з поверхні кристала конвекцією в навколишнє середовище.

Основними складовими конструкції МЕР з кристалом на жорстких виводах (рис.1) є кристал та підшарок, плоскі джерела тепла, розміщені на нижній активній ділянці кристала, жорсткі виводи.

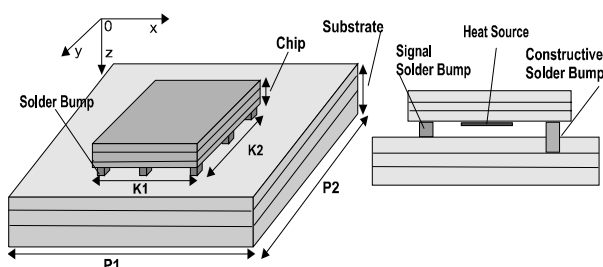


Рис. 1 – Схематичне зображення конструкції мікроелектронного пристрою

Кристал і підшарок є багатшаровими структурами, в яких може використовуватися

довільне поєднання шарів різної товщини, виготовлених з різних матеріалів. Виводи розрізняють за геометричною формою, матеріалом виготовлення, за контактом з шарами підшарку і відповідно – роллю в процесі відведення тепла. Тип виводів визначається залежно від глибини контакту з підшарком. У разі контакту виводу з поверхнею підшарку говорять про сигнальні виводи, у випадку проникнення стовпчика виводу у шари підшарку – про конструктивні виводи [1,5].

Тепловий потік через кожний вивід є невідомий, він буде залежати від розміщення джерел тепловиділення та виводів. Як правило, матеріал, з якого виготовляють виводи має невисокий коефіцієнт теплопровідності. Великий вплив на процес теплопровідності в кристалі відіграє підшарок, теплофізичні характеристики та конструктивні особливості якого визначаються певною конструкцією.

2. РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ

На сьогодні існує багато методів розв'язування задач теорії теплопровідності. Більшість з них носять універсальний характер, розв'язок знаходиться одним із чисельних методів. Незважаючи на ряд недоліків аналітичних методів, існує категорія практичних задач, коли їх застосування має сенс. До переваг таких методів можна віднести їх незалежність від параметрів обчислювального процесу та високу точність, а також нескладність у програмній реалізації.

У даній роботі розглядається аналітично-чисельний метод розв'язування спряженої задачі стаціонарного тривимірного теплообміну між кристалом та підшарком через виводи [1,2,4, 5].

Нехай кристал розмірами $K1 \times K2$ складається з N шарів, кожний з яких має товщину $h^{(i)}$ і характеризується теплопровідністю $\lambda^{(i)}$ ($i = \overline{1, N}$). Кожне плоске джерело тепловиділення, загальна кількість яких становить ks , має площу S_{s_r} , виділяє потужність P_{s_r} та знаходиться на нижній грані кристала в точці з координатами (x_{s_r}, y_{s_r}) , $r = \overline{1, ks}$. Кожен з kp виводів має площу поперечного січення S_{p_k} , висоту h_{p_k} , виготовлений з матеріалу з теплопровідністю λ_{p_k} , проводить через себе теплову потужність P_{p_k} та розміщений на нижній грані кристала в точці з координатами (x_{p_k}, y_{p_k}) , $k = \overline{1, kp}$.

Теплові потоки P_{p_k} через виводи наперед невідомі. Позначимо через $T^{(i)}(x,y,z)$ значення температури в i -тому шарі кристала, а через α_T – коефіцієнт тепловіддачі з верхньої поверхні кристала у навколишнє середовище, температура якого рівна T_{amb} .

Математична модель стаціонарних тривимірних температурних полів багат шарового кристала задається у вигляді крайової задачі теплопровідності у формі систем диференціальних рівнянь у часткових похідних другого порядку (1) з граничними умовами (2), (3)-(5), які моделюють тепловідведення з поверхонь структури конструкції [1,2,5]. Кожне рівняння описує процес теплопровідності для окремого шару кристала.

$$\frac{\partial^2 T^{(i)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T^{(i)}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T^{(i)}}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

$$i = \overline{1, N}$$

$$\frac{\partial T^{(i)}}{\partial x} \Big|_{x=0}^{x=K_1} = \frac{\partial T^{(i)}}{\partial y} \Big|_{y=0}^{y=K_2} = 0 \quad (2)$$

$$-\lambda^{(1)} \frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=0} + \alpha_T (T^{(1)} - T_{amb}) \Big|_{z=0} = 0 \quad (3)$$

$$\lambda^{(N)} \frac{\partial T^{(N)}}{\partial z} \Big|_{z=z_N} = Q(x,y) \quad (4)$$

де

$$Q(x,y) = \begin{cases} \frac{P_{s_r}}{S_{s_r}}, \text{ if } (x,y) \in S_{s_r}, r = \overline{1, ks} \\ -\frac{P_{p_k}}{S_{p_k}}, \text{ if } (x,y) \in S_{p_k}, k = \overline{1, kp} \\ 0, \text{ if } (x,y) \notin S_{s_r} \wedge (x,y) \notin S_{p_k} \end{cases} \quad (5)$$

Між шарами кристала (підшарку) задаються умови ідеального теплового контакту (6)-(7).

$$T^{(i)}(x,y,z) \Big|_{z=\sum_{j=1}^i h^{(j)}} = T^{(i+1)}(x,y,z) \Big|_{z=\sum_{j=1}^i h^{(j)}}, \quad (6)$$

$$\lambda^{(i)} \frac{\partial T^{(i)}}{\partial z} \Big|_{z=\sum_{j=1}^i h^{(j)}} = \lambda^{(i+1)} \frac{\partial T^{(i+1)}}{\partial z} \Big|_{z=\sum_{j=1}^i h^{(j)}} \quad (7)$$

Тут $i = \overline{1, N-1}$.

Умову ізотермічності верхньої поверхні кристала $T^{(1)} = T_{amb}$ отримуємо з (3) при $\alpha_T \rightarrow \infty$, а умову теплоізоляваності – при $\lambda^{(1)} = 1$ і $\alpha_T \rightarrow 0$.

Задача теплообміну для підшарку формалізується аналогічно наведеній вище задачі для кристалу.

Рівність теплових потоків, що виходять з кристалу і входять в підшарок в місцях виводів, задає умову спряження між двома моделями:

$$\iint_{S_{p_k}^1} T^{(N)}(x,y,h) dx dy = \iint_{S_{p_k}^2} \Theta^{(1)}(\xi, \varphi, 0) d\xi d\varphi + \frac{h_{p_k}}{\lambda_{p_k}} P_{p_k}, \quad (8)$$

де $\Theta(\xi, \varphi, 0)$ – значення температури на верхній поверхні підшарку; $S_{p_k}^1$ – площа контакту k -того виводу в системі координат кристала, а $S_{p_k}^2$ – площа контакту цього ж виводу в системі координат підшарку.

З умови спряження двох областей знаходяться величини теплових потоків через виводи P_{p_k} , $k = \overline{1, kp}$ [4, 5]. На основі умов неперервності теплових потоків через виводи, які зв'язують області кристала та підшарку, формується система лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) для визначення потужностей теплових потоків через виводи з області кристала в область підшарку [1,4].

Розв'язок формалізованої задачі, представленої системою диференціальних рівнянь теплопровідності та граничних умов, виконується методом Фур'є і представляється у формі тригонометричного ряду. Одержаний розв'язок дозволяє простою підстановкою координат розраховувати температуру в будь-якій точці структури.

Проведені численні апробації та тестування розробленого методу засвідчили його високу точність та ефективність для аналізу структур з кристалами, встановленими на жорсткі виводи [4,5].

Алгоритм обчислення значення температури у довільній точці конструкції МЕП складається з чотирьох обчислювальних процедур (рис.2).

Найбільшу обчислювальну складність має перша частина алгоритму обчислювального процесу.

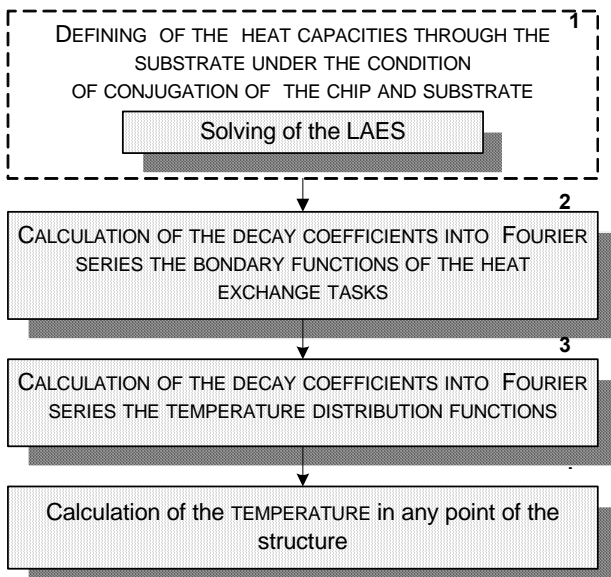


Рис. 2 – Обчислювальна схема послідовного методу аналізу температурних полів

У свою чергу, у цій частині можна виділити 2 складові: ініціалізація матриці системи лінійних алгебраїчних рівнянь (9) та розв’язування цієї системи методом Гауса. Кожен елемент матриці обчислюється незалежно один від одного і визначається вхідними даними, що описують конструкцію.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k_1} & a_{1k_1+1} & \dots & a_{1k_1+k_2} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k_1} & a_{2k_1+1} & \dots & a_{2k_1+k_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p_1+1} & a_{p_1+2} & \dots & a_{p_1+k_1} & a_{p_1+k_1+1} & \dots & a_{p_1+k_1+k_2} \\ a_{k_1+1} & a_{k_1+2} & \dots & a_{k_1+k_1} & a_{k_1+k_1+1} & \dots & a_{k_1+k_1+k_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k_1+k_2+1} & a_{k_1+k_2+2} & \dots & a_{k_1+k_2+k_1} & a_{k_1+k_2+k_1+1} & \dots & a_{k_1+k_2+k_1+k_2} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{p_1} \\ P_{p_2} \\ \dots \\ P_{p_{k_1}} \\ P_{p_1} \\ \dots \\ P_{p_{k_2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \dots \\ \sigma_{k_1} \\ \sigma_{k_1+1} \\ \dots \\ \sigma_{k_1+k_2} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

де k_1, k_2 – де кількість сигнальних та конструктивних жорстких виводів відповідно, P_{p_i} – потужність тепловідведення через i -тий жорсткий вивід.

Кожен елемент матриці є результатом обчислення виразу з сум тригонометричних рядів Фур’є з кількістю членів ряду 80. Саме тому обчислення елементів a_{ij} є часоємким.

Таким чином, кількість жорстких виводів модельних конструкцій задає необхідні потреби в ресурсах для аналізу температурних полів.

3. РОЗПОДІЛЕННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Переважно будь-який обчислюваний процес містить циклічно повторювану кількість операторів і розгалужень, що дозволяє ділити цей процес на окремі підпроцеси, з виключенням повторюваних операторів (циклів) і розгалужень і розподілом підпроцесів на процесори або зв’язані комп’ютери. Це і покладено в методику

розпаралелювання обчислюваних процесів. Розподілені обчислення є різновидом паралельних обчислень. Розподілені обчислення (Distributed Computing) – спосіб вирішення складних обчислювальних задач із залученням великої кількості виконавців, що працюють одночасно над різними частинами задачі. Відсутність узгодження між різними виконавцями є визначальною характеристикою розподілених обчислень на відміну від інших паралельних обчислень [6,7].

Під розпаралеленням обчислюваних процесів розуміють “підгонку” структури алгоритму, реалізованої програми під архітектуру або навіть обчислюваного методу до архітектури конкретного або гіпотетичного обчислюваного комплексу. Основа підходу полягає в розбитті цілісного послідовного обчислюваного процесу на незалежні паралельні підпроцеси, які можна обчислювати одночасно [3,6].

Однією з проблем обчислення температури для вищеприписаної конструкції є тривалість розрахунку потужностей виділення тепла через виводи. Саме процес ініціалізації матриці системи лінійних алгебраїчних рівнянь для знаходження невідомих потужностей займає більше 80% від загального обсягу обчислювального процесу.

Оскільки елементи матриці A обчислюються незалежно один від одного, обрано для розподілення обчислень ініціалізацію рядків матриці A . В якості єдиного обчислюваного процесу для системи розподілених обчислень виступає задача ініціалізації усієї матриці A . В якості підпроцесів обчислення (підзадач) виступає обчислення рядків матриці A . На основі цього побудовано алгоритм, який враховує застосування розподілених обчислень (рис.3).

Запропонована система розподілення обчислень для температурного аналізу МЕР з кристалом на жорсткі виводи складається з трьох складових – підсистем, які мають різне функціональне призначення: підсистема аналізу обчислювального аналізу, підсистема побудови розподілених обчислень, підсистема контролю (рис.4).

Основними критеріями для побудови паралельних процесів є часові характеристики обчислюваного процесу або кількість операцій [3, 6]. Підсистема аналізу обчислюваного процесу проводить попередній аналіз обчислюваного процесу і аналіз на наявність паралельних операторів. Підсистема побудови розкладу паралельного обчислення проводить вибір операторів (під оператором розуміється частина програмного модуля, підпрограма, цикл, тощо), вибір мережевих комп’ютерів і здійснює

основу свою функцію – розподіл задач. При розподілі задач для мережових комп'ютерів враховується швидкодія цих комп'ютерів і час обміну інформацією між ними.

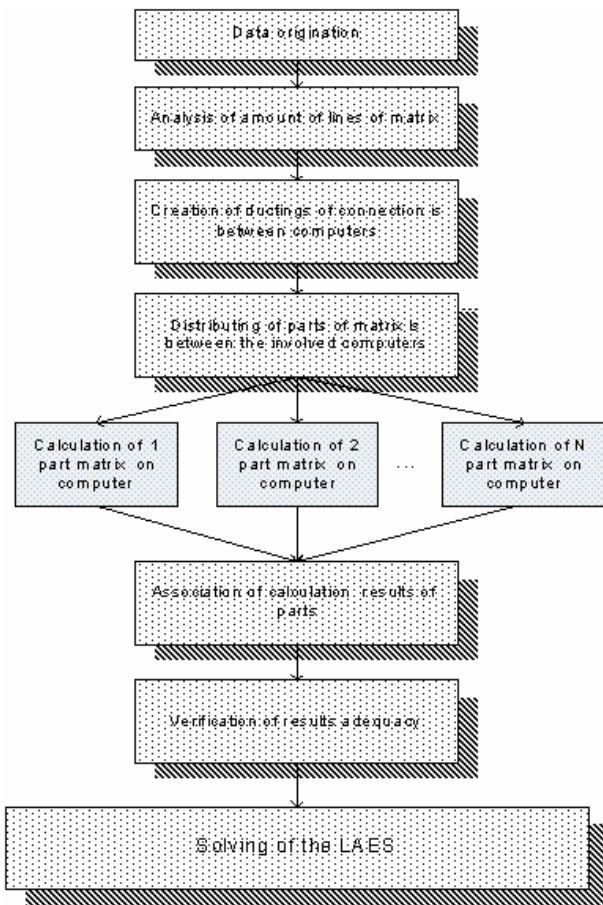


Рис. 3 – Обчислювальна схема методу з використанням механізму розподілених обчислень

Третя підсистема – підсистема контролю за обчислюваним процесом. На дану підсистему покладено виконання наступних функцій:

- контроль за розподіленими задачами за допомогою запитів до мережових комп'ютерів, при втраті контролю за обчислюваною задачею на одному з комп'ютерів, підсистема контролю повинна звернутися до підсистеми побудови паралельного обчислюваного процесу щоб провести перепланування.
- контроль за мережевими комп'ютерами, а саме за підтримкою каналів зв'язку між комп'ютерами;
- перехід до наступного кроку обчислюваного процесу тільки після завершення всіх розподілених задач;
- перевірку точності і коректності результатів.

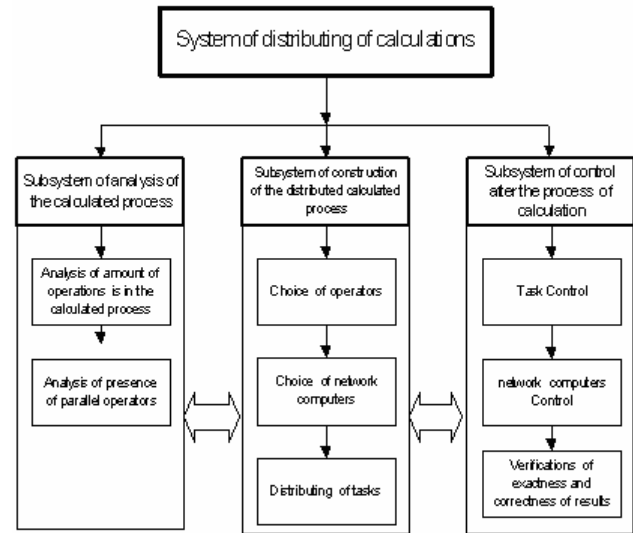


Рис. 4 – Структурна схема системи розподілених обчислень

Одна з основних вимог, що була поставлена до проєктованої системи розподілення обчислень – розподіл задач між комп'ютерами, що з'єднані в локальній і глобальній мережі, які працюють на різних багатозадачних операційних системах. Тому необхідним був вибір засобу для організації обміну даними між віддаленими комп'ютерами, який є універсальним для різних багатозадачних ОС. Одна з таких систем – бібліотека мережевого інтерфейсу Windows Sockets [9].

Для програмної реалізації системи була використана система програмування Visual C++ фірми Microsoft [9].

Дослідження ефективності застосування системи розподілених обчислень (табл. 1) проводилися для обчислення різних конструктивних моделей локально на одному комп'ютері і на двох мережових, однакових за продуктивністю комп'ютерах з процесором Athlon-2,20 ГГц.

Таблиця 1. Порівняння результатів обчислень

Кількість жорстких виводів	Час обчислення на одному комп'ютері, хв.	Час обчислення на двох комп'ютерах, хв.	Коефіцієнт зменшення витрат часу
48	4 хв. 50 с.	3 хв. 10 с.	1,53
64	10 хв. 15 с.	6 хв. 40 с.	1,54
80	25 хв. 01 с.	16 хв. 21 с.	1,53
128	38 хв. 14 с.	25 хв. 11 с.	1,52
192	100 хв. 30 с.	65 хв. 15 с.	1,54
256	162 хв. 40 с.	105 хв. 20 с.	1,54

Ефективність застосування паралельних обчислень оцінюється за допомогою коефіцієнта

зменшення часу обчислень S_p [8], який визначається за формулою:

$$S_p = \frac{t_{cuss}}{t_{dist}} \quad (9)$$

Тут t_{cuss} – час обчислень без застосування розподілення, t_{dist} – час обчислень із застосуванням механізму розподілення.

Впровадження розділення обчислень для моделювання температурних полів МЕП з кристалом на жорстких виводах дозволило зменшити витрати часу обчислення близько 30% і підтвердити ефективність застосування системи розподілених обчислень для теплового проектування МЕП.

4. ВИСНОВКИ

Описано розроблений чисельно-аналітичний метод аналізу температурних полів МЕП з кристалом на жорстких виводах. Оскільки задачі теплового проектування розв'язуються через багаторазовий аналіз температурних полів, актуальною є проблема зменшення часу обчислювальних експериментів.

З метою зменшення витрат часу побудовано систему розподілених обчислень для аналізу температурних полів МЕП з кристалом на жорстких виводах. Система розподілених обчислень працює на комп'ютерах, об'єднаних в мережу.

Застосування розподілених обчислень для аналізу температурних полів МЕП з кристалом на жорстких виводах дозволило зменшити витрати машинного часу приблизно на 30%, що підтверджує ефективність застосування концепції розподілених обчислень при моделюванні складних фізико-математичних об'єктів.

У перспективі досліджень є розв'язання задачі необхідного температурного режиму із застосуванням механізму розподілених обчислень.

5. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Федасюк Д., Левус Є. Комп'ютерне моделювання та забезпечення температурних режимів мікроелектронних пристроїв з кристалами встановленими на жорсткі виводи. *Матеріали Міжнародної конференції з індуктивного моделювання (МКІМ2002)*. Том 3, Львів, 2002, С. 335-341.
- [2] Чорна Н. Я., Левус Є. В., Федасюк Д. В. Забезпечення заданого теплового режиму в

мікроелектронних пристроях з використанням нейромережових технологій. *"Комп'ютерні системи проектування" Вісник Нац. унів. "Львівська політехніка"*. 2005, № 548, С. 38-43.

- [3] Вальковський В. А. *Распаралеливание алгоритмов и програм. Структурный подход*. М.: Радио и связь, 1989. 176 с.
- [4] Федасюк Д., Левус Є., Назар Ю. Система теплового моделювання кристалів ІС на жорстких виводах. *Зб. наукових праць "Сучасні проблеми в комп'ютерних науках"*. Львів, 2000, С. 122-126.
- [5] Федасюк Д. В., Левус Е. В., Петров Д. В. Конструктивные методы обеспечения тепловых режимов в кристаллах ИС, установленных на жесткие выводы. *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2002, № 2, С.51-57.
- [6] Гофф М. К. *Сетевые распределённые вычисления: достижения и проблемы*. Перевод с английского. – Москва: "КУДИЦ-Образ", 2005, 320 с.
- [7] Yu. Semchyshyn, D. Fedasyuk. Analysis of computational complexity and time losses of the distributed computing systems. *Proceedings of the IXth International Conference CADSM-2007*. 2007, pp. 415-417.
- [8] Ортега Дж. *Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем*. М.: "Мир", 1991, 365 с.
- [9] Левус Є. Застосування розподілених обчислень в задачі аналізу температурних полів МЕП з кристалом на жорстких виводах. *Proc. of III Intern. Conf. "Computer Science and Information Technologies (CSIT'2008)"*, Lviv, 2008, p. 414-418.



Свєнєнїя Левус, спеціальність "Прикладна математика" та "Комп'ютерні системи проектування", к.т.н. за спеціальністю "Автоматизація проектувальних робіт", доцент кафедри програмного забезпечення.

Наукові інтереси: розробка математичного та програмного забезпечення для систем автоматизованого проектування мікроелектронних пристроїв, декларативне програмування.



THE NUMERAL ANALYTICAL METHOD WITH THE DISTRIBUTED CALCULATIONS FOR THE ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELDS OF FLIP CHIP STRUCTURE

Yevheniya Levus

Lviv Polytechnic National University,
S.Bandera St. 12, Lviv, 79013 Ukraine,
elevus@polynet.lviv.ua

Abstract: *The numeral analytical method of analysis of the temperature fields of Flip-chip structures is described in the article. The problem of time reduction of the temperature analysis procedure of microelectronic device is considered. A problem is of current importance, since a problem of providing necessary temperature condition of device functioning is solved through frequent implementation of the temperature fields analysis. One of the effective methods of solving this problem is the use of the distributed calculations. The calculable chart of the temperature analysis method is described with the use of mechanism of the distributed calculations. The presented results of calculations specify on efficiency of application of the distributed calculations with a coefficient equal to 1,5.*

Keywords: *microelectronic devices, Flip-chip structure, mathematical model, distributed calculations.*

1. INTRODUCTION

For providing the required thermal behavior of microelectronic devices (MED) the effective methods and facilities of the thermal designing are needed. It causes the complication of mathematical models and methods, and that results in the increase of the machine time expenditure. Even rapid development of computer technics, namely the construction of more rapid numeric processors, is incapable fully to solve this problem [1].

The task of providing necessary temperature condition comes to finding such values in enormous "space of parameters", which contains hundreds of thousands of various elements, at which the obtained values of temperature will not exceed allowed value. The analysis problem always can be solved with either one or another method, when there are all the necessary data for a calculation. As the matter of fact the task of forming of set of parameters, at which necessary temperature condition is provided, comes to sorting out of variants, i.e. solving this problem through the multiple analysis of the temperature fields [2]. Therefore a problem of the machine time reduction of the MED temperature analysis procedure is of current importance. One of the variants of solving such problem is the use of distributed calculations [3, 4].

2. THE TASK OF THE TEMPERATURE FIELDS ANALYSIS

The Flip-chip structure construction is considered here. MED of this class have a number of structural, technological and operating advantages, and that caused extraordinary distribution in modern microelectronics and their application in various devices.

The basic components of Flip-chip construction (fig.1) is a chip and sublayer, flat sources of heat, placed on the lower active area of chip, hard outlet. Outlets are distinguished by the geometrical form, the material they are made of, by a contact with the layers of sublayer and by the role in the process of heat taking. The type of outlets is determined depending on the depth of contact with sublayer. In the case of contact of outlets with the surface of sublayer it is talked about alarm outlets, in the case of penetration of column of outlets in the layers of sublayer – about structural outlets.

Mathematical model of the stationary three-dimensional temperature fields of multi-layered chip and sublayer is set as two edge problems of heat-conducting in the form of differential equations systems in the partial derivatives of the second order (1) with edge conditions which modulate heat dissipation from the surfaces of construction structure (2)-(7). Between the layers of chip (sublayer) the conditions of ideal thermal contact are set (8). On the basis of

conditions of the thermal streams continuity through outlets, which link the areas of chip and sublayer, the system of linear algebraic equations is formed for the determination of powers of thermal streams through outlets from the chip area to the sublayer area [1, 4].

The algorithm of the temperature value calculation in the arbitrary point of the MED construction consists of four calculable procedures (fig.2). The first part of algorithm of calculable process has most calculable complication. In its turn, it is possible to distinguish 2 components: initialisation of matrix of the linear algebraic equalizations system (8) and solving of the system by the Gauss method. Every element of the matrix is calculated independently of each other and is determined by the input data which describe a construction.

Each element of matrix is the result of calculation of expression from the sums of the trigonometric Fourier series with 80 members of row. For this reason a calculation of elements of a_{ij} needs a lot of time.

Thus, the amount of hard outlets of model constructions sets necessary requirements in resources for the analysis of the temperature fields.

3. THE APPLICATION OF THE MECHANISM OF THE DISTRIBUTED CALCULATIONS

One of the problems of temperature calculation for the above-described construction is the duration of calculation of powers of calorification through outlets. The process of initializing of matrix of the linear algebraic equations system for finding unknown powers takes 85% from the general volume of calculable process.

As elements of matrix A are calculated independently of each other, initialization of lines of matrix A is selected for the distribution of calculations. The problem of initialization of the whole matrix A is the unique calculation process for the system of the distributed calculations. The calculation of lines of matrix A is the calculation subprocess (subgoals). On these bases the algorithm which takes into account the application of the distributed calculations is created (fig.3).

The offered system of calculations distribution for the temperature analysis of MED with a Flip-Chip consists of three constituents – subsystems which have the different functional preordination: the subsystem of analysis of calculable analysis, the subsystem of construction of the distributed calculations, the control subsystem (fig.4).

The basic criteria for the construction of parallel processes are time characteristics of the calculation process or the amount of operations [3, 6]. The subsystem of the calculation process analysis conducts the preliminary analysis of the calculation process and

the analysis on presence of parallel operators. The subsystem of construction of curriculum of parallel calculation conducts the choice of operators (here operator is understood as a part of the program module, subprogram, cycle etc.), choice of network computers and carries out its basic function – distribution of tasks. At distribution of tasks for network computers the fast-acting of these computers and time of information exchange between computers are taken into account.

The third subsystem is a control subsystem of the calculation process. This subsystem has the following functions:

- to control the distributed tasks by queries to the network computers. At the loss of control of the calculation task on one of the computers, the control subsystem must appeal to the subsystem of the parallel calculation process construction to conduct replanning;
- to control network computers, namely the support of connection channels between computers;
- to switch to the next step of the calculation process only after completion of all of the distributed tasks;
- to verify the results accuracy and correctness.

One of the main requirements for the designed system of calculations parallelization is distribution of tasks between computers which are connected in a local and global network, which work on the different multitask operating systems. Therefore it was necessary to choose the mean for organization of data exchange between remote computers, which is universal for different multitask operating systems. One of such systems is network interface library of Windows Sockets. The programming system Microsoft Visual C++ was used for program realization of the system.

The research of application efficiency of the distributed calculations system (table. 1) was conducted for the calculation of different structural models on one local and on two network computers, which have the identical productivity with the processor of Athlon-2,20 GHz.

Introduction of calculations parallelization for the design of the temperature fields of Flip-chip allowed to decrease time expenses of calculation on 30% and to confirm efficiency of application of the system of calculations parallelization for the thermal planning of MED.

4. CONCLUSIONS

With the purpose of time reduction the system of the distributed calculations has been built for the analysis of the temperature fields of Flip-chip. The distributed calculations system works on network computers. Application of the distributed calculations for the analysis of the MED temperature fields with a chip on hard outlets allowed decreasing the machine time expenses on 30%.