

С.П. Новосядлий, Р.М. Іванюк

Дослідження і моделювання теплових процесів в потужних ІС

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Галицька, 201, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна*

Теплове моделювання процесів в структурах інтегрованих схем є актуальною задачею при збільшенні ступеня інтеграції ІС. Правильне моделювання електричної топологічної та теплової схем з наступними процесами верифікації підвищує на порядок якість топології, особливо в екстремальних режимах роботи ІС.

Ключові слова: конвекцією теплового обміну, тепловий опір, потужність розсіювання, аналогові ІС, топологічні схеми.

Стаття поступила до редакції 06.10.2005; прийнята до друку 10.10.2006.

Локальне розсіяння потужності елементами ІС при певних умовах викликає суттєві температурні градієнти як в кристалі, так і в корпусі інтегральної схеми. Це в загальному рахунку приводить до сильної зміни електричних режимів і характеристик всієї схеми, зниження її надійності.

Температурні обернені зв'язки можуть сильно погіршити робочі характеристики, особливо в аналогових ІС; їх можна використати як додатковий засіб керування характеристиками схеми ще на стані її проектування.

Особливості теплового режиму ІС визначаються як топологією структури, так і конструкцією корпусу

ІС, топологічними проектними нормами, кріпленням кристала до основи корпусу чи стрічкового носія, теплоємністю і теплопровідністю використовуваних матеріалів, зокрема пластмас, металів, сплавів.

Відвід тепла від корпусу ІС здійснюється за рахунок трьох фізичних процесів:

- 1) теплопровідності елементів монтажу;
- 2) конвекцією теплового обміну між кристалом, корпусом, внутрішнім і зовнішнім середовищем;
- 3) випромінювання кристалом та корпусом ІС.

В середині корпусу ІС теплообмін проходить в основному за рахунок теплопровідності основних елементів кристала і корпусу (стрічкового носія).

Таблиця 1

Теплопровідність конструктивних матеріалів ІС

№	Назва матеріалу	теплопровідність Вт/м*°С
1	Алюміній	209
2	Кремній	130
3	Германій	59
4	Золото	310
5	Евтектичний сплав Au-Si	246
6	Берилієва кераміка (Бромерта)	167
7	Амомосилікатна кераміка (М7)	13,7
8	Ковар (Fe-53, Ni-29, Co-18)	19,2
9	Мідь	390
10	Молібден	146
11	Вольфрам	126
12	Нікель	85
13	Олово	65
14	Срібло	415
15	Фторопласт	0,03
16	Сплав АК-1	216
17	Епоксидні компаунди (пластмаса)	0,2-0,6

Стационарний тепловий потік P в напрямі X через однорідний провідник тепла з площею поперечного перерізу S підпорядковується закону Фур'є:

$$p = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу провідника, Вт/м \cdot $^{\circ}\text{C}$. Тому дуже важливим моментом у правильному виборі конструктивного чи технологічного варіанту є вибір матеріалів з високою теплопровідністю. Для деяких матеріалів значення λ подано в таблиці 1.

В стаціонарному режимі розподіл температури в однорідному твердому тілі при передачі тепла тільки за рахунок теплопровідності описується рівняннями Пуассона в тривимірному випадку у вигляді:

$$\nabla^2 T + \frac{F(x, y, z)}{\lambda} = 0, \quad (2)$$

де ∇ – оператор Лапласа ($\nabla = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}$);

$F(x, y, z)$ – густина потужності джерела тепла. Джерелом тепла в інтегральній схемі є топологія ІС, а саме: діоди, транзистори, резистори та провідники.

Конвекційним теплообміном на межі твердого тіла з температурою T і газоподібним середовищем з температурою T_c підпорядковується вже закону Ньютона, який записується як:

$$P = \alpha_k (T - T_c) S_0, \quad (3)$$

де P – кількість тепла, що переноситься в одиницю часу від твердого тіла в газоподібне середовище; α_k – коефіцієнт теплопередачі конвекцією; S_0 – площа поверхні теплообміну.

При природній конвекції на спокійному повітрі $\alpha_k = 2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, а при обдуві повітрям $\alpha_k = 10\text{--}100 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. В цьому випадку для покращення теплообміну використовують масивні мідні радіатори з великою площею.

Потік енергії за рахунок теплового випромінювання тіла з температурою T в навколишнє середовище з температурою $T_{\text{навк}}$ визначається іншим співвідношенням:

$$P = \varepsilon S_n \sigma (T^4 - T_{\text{навк}}^4) \quad (4)$$

де S_n – площа поверхні випромінюючого твердого тіла; σ – постійна Стефана – Больцмана; ε – коефіцієнт пропорційності, що характеризує степінь чорноти поверхні твердого тіла ($\varepsilon = 0,8\text{--}0,95$ для пластмас і кераміки) і ($\varepsilon = 0,05\text{--}0,2$ для неполюрованих металевих поверхонь).

Для багатьох практичних задач коефіцієнт теплопередачі променевого теплообміну визначають на основі співвідношення:

$$\alpha_{\text{пром}} = \varepsilon \sigma = 0,227 \varepsilon \left(\frac{T + T_{\text{навк}}}{200} \right)^3 \quad (5)$$

Для покращення теплових розрахунків зазвичай використовують метод електротеплової аналогії, тоді потік теплової енергії P аналогічний електричному струму I , температура T – електричному потенціалу ϕ , λ – аналог питомій електропровідності, тоді для розрахунку теплових кіл використовують методи

електричних кіл. Співвідношення

$$R_T = \frac{x_2 - x_1}{\lambda S} = \frac{\Delta x}{\lambda S} \quad (6)$$

визначається як тепловий опір, для якого аналогом вже є електричний опір. Для конвективного і променевого теплообміну тепловий опір знаходиться із співвідношення відповідно:

$$R_{\text{ТК}} = \frac{1}{\alpha_k S}; \quad R_{\text{Тпром}} = \frac{1}{\alpha_{\text{пром}} S} \quad (7)$$

Таким чином, еквівалентна схема теплопередачі від джерела тепла (кристала) до навколишнього середовища може бути подана як показано на рис. 1,

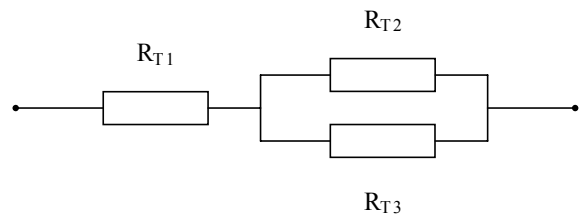


Рис. 1. Еквівалентна схема теплопередачі від кристала в корпус ІС.

де R_{T1} – тепловий опір кристал-поверхня; R_{T2} – тепловий опір конвекційного обміну; R_{T3} – тепловий обмін променевого обміну корпус-середовище. Тому тепловий опір кристал-середовище буде визначатися як

$$R_T = R_{T1} + \frac{R_{T2} R_{T3}}{R_{T2} + R_{T3}}, \quad (8)$$

де опір R_T , представляє опір теплопередачі за розміром теплопровідності через основу корпусу та через його виводи які з'єднанні відвідними перемичками з контактними пластинками кристалу.

Можливі і інші варіанти еквівалентних схем заміщення теплопередачі в залежності від конструкції корпусу чи стрічкового носія.

Значення теплового опору для різних типів ІМС приведені в таблиці 2.

Таблиця 2
Значення теплового опору корпусів ІС

№	Тип корпусу	Маса Γ	Тепловий опір $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
1	301.12.1	1,25	200
2	041.14.3	0,4	250
3	201.14.1	0,9	150
4	151.15.2	1,9	100
5	151.15.3	1,6	110
6	153.15.1	1,5	95

Значення теплового опору сильно залежить від способу монтажу кристала в корпус (через евтектику чи клей), кількості перемичок розведених на виводи ІС, товщини кристалу, конструкції кристалотримача стрічкового носія, умов відводу тепла від корпусу ІС, наприклад використання радіатора та інше.

Якщо відомий тепловий опір корпусу, то можна визначити теж температуру нагрівання кристалу

$$T = T_{\text{навк}} + R_{\text{T}}P \quad (9)$$

де P – потужність, що виділяється на кристалі структури ІС.

При збільшенні степеня інтеграції ВІС дуже гостро стає проблема надійного відведення тепла від корпусу та підвищення їх надійності. Нами реалізований цілий ряд робіт, направлений саме на вирішення даної проблеми [1]:

1. Розробка локального електроіскрового нанесення покриття на корпуса та стрічкові носії та дослідження на цій основі величин і стабільності теплового опору та теплостійкості.
2. Заміна евтектичного монтажу кристалів ВІС в корпус та теплоелектропровідне клеєве з'єднання та визначення оптимальних значень його компонентів для мінімізації теплового опору.
3. Зменшення величини контактних площадок на структурах кристалів ВІС з площею $> 25 \text{ мм}^2$ з метою заміни термокомпресійної зварки методом кульки золотого чи мідного мікродроту на ультразвукову зварку клином алюмінієвого мікродроту із сплавом АК-1, легованого РЗМ та мінімізації його впливу на тепловий опір.
4. Розробка технологічного процесу утонення кремнієвих пластин із структурами ВІС та формування рифленої оберненої сторони у вигляді V та U – подібних канавок для зменшення перехідного контактного і теплового опорів.
5. Удосконалення технології виготовлення пресматеріалу на основі епоксидної смоли та наповнювачів для покращення характеристик при литві та надійності пластмасової герметизації з використанням тепло відводів (радіаторів).
6. Вибір оптимальної конструкції стрічкового носія для забезпечення мінімального теплового опору пластмасового корпусу.

В виробництві корпусів для силових напівпровідникових приладів та ІС, як правило, використовувались покриття із благородних металів (золото, срібло, паладій) для здійснення монтажу напівпровідникових структур кристалів та внутрішніх виводів. Такі функціональні покриття отримують переважно шляхом гальванічного нанесення відповідного матеріалу. Для здійснення надійної спайки напівпровідникової структури при монтажі кристала мінімальна товщина покриття повинна бути біля 3 мкм . Великі кількості виготовлюваних напівпровідникових приладів та ІС, технологічні труднощі для забезпечення якісної хімічної підготовки поверхонь до нанесення гальванічних покриттів, зміна складу гальванічних ван і їх забруднення, а також значні питомі витрати золота (по даним фірми «Електрован»- Австрія, на 1000 шт. корпусів ТО39/3 витрачається 18 г золота) обумовило необхідність не тільки в покращенні технології отримання якісних покриттів, але і в заміні локальних (суцільних) покриттів локальними, тобто введення розмірів покриття до дійсно необхідних. Перші результати в цьому напрямі отримані фірмою

«Оксі метал фінішінг юроп» за допомогою установки селективного точкового золотого покриття інтегральних схем і транзисторів у вигляді стрічок [3]. По даним фірми, застосування цього методу зменшує витрати золота на 90% при виготовленні корпусів ІС за рахунок зменшення площі. Проте в цьому методі не вирішені питання якісної підготовки поверхні до нанесення покриття і його адгезія.

В мікроелектроніці для виробництва корпусів ІС в пластмасових корпусах використовувались стрічкові носії, в яких використовувався спосіб плакування золотої чи алюмінієвої фольги на основну стрічку із сплаву Fe-Ni або міді, із якої штамнують відповідні рамки. В цьому способі теж використовуються спеціальні пристрої і установки в технології для забезпечення якісного плакування: це чистота процесу плакування, яку реалізувати на валках практично неможливо. Викладене вище підтверджує необхідність удосконалення і створення нових методів для локального нанесення функціональних покриттів із металів і сплавів у виробництві як силових напівпровідникових приладів, так і великих інтегральних схем з великою потужністю розсіювання.

Розроблений нами новий спосіб локального електроіскрового нанесення покриттів із металів і сплавів розкриває нові можливості його застосування у виробництві ВІС [1]. Проведені комплексні лабораторні дослідження і виробничі випробування ряду схем підтвердили можливість використання даного способу нанесення різних локальних покриттів і його високу ефективність як економічну, так і надійнісну. Отримані даним способом локальні покриття відповідають повністю вимогам до корпусів структур ВІС, а саме забезпечують:

- надійний тепловідвід;
- збереження цілісності ВІС при термоциклах і термообробках;
- високу виносливість при вібраціях і ударах;
- малий омичний опір при монтажі кристалів;
- відсутність утворення додаткових р-п-переходів;
- висока механічна сила зв'язку-адгезії покриття;
- повна відсутність забруднень, наклепу, деформації структури стрічки;
- можливість виконання наступних операцій складання, бо повністю усувається сабельність стрічки;
- надійний спай скла з коваром та демпферування термічних напружень;
- можливість формування бар'єрних шарів до контактних металів;
- висока корозійна стійкість покриття.

Для реалізації локального-електроіскрового нанесення покриттів на металогалені корпуси типу 301.12.1 та 041.14.3 і 7-кадрові і 14-вивідні стрічки була створена на базі установки ЕМ 4060 установка « α -112». Нанесення локального покриття здійснювалося в автоматичному режимі локально на основі корпусів та стрічкового носія з допомогою спеціальних головок для локального електроіскрового нанесення різних покриттів: золото -

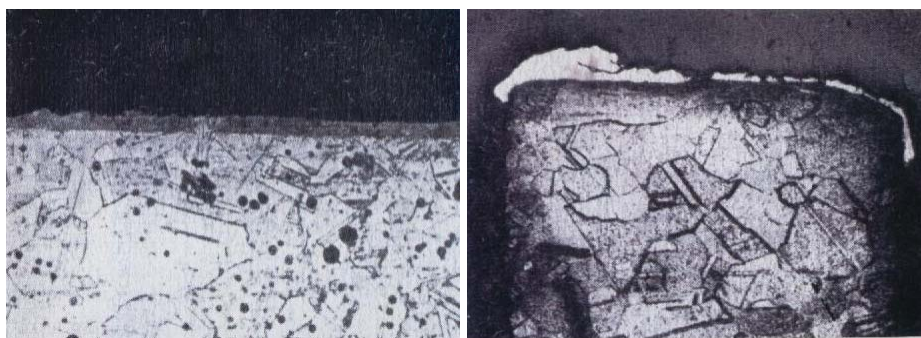


Рис. 1. Шліфи золото-кремнієвих і алюмінієвих покриттів.

кремній, золото-срібло, нікель-бор, алюміній-кремній, алюміній-кремній-гольмій, необхідних для монтажу внутрішніх виводів. На першій позиції проходить електроіскрова очистка поверхні перед формуванням покриття. Нанесення локального покриття здійснюється імпульсним електроіскровим способом в режимі $U = 20-35$ В, $I = 1-15$ А, $\tau = 0,1-0,5$ мс і визначається видом і товщиною нанесеного покриття. Товщина покриття змінювалася в межах 1-3 мкм. На рис. 1 показані шліфи золото-кремнієвого і алюмінієвого покриттів, нанесених локальним електроіскровим способом. Значний інтерес представляє застосування способу локального електроіскрового нанесення покриття на рамки вивідні ІС (рис. 2). Площа і розмір локального покриття визначається розміром структури кристалу ВІС та видом розварки внутрішніх виводів.

Заміна приклеювання кристалів різними епоксидними клеями евтектичною спайкою структур на основі кремній - алюмінієвого сплаву забезпечує зниження теплового опору в 1,5-3 рази, забезпечуючи відмінний тепловідвід в робочому режимі ІС.

Даний спосіб формування локального покриття може бути використаний для формування

локального покриття, також для формування робочих контактних поверхонь для контактуючих пристроїв. При цьому можливі два варіанти застосування способу локального електроіскрового нанесення в контактній техніці:

а) шляхом програмного нанесення покриттів на стрічковий матеріал перед його штампуванням контактних заготовок;

б) шляхом нанесення локальних покриттів на готові контактні елементи з послідуною їх формовкою. На рис. 3 показано структура локальна структура срібного покриття, нанесеного на контактну поверхню із сплаву Fe-Ni. Оригінальністю даного способу полягає в тому, що для різних схем (потужних) можна змінювати теплопровідність покриття, формуючи шарові структури із матеріалів з високою теплопровідністю та теплостійкістю.

Для зниження теплового опору корпусів ВІС необхідно використовувати матеріали з високою теплопровідністю, великою площею зворотної сторони кристалу і малим перехідним опором контакту. Коли під контактом створюється тонкий легований n^+ чи p^+ шар з поверхневим опором β , то опір контакту визначається виразом:

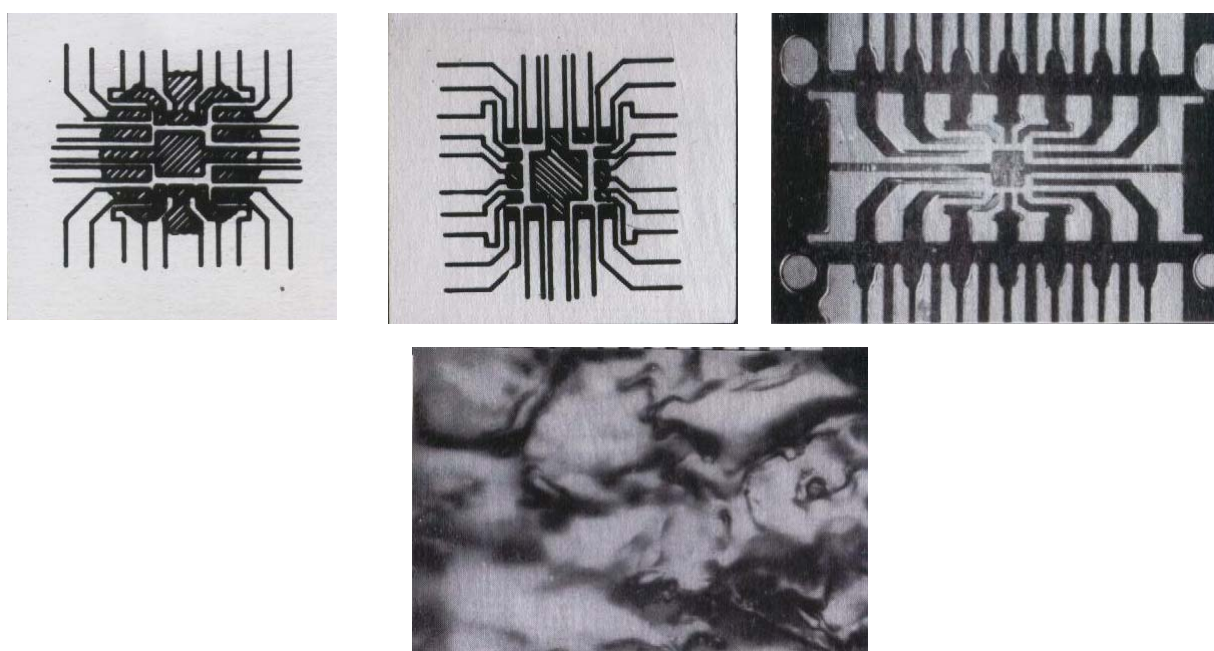


Рис. 2. Нанесення покриття на вивідні рамки ІС і його структура.

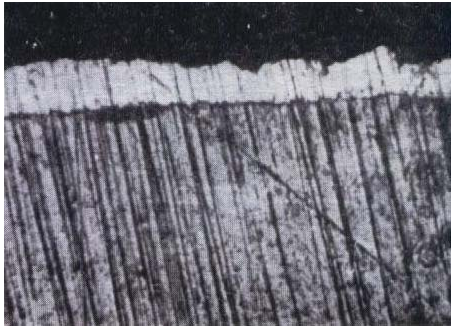


Рис.3. Мікроструктура локального електроіскрового срібного покриття.

$$\Delta x = \frac{\rho_k}{bl} [btcth(bt)]^2 = \frac{\rho_s b}{l} \left[\frac{cth(bt)}{bt} \right]^2 \quad (9)$$

де b, l – товщина і ширина контакту, а $t = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_k}}$

Нами розроблено також технологічний процес зниження контактного опору на тильній стороні кремнієвих структур ВІС при їх монтажі в корпус шляхом іонно-плазмового розпилення в плазмі аргону хромових сплавів ВХ-2К, ВХ-2У, що містить 96,5-99,8 % хрому, 0,2-2 % ванадію, 0,3-1,5 % домішок, що містять один із групи метал Al, Ti, Ni, Mo, Ta, Nb при густині струму на мішень 3,3-4,2 mA/cm², напруги розряду 1-1,2 кВ і тиску (2-5)*10⁻² Па в робочій камері розпилено установки «Ораторія-5». Це забезпечує перехідний опір контакту зворотної сторони на рівні 1,8-3,0 Ом/□. [2]

Зниження контактної опору структури ВІС, а значить і теплового опору при монтажі кристалів в корпус досягається також за рахунок формування на тильній стороні кремнієвих пластин із структурами ВІС контактно-металізованої системи у вигляді U чи V подібних канавок плазмовим анізотропно-ізотропним травленням та шаром поліциду (легований полі-Si + силіцид титану), які формуються в певній послідовності.

Після формування структур ВІС перед створенням контактів і металізації структур ВІС формують поліцидну плівку на тильній стороні Si - пластин із структурами, в яких витравлені: U - чи V – подібні канавки з повним кроком і визначають загальну площу контакту. Плівку силіциду тугоплавкого металу формують магнетронним

розпиленням мішені Si-Ti на установці «Ораторія-5» в режимі $U = 3,7 \pm 1,0$ кВ, $I_p = 0,5-0,9$ А, $f = 13,56$ МГц, $T = 250-350^\circ\text{C}$, $P = 1-7$ Па. Як матеріал мішені використовується сплав Si і тугоплавкого металу Ti, Ta, Mo, W, Co, Ir, Rh, Nb. Після швидкого фотонного відпалу-активації при $T = 500^\circ\text{C}$ в атмосфері аргону формують плівку поліциду. З поверхневим опором $\rho \leq 1,5$ Ом/□. Таким чином сформована поліцидна плавна рельєфної структури на зворотній стороні Si-пластин забезпечує низький і стабільний опір контакту як електричного, так і теплового при монтажі ВІС у корпус чи стрічковий носій, особливо коли схеми мають електричне зміщення на Si-підкладку. Зниження перехідного контактного опору зворотної сторони кристалів ВІС досягається також металізацією тильної сторони сплавом алюміній - кремній з вмістом в ньому тугоплавкого або РЗМ в кількості: 1 % Si, 1 % РЗМ або тугоплавкого [3,5].

Підвищення ступеня інтеграції ВІС до 6-7 вимагає утворення інтерметалів AlAu зменшення контактних площадки з 120 мкм до 100 мкм та зміни термокомпресійної зварки золотою кулькою на ультразвукову зварку алюмінієвого мікродроту Ø35 мкм.

Для дослідження зварюваності алюмінієвої металізації структур ВІС використовувалась нами алюмінієвий мікродріт, легований кремнієм та РЗМ(Нo, Ce, La) типу АКН₀09ПМ35. Зварка проводилась на ультразвуковій установці типу УЗСА-1 в наступному діапазоні параметрів зварки: амплітуда коливань кінця інструмента 0,1-1,5 мкм, тиск інструмента 0,3-0,5 Па, час зварки 0,035-0,05с. Оцінка зварки проводилась на установці контролю 12МПО-05/100-/ за критеріями якості ВІС.

Металізація на Si-пластини із структурами наносилась вакуумним осадженням на установці «Ораторія-5» з магнетронною системою розпилення сплаву АКГ₀-1-1. Термообробка для отримання високої адгезії до діелектричного покриття Si-пластини (ФСС або поліімиду) проводилась в середовищі азоту при $T=475^\circ\text{C}$ протягом 25–35 хв. Металізація контактних площадок корпусів і стрічкових носіїв проводилась локальним електроіскровим способом із стержнів сплавів АК-1, легованих теж РЗМ: Се, Нo, La.

Проведена статистична обробка результатів контролю міцності (М33) мікрозварних з'єднань алюмінієвих провідників з контактними площадками ВІС дозволила визначити середні значення по зварюваності, що відображені в таблиці 3.

Таблиця 3

Міцність М33 легованих РЗМ алюмінієвих провідників з алюмінієвою металізацією, легованих кремнієм та РЗМ

№	Оціночний параметр	Рівень зварюваності			
		АК-1	АК-1 легований Се	АК-1 легований Нo	АК-1 легований La
1	Середня міцність зварного з'єднання, Н	6,5	7,0	8,8	12,4
2	Середнє квадратичне відхилення, Н	2,0	1,6	1,4	1,2
3	Коефіцієнт варіації, %	30,7	17,9	16,2	12,3

Аналіз отриманих результатів показав, що в залежності від вмісту домішки величина мікрозварних з'єднань є різною. Слід відмітити, що забезпечується допустимий рівень міцності для мідних стрічкових носіїв ВІС під герметизацією пластмасою $P \geq 8$ Н. Крім того, внаслідок того, що алюмінієвий мікродріт легший за золотий в декілька раз, то механічна міцність таких з'єднань до вібрацій, ударів та мікроциклів зростає на порядок, а утворення інтерметалів зовсім відсутнє.

Теплопровідність алюмінію є досить високою, а кількість внутрішніх перемичок в корпусі ВІС складає > 40 , то значна теплопередача здійснюється через внутрішні алюмінієві виводи, зменшуючи при цьому тепловий опір корпусу, майже на 25-30 %.

Зменшення теплового опору ВІС здійснюється також за рахунок утонення кремнієвих пластин із сформованими структурами від 450-500 мкм до 250-270 мкм. Процес утонення Si-пластин здійснювався в автоматичному режимі на лінії хімообробки «Лада» з використанням розчину плавикової-азотної-надоутової кислот у деіонізованій воді в співвідношенні 1:1:2:1. величина теплового опору евтектичного з'єднання при цьому знижується на 10-15%.

Посадка структур кристалів ВІС через евтектичний сплав створює на зворотній стороні кристалів при їх монтажі в корпус або стрічковий носій дуже високі термічні напруження, що, зазвичай, приводить до розрушення евтектичного сплаву для кристалів великої площі ($> 12 \text{ мм}^2$). Шляхи зниження теплового опору ілюструє рис. 5, а його мінімізація забезпечується моделюванням процесу теплопереносу.

Тому для монтажу великих кристалів ВІС з площею $> 12 \text{ мм}^2$ на стрічковий носій або в метало-склений чи метало-керамічний корпуси використовується розроблений нами теплоелектропровідний клей[6]. Такий клей синтезується на основі розчину резольної фенолформальдегідної смоли в етанолі сухим залишком 55-65 % та розчину гумівної суміші на основі бутадієнітрильного каучуку в бутилацетаті з сухим залишком 16-18 % в масовому співвідношенні 1:2,0-2,7, а в ролі наповнювача використовується силіцид (поліцид) перехідного металу і легований кремній n^+ -типу.

Тепло від пластмасового корпусу ВІС відводиться через стрічковий носій, який, як правило, виготовляють на основі мідних сплавів на основі сплаву Fe-Ni-42 з плакованою чи металізованою алюмінієм площадкою.

Якщо використовується корпусне виконання ВІС, то для забезпечення високої теплопровідності використовують берилієву кераміку або кераміку на основі алюмосилікату.

Спеціально для великих інтегральних схем (мікропроцесорів і мікроконтролерів) серії КР 580,

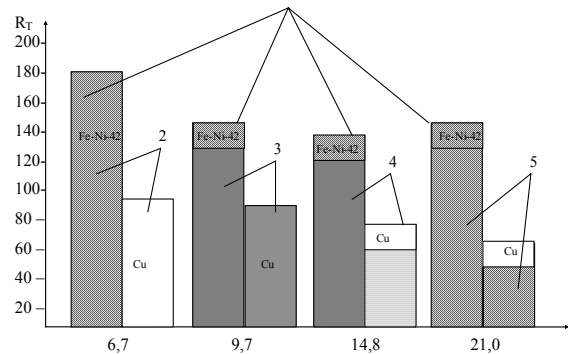


Рис. 5. Залежність теплового опору 40-вивідного пластмасового корпусу від теплопровідності пластмаси 1, матеріалу рами 2, застосуванням розтікача 3, теплопровідного клею 4, утонення кристалу 5.

КР 1816 ВЕ 49/39, КР 1830 ВЕ 48/35; КР 1810 ВМ 86, КР 1810 ВТ 37 розроблений нами пластмасовий корпус ВІС, що містить в собі рамку вивідну, склеєну тильною стороною з металевим ободком (FeNi-42), а для забезпечення високої температурної стійкості та надійного відводу тепла металевий ободок виконаної із теплокомпенсуючими кутовими прорізами, розміщеними по параметру зони монтажу кристалів, у формі шестикутника, а зовнішня сторона ободка покрита теплопровідною плівкою. Для підвищення теплопровідності пластмасової композиції до неї додають як наповнювач до SiO_2 1-2 % дрібнодисперсного алюмосилікату чи окислу дисперсного срібла.

Для радикального зниження теплового опору до величини $30-50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{вт}$ – вивідних пластмасових корпусів ВІС нами розроблена конструкція і технологія виготовлення мідних та анодованих із алюмінію радіаторів, які монтується в процесі герметизації в тильну сторону корпусу або здійснюється металізація оберненої сторони корпусу.

Новосядлий С.П. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіофізики та електроніки;
Іванюк Р.М. – аспірант кафедри радіофізики та електроніки

- [1] С.П. Новосядлий. *Фізико-технологічні субмікронні технології великих інтегральних схем*. Сімене. Івано-Франківськ. 351 с. (2003).
- [2] С.П. Новосядлий. Локальне електроіскрове осадження плівок в технології електронного приладобудування // *Тези міжнародної конференції «Сучасне машинобудування»* Київ. с 37. (2001).
- [3] С.П. Новосядлий. Розроблення нових матеріалів і методів формування бездефектної корозійностійкої металізації // *Метафізика і новітні технології-200*, 22(1), сс. 51-59.

- [4] С.П. Новосядлий, А.И. Остапчук, Б.С. Благий. Теплоэлектропродный клей для микроэлектроники. ДСП / *Авт. св. СССР № 1815988 від 24.04.1990*. 4 с.
- [5] С.П. Новосядлий, Б.М. Савчук. Способ формирования металлизации БИС. ДСП. / *Авт. Св. СССР №1831205 від 13.10.1992*, 2 с.
- [6] С.П. Новосядлий. Особливості кристального монтажу ВІС в корпус в системній технології мікроелектроніки // *Технологія приладобудування*, (3), сс. 23-25 (2000).
- [7] Д.В. Федасюк. *Методи та засоби теплового проектування мікроелектронних пристроїв*. Видавництво ДУ «Львівська політехніка». Львів. 128 с. (1999).

S.P. Novosyadlyy, R.M. Ivanyuk

Investigation i and Design of Thermal Processes is in Powerful IS

*'Vasyl Stefanyk' Prekarpathian National University
201, Galytska Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine,*

The thermal design of processes in the structure of the integrated schemes is actual task at the increasing of the degree of integration of IS. The correct design of the electrical topological and thermal schemes with the next processes of verification promotes the quality of topology on an order, especially in the extreme condition of the work of IS.