

Stanisław KUCYPERA

Instytut Techniki Ciepłej
Politechniki Śląskiej

MOŻLIWOŚĆ OKREŚLENIA GRUBOŚCI I POŁOŻENIA SZCELIN POWIETRZNYCH
POWSTAJĄCYCH PRZY MONTAŻU UKŁADÓW SCALONYCH PRZEZ BADANIE
CHARAKTERYSTYKI TEMPERATUROWEJ ZŁĄCZA PÓŁPRZEWODNIKOWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcję badania położenia i grubości szczelin powietrznych powstających przy montażu układów scalonych polegającą na porównaniu obliczeniowej i pomiarowej charakterystyki nagrzewania złącza półprzewodnikowego. Dokonano ogólnego przeglądu konstrukcji układów scalonych i pokazano gdzie mogą powstawać szczeliny powietrzne podczas ich montażu. Scharakteryzowano modelowaną strukturę i podano przykładowe wyniki obliczeń. Przedstawiono możliwość wykorzystania charakterystyki nagrzewania złącza półprzewodnikowego do określenia grubości i położenia szczelin powietrznych w układach scalonych.

1. Wstęp

Ciepło generowane w strukturze półprzewodnikowej (na skutek rozpraszania mocy elektrycznej) wywiera decydujący wpływ na pracę układów scalonych. Niewłaściwy jego odpływ z obszaru czynnego może spowodować przegrzanie złącza półprzewodnikowego. Prowadzi to w początkowym okresie do zakłóceń parametrów elektrycznych, a w ostateczności do zniszczenia struktury półprzewodnikowej.

Z reguły układy scalone są konstrukcjami wielowarstwowymi. Warstwy te mają różne właściwości fizyczne (przewodność cieplną λ , ciepło właściwe c , gęstość ρ oraz grubość l), co ma wpływ na sposób przepływu ciepła przez poszczególne warstwy. Niedokładne przyleganie warstw, które można zaliczyć do wad technologicznych montażu, ma dla cienkich warstw konstrukcji obudowy negatywny wpływ na jakość przepływu ciepła od źródła do odbiornika (którym jest zwykle otaczające układ powietrze). Głównym celem pracy jest pokazanie jak analizę procesu nagrzewania obszaru czynnego półprzewodnika w początkowej fazie rozprzysięcia ciepła, tzn. w czasie przepływu ciepła od źródła do radiatora można wykorzystać do określenia grubości i położenia szczelin powietrznych w układach scalonych oraz ocena możliwości stosowania takiej analizy.

Problemem analizy cieplnej przyrządów półprzewodnikowych poświęcona jest bogata literatura. Przegląd metod analizy cieplnej dany jest między innymi w [4, 5, 8]. Jednak w literaturze nie spotkano prac pokazujących w jaki sposób analizę procesu nagrzewania złącza można wykorzystać do określania grubości i polipowania szczelin powietrznych powstałych podczas montażu przyrządów półprzewodnikowych. Z przeglądu literatury wynika, że do obliczeń cieplnych przyrządów półprzewodnikowych stosowano najczęściej z metod analitycznych, metodę rozdzielania zmiennych lub skończonych transformacji całkowych [1, 2], a z numerycznych, metodę różnic skończonych [9]. Stosowanie tych metod do analizy początkowego stadium nagrzewania obszaru czynnego półprzewodnika może okazać się nieefektywne (z uwagi na zajmowaną pamięć operacyjną i szybkość obliczeń) oraz nie zawsze możliwe do zastosowania [3, 6, 12]. W niniejszej pracy proponuje się zastosować do tego celu metodę uproszczonych ekwiwalentów implementowaną na mikrokomputer IBM PC. Program napisany jest w języku FORTRAN 77. Celem wskazania położenia szczelin powietrznych powstających podczas montażu układów scalonych poniżej omówiono ogólnie ich konstrukcje.

2. Konstrukcje układów scalonych

Projektując obudowy układów scalonych bierze się pod uwagę dwie grupy wzajemnie sprzecznych kryteriów. Pierwsza grupa kryteriów to:

- 1) Ciągłe wzrastająca liczba wyprowadzeń z obudowy związana ze zwiększającą się integracją elementów na płytce układu scalonego.
- 2) Zwiększanie prądów przepływających przez elementy układu scalonego powodujące zwiększanie rozpraszanej mocy elektrycznej.
- 3) Zapewnienie dobrego przepływu ciepła między obszarem czynnym układu scalonego i otoczeniem.

Z kryteriów tych wynika, że należałoby stosować obudowy duże i materiały dobrze przewodzące ciepło. Takimi materiałami są metale, np. srebro, miedź, złoto i aluminium. Do drugiej grupy kryteriów należy zaliczyć:

- 1) Dążenie do miniaturyzacji w elektronice.
- 2) Oszczędność drogich i importowanych materiałów.
- 3) Zapobieganie szkodliwym zjawiskom elektrycznym (dodatkowym indukcyjnościom, opornościom i pojemnościom).
- 4) Zapobieganie naprężeniom termicznym.

Druga grupa kryteriów determinuje kierunek zmniejszania obudów układów scalonych oraz odpowiedni dobór stykających się bezpośrednio materiałów. Dlatego konstruktorzy i producenci układów scalonych, aby pogodzić powyższe kryteria, proponują następujące typy obudów [7, 11]:

- 1) Dual in Line - DIL,
- 2) Flatpack - FP,
- 3) Chip Carrier - CC,
- 4) Pin Grid Array - PGA.

We wszystkich typach obudów istnieją bardzo poważne problemy związane z samą technologią wytwarzania układów scalonych. Okazuje się, że w wyniku nieodpowiednio dopracowanego procesu technologicznego podczas wytwarzania układu mogą powstawać wady montażowe.

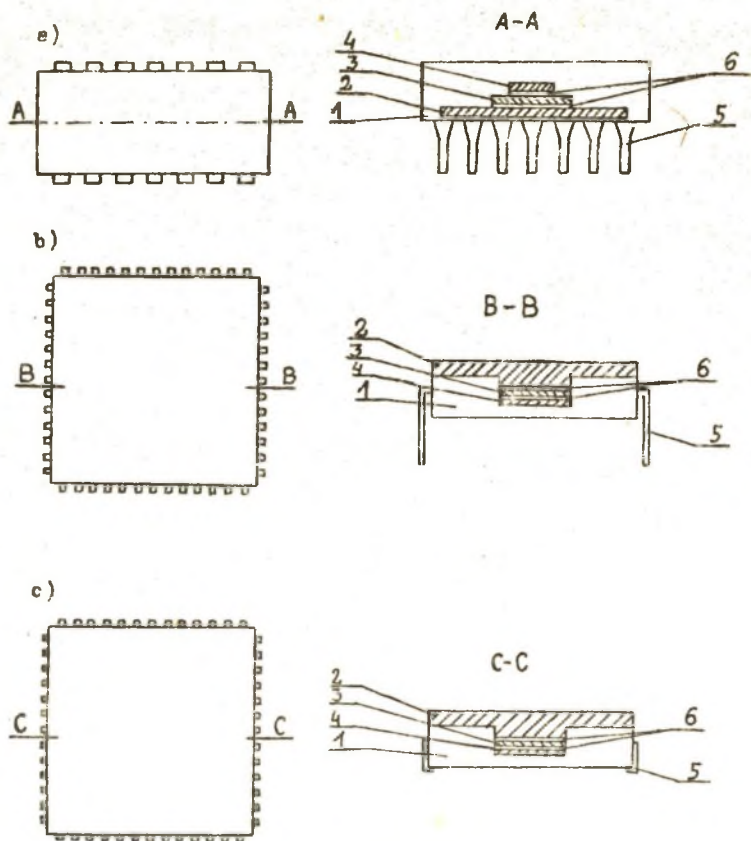
Najczęstszymi wadami powstającymi w procesie produkcji układów scalonych są szczeliny powietrzne. Szczeliny te są bardzo szkodliwe z punktu widzenia wymiany ciepła, zwłaszcza w czasie pracy układów w stanie impulsowym z małymi częstotliwościami i przy dobrym chłodzeniu zewnętrznym. Są one skutkiem niedokładnego przylutowania struktury półprzewodnikowej do ażuru lub niedoskonałego zalewania struktury wraz z ażurem tworzywem żywicznym. Przykładowe konstrukcje układów scalonych wraz ze wskazaniem miejsc, w których możliwe jest powstanie szczelin powietrznych pokazano na rys. 1.

3. Charakterystyka modelowanej struktury układu scalonego oraz przykładowe wyniki obliczeń

Do analizy początkowej fazy rozpiływu ciepła w układzie scalonym wybrano jeden (środkowy) z dziewięciu symetrycznie rozmieszczonych na płytce krzemowej tranzystorów. Analizowano układ z radiatorem aluminiowym. Na rys. 2 pokazano widok od strony emitera i przekrój poprzeczny przez krzem w tranzystorze, a na rys. 3 przekrój poprzeczny przez układ scalony.

Z rysunku 2b wynika, że złącze p-n położone jest w niewielkiej odległości od powierzchni krzemu. W czasie normalnej pracy tranzystora główna ilość ciepła wydziela się w tym złącze pod powierzchnią emitera. Dlatego w obliczeniach przyjęto, że źródło ciepła jest źródłem powierzchniowym o wymiarach równych powierzchni emitera. Ze względu na skomplikowany (palczasty) kształt źródła w obliczeniach aproksymowano go czterema prostokątami (rys. 4a), których sumaryczna powierzchnia i wydajność równa jest powierzchni i wydajności źródła rzeczywistego. Położenie źródeł ciepła na powierzchni krzemu w tranzystorze oraz przekroje ekwiwalentu w płaszczyznach prostopadłych do powierzchni źródeł przedstawiono na rys. 4.

Jak już wspomniano, obliczenia wykonano metodą uproszczonych ekwiwalentów [12] zastosowaną dla zagadnień nieustalonych. Metodę przedstawiono bliżej w [6, 12]. W programie obliczeń wykorzystującym tę metodę istnieje możliwość zadawania czasu trwania impulsu mocy oraz czasu analizy rozpiływu ciepła w strukturze.



Rys. 1. Przykładowe konstrukcje układów scalonych:

1 - tworzywo żywiczne, 2 - radiator (miedź lub aluminium), 3 - azur (np. kowar), 4 - półprzewodnik (np. krzem), 5 - wyprowadzenie prądowe, 6 - szczeliny powietrzne

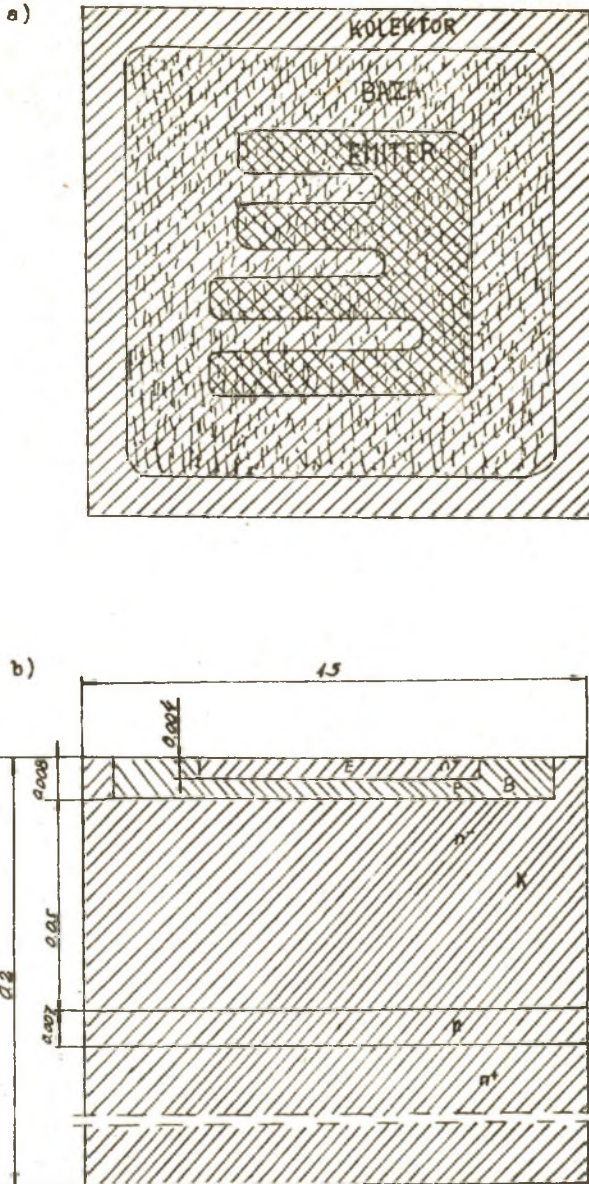
a) układ w obudowie typu DIL, b) układ w obudowie typu FP, c) układ w obudowie typu CC

Fig. 1. The exemplary constructions of integrated circuits:

1 - silicone resin, 2 - radiator (copper or aluminium) 3 - scrap (e.g. kovar), 4 - semiconductor (e.g. silicon), 5 - current leads, 6 - air-gaps

a) integrated circuit in pack type FP, b) integrated circuit in pack type DIL, c) integrated circuit in pack type CC

Badania wpływu położenia i grubości szczeliny powietrznej w strukturze układu scalonego na nagrzewanie się obszaru czynnego układu wykonano zadając przez określony czas w złączu stałą wartość strumienia ciepła. Rozkład nadwyżki temperatury ($\vartheta = T - T_{\text{pocz}}$) obszaru czynnego układu obliczano dla czasów odpowiadających penetracji strumienia ciepła w głąb struktury na odległość nie mniejszą niż wartość współrzędnej dolnej granicy szczeliny powietrznej.

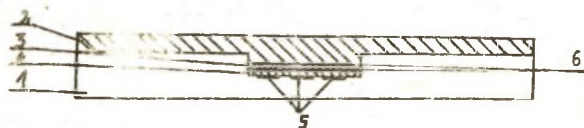


Rys. 2. a) Widok tranzystora BD-127 od strony emitera, b) Przekrój poprzeczny przez krzem w tranzystorze

Uwaga: Ze względu na proporcje wymiarów rysunku nie wykonano w skali

Fig. 2. a) View of transistor BD-127 from emitter side, b) Cross-section through silicon in transistor

Notice: Due to the proportions of the dimensions the figure is not drawn in the scale



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez układ scalony:

1 - tworzywo żywiczne, 2 - radiator (miedź lub aluminium), 3 - azur (np. kovar), 4 - półprzewodnik (np. krzem), 5 - źródła ciepła, 6 - szczeliny powietrzne

Uwaga: Na rysunku nie zaznaczono wyprowadzeń prądowych

Fig. 3. Cross-section through integrated circuit:

1 - silicone resin, 2 - radiator (copper or aluminium), 3 - scrap (e.g. kovar), 4 - semiconductor (e.g. silicon), 5 - heat source, 6 - air-gaps

Notice: Current leads in not pointed in the figure.

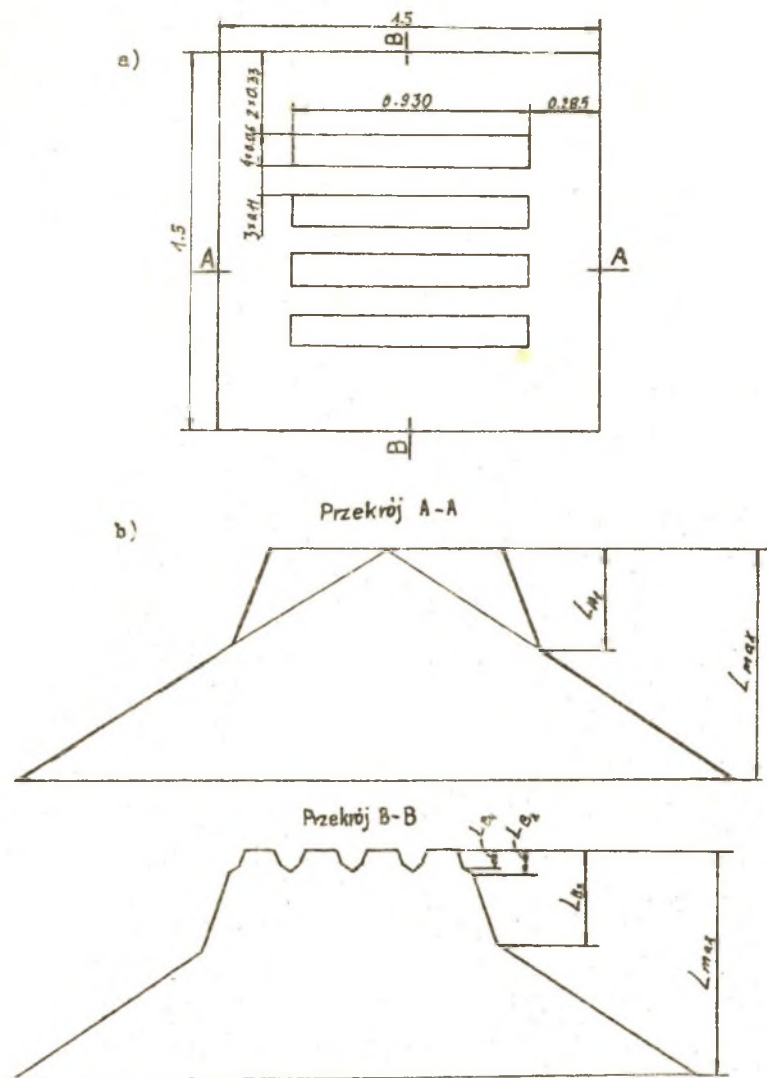
W przypadku uwzględniania dwóch szczelin powietrznych, tzn. między krzemem i azurem oraz azurem i radiatorem, wartość współrzędnej dolnej granicy szczeliny przyjmowano dla szczeliny między azurem i radiatorem.

Obliczenia wykonano dla kilku grubości szczelin powietrznych i mocy generowanej w złączu równej 5 W. Wybrane wyniki obliczeń zamieszczono na rys. 5, 6, 7. Na przedstawionych wykresach można zauważyć:

- 1) Wyraźną zależność nadwyżki temperatury źródła w funkcji grubości szczeliny położonej w danym miejscu struktury (rys. 5).
- 2) Wpływ położenia szczeliny w strukturze na wartość nadwyżki temperatury źródła (rys. 6).
- 3) Dla dwóch szczelin o tej samej grubości dominujący wpływ na nadwyżkę temperatury źródła ma szczelina położona bliżej źródła (porównanie rys. 5 i 7).

4. Uwagi końcowe

Z analizy wykresów wynika, że istnieje możliwość określania położenia i grubości szczelin powietrznych w układach scalonych oraz w elementach dyskretnych poprzez dopasowywanie charakterystyk obliczeniowych do pomiarowych. Wynika to głównie z tego, że przy bardzo cienkich strukturach, o wartości nadwyżki temperatury źródła oprócz gęstości strumienia ciepła decyduje grubość i położenie w strukturze warstwy powietrza. Położenie jej bliżej źródła ciepła daje większą nadwyżkę temperatury źródła i w krótszym czasie, licząc od początku nagrzewania struktury. Powodem tego jest wcześniejszy przepływ ciepła przez tę warstwę i większa gęstość przepływającego strumienia ciepła. Większa gęstość strumienia ciepła wynika z mniejszego rozprzysku w płaszczyznach warstw do momentu jego dopływu do warstwy powietrza.



Rys. 4. a) Powierzchnie tranzystora z zaznaczonymi źródłami ciepła. b) Przekroje ekwiwalentu płaszczyznami pokazanymi na rys. a)

Fig. 4. a) View of transistor with heat source pointed, b) Cross-section of equivalent in the planes pointed in fig. a)

W obliczeniach wymagana jest bardzo duża dokładność własności termofizycznych warstw i ich grubości oraz wymiarów źródła, a także dokładne wyznaczenie charakterystyki pomiarowej. Konieczność przeprowadzania wielokrotnych obliczeń wynikająca z dopasowywania charakterystyki oblicze-

niowej do pomiarowej pociąga za sobą stosowanie szybkiej metody obliczeniowej. Warunek ten spełnia metoda uproszczonych ekwiwalentów. Jednak przy tak krótkich czasach konieczny jest pomiar i rejestracja nadwyżki temperatury w sposób ciągły, co może powodować duże trudności pomiarowe.

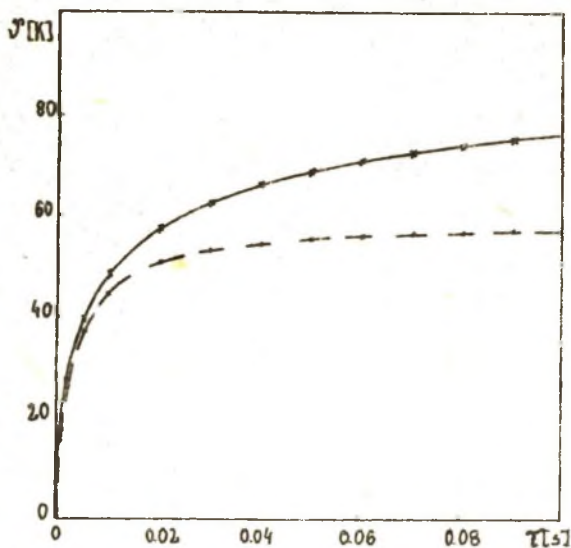


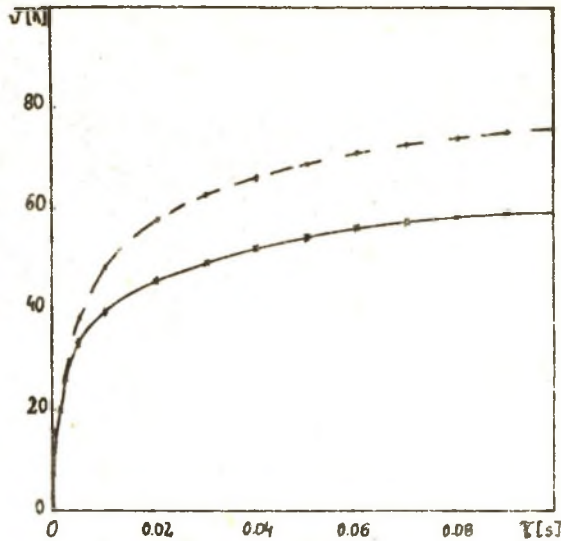
Fig. 5. Zależność nadwyżki temperatury źródła od czasu dla szczeliny o grubości:

. - 1 μm krzem - kovar, x - 10 μm krzem - kovar

Fig. 5. Temperature excess of heat source as function of time for air-gap of the width of:

. - 1 μm silicon - kovar, x - 10 μm silicon - kovar

Dokładność określenia szczelin będzie zależała od dokładności modelowania matematycznego, od dokładności danych do obliczeń oraz od dokładności pomiarów. Zarówno przy modelowaniu matematycznym jak i w pomiarach należałoby dobrać odpowiednio geometrię źródła i wartość strumienia ciepła celem wywołania większego gradientu temperatury. Dawałoby to większą nadwyżkę temperatury źródła ciepła nad temperaturę początkową, a tym samym łatwiej można by zauważyć wpływ szczeliny powietrznej na początkowe nagrzewanie obszaru czynnego półprzewodnika.

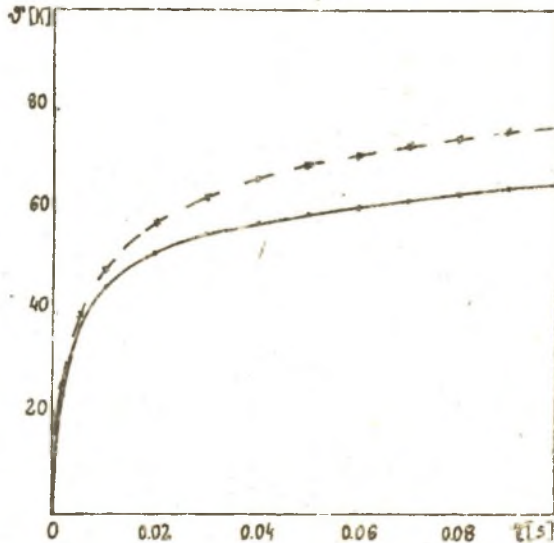


Rys. 6. Zależność nadwyżki temperatury źródła od czasu dla szczeliny o grubości:

. - 10 μm - krzem - kovar, x - 10 μm kovar - aluminium

Fig. 6. Temperature excess of heat source as function of time for air-gap of the width of:

. - 10 μm silikon - kovar, x - 10 μm kovar - aluminium



Rys. 7. Zależność nadwyżki temperatury źródła od czasu dla dwóch szczelin o grubości:

. - 1 μm krzem - kovar i 10 μm kovar - aluminium

. - 10 μm krzem - kovar i 10 μm kovar - aluminium

Fig. 7. Temperature excess of heat source as function of time for two air-gaps of the width of:

. - 1 μm silikon - kovar and 10 μm kovar - aluminium

x - 10 μm silikon - kovar and 10 μm kovar - aluminium

LITERATURA

- [1] Antogentti P., Bisio G.R., Curatelli F., Palara S.: Three dimensional transient thermal simulation: Application to delayed short circuit protection in power IC's IEEE Journ. of Solid State Circuits, vol. SC-15, No 3, June 1980.
- [2] Dawid R.F.: Computerized thermal analysis of hybrid circuits, IEEE Transactions on Parts, Hybrids and Packaging, vol. PHP-13, No 3, Sept. 1977.
- [3] Przewodzenie ciepła. Praca zbiorowa pod red. S.J. Gduli. PWN, Warszawa 1983.
- [4] Janke W.: Modele elektrotermiczne przyrządów półprzewodnikowych. Praca habilitacyjna, ZN PG Elektronika 374, Gdańsk 1984.
- [5] Kostowski E., Kucypera S., Skorek J.: Analiza parametrów termodynamicznych elementów półprzewodnikowych pracujących w urządzeniach przy użyciu metod numerycznych. Etap 1. Przegląd dotychczasowych danych literaturowych dotyczących zagadnień cieplnych w elementach półprzewodnikowych. Praca niepublikowana, ITC, Politechniki Śląskiej Gliwice 1986.
- [6] Kucypera S., Kostowski E.: Zastosowanie metod uproszczonych ekwiwalentów do rozwiązywania zagadnień cieplnych w przyrządach półprzewodnikowych. ZN Pol. Śl. Energetyka z. 102.
- [7] Marston P.: Future semiconductor packaging trends. Electronic Engineering, Sept. 1982.
- [8] Nowakowski A.: Badanie procesów termicznych w przyrządach półprzewodnikowych. Praca habilitacyjna, ZN PG Elektronika 389, Gdańsk 1985.
- [9] Selberherr S.: Analysis and simulation of semiconductor devices. Springer Verlag 1984.
- [10] Szargut J.: Metody numeryczne w obliczeniach cieplnych pieców przemysłowych. Śląsk, Katowice 1977.
- [11] Winkler E.: Integrated circuits packaging trends. Solid State Technology, 1983.
- [12] Zacharov A.L., Asvadurova E.J.: Raščet teplowych parametrov poluprowodnikowych priborov. Radio i Svjaz, Moskva 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Kalinowski

Wpłynęło do redakcji w kwietniu 1987.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ
ПО МЕТОДУ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Р е з ю м е

В работе представлена концепция определения положения и толщины воздушных щелей возникающих во время монтажа интегральных схем, которая основана на сравнении расчётной и экспериментальной характеристик нагрева полупроводникового соединения. Приведён общий обзор конструкций интегральных схем и указано в каких местах могут, во время их монтажа, возникать воздушные щели. Даны характеристические черты моделированных структур и примерные результаты расчётов. Представлена возможность использования характеристики нагрева полупроводникового соединения для определения положения и толщины воздушных щелей, возникающих в интегральных схемах.

THE POSSIBILITY OF EVALUATION OF WIDTH AND POSITION
OF AIR-GAPS FORMED DURING INTEGRATED CIRCUITS ASSEMBLY
BY TEMPERATURE CHARACTERISTIC OF SEMICONDUCTOR JUNCTION

S u m m a r y

A concept of testing of width and position of air-gaps formed during integrated circuits assembly consisting of the comparison of analytical and measurement characteristic of semiconductor junction was shown. A general survey of integrated circuits structure was carried out and information about the places where air-gaps can be formed during assembly was given. A modeling structure was characterised and exemplary calculation results were given. The possibility of application of semiconductor junction heating characteristic to evaluate the width and the position of air-gaps in the integrated circuits was shown.