

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Edward KOSTOWSKI, Stanisław KUCYPERA

Janusz SKOREK

ANALIZA WRAŻLIWOŚCI MODELU MATEMATYCZNEGO PRZYRZĄDÓW

PÓLPRZEWODNIKOWYCH NA WYBRANE PARAMETRY TERMICZNE

Streszczenie. W pracy omówiono model matematyczny pola temperatury w przyrządach półprzewodnikowych oraz scharakteryzowano parametry mające wpływ na wyniki obliczeń. Przeprowadzono analizę wrażliwości modelu na niedokładność parametrów określających to pole.

1. Wstęp

Analiza cieplna przyrządów półprzewodnikowych jest ważna z punktu widzenia projektowania i konstrukcji przyrządów oraz ich użytkowania. Dotychczas dominuje eksperymentalne ustalanie parametrów pracy tych przyrządów, jednak w wielu przypadkach jest to trudne, a często nawet niemożliwe (np. w układach scalonych nie wszystkie elementy w których wydziela się ciepło mają bezpośrednie połączenie z wyprowadzeniami prądowymi), ponadto analiza cieplna przyrządu na drodze eksperymentalnej może być bardzo kosztowna. Celowe okazało się opracowanie w miarę ogólnego modelu matematycznego służącego do przeprowadzania analiz cieplnych przyrządów i określania optymalnych parametrów ich pracy. W modelu tym uwzględniono szeroką gamę czynników, dzięki czemu odwzorowuje on dość dobrze rzeczywiste warunki pracy. Na niezawodność przyrządów półprzewodnikowych najbardziej wpływa temperatura obszaru czynnego półprzewodnika (czyli złącza), której rzeczywista (i obliczeniowa) wartość zależy od wielu czynników, w tym danych materiałowych i innych parametrów. W pracy przeprowadzono analizę wrażliwości modelu na dokładność (niedokładność) parametrów wejściowych na temperaturę złącza półprzewodnikowego, a wybrane wyniki podano w p. 4.

2. Charakterystyka parametrów termicznych mających wpływ na wartość temperatury złącza półprzewodnikowego

Wymiana ciepła w przyrządach półprzewodnikowych jest zagadnieniem złożonym. Wpływają na to w ogólnym przypadku następujące czynniki:

1. Skomplikowany kształt rzeczywistych złączy półprzewodnikowych, w których wydziela się ciepło (np. kształty palczaste).
2. Duże gęstości strumienia ciepła.
3. Zmiany właściwości fizycznych niektórych materiałów z temperaturą.
4. Wielowarstwowość obudowy struktury półprzewodnikowej.
5. Skomplikowane kształty radiatorów i wyprowadzeń prądowych.
6. Zróżnicowane i często trudne do ścisłego określenia warunki wymiany ciepła na zewnętrznych powierzchniach przyrządów.

W warunkach rzeczywistych przeważnie nie wystąpi konieczność uwzględnienia wszystkich wymienionych czynników w jednym przyrządzie półprzewodnikowym. Stąd choć opracowany model matematyczny pozwala uwzględnić wszystkie wymienione czynniki to nie zawsze istnieje taka konieczność. Ponadto nie wszystkie z wymienionych czynników w jednakowym stopniu wpływają na nagrzewanie się obszaru czynnego półprzewodnika, co oznacza, że niedokładność danych wejściowych określających te czynniki w różny sposób wpływa na obliczeniowe temperatury złączy półprzewodnikowych. Z przeprowadzonych analiz wstępnych [2] wynikało, że najwięcej z wymienionych czynników występuje w układach scalonych i tam też na temperaturę złączy półprzewodnikowych mają największe wpływy parametry określające te czynniki. Stąd analizę wrażliwości modelu matematycznego przedstawiono na przykładzie układu scalonego w obudowie FLATPACK (FP) z radiatorem i bez radiatora. Natomiast z parametrów, których niedokładność zmienia wartość pola temperatury (temperatury złącza półprzewodnikowego) w przyrządzie uwzględniono:

- przewodność cieplną i grubość poszczególnych warstw układu scalonego,
- współczynnik wnikania ciepła na zewnętrznych powierzchniach układu,
- gęstość generowanej mocy cieplnej,
- temperaturę otoczenia.

3. Krótka charakterystyka modelu matematycznego

Uwzględniając wymienione czynniki i przyjmując odpowiednie założenia [1, 3] opracowano model matematyczny wymiany ciepła w przyrządach półprzewodnikowych wykorzystując metodę bilansów elementarnych. W metodzie tej równania różnicowe pola temperatury wynikają z bilansu energii sporządzonego dla każdego elementu różnicowego. W przypadku ustalonego przepływu ciepła bilans energii dla dowolnego elementu różnicowego "i" styka-

jącego się z otoczeniem oraz otoczonego wewnątrz rozpatrywanego obszaru elementami wewnętrznymi "j" przyjmuje postać:

$$\sum_j \dot{Q}_{ji} + \sum_f \dot{Q}_{fi} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

\dot{Q}_{ji} - strumień ciepła płynący od elementu j do elementu i,

\dot{Q}_{fi} - strumień ciepła wynikający z warunku brzegowego.

Strumień ciepła płynący od elementu j do elementu i wynikający z różnicy temperatur określony jest zależnością:

$$\dot{Q}_{ji} = \frac{1}{R_{1j}} (T_j - T_i) \quad (2)$$

gdzie:

R_{1j} - opór cieplny pomiędzy elementami i oraz j, zależny od geometrii warstw, współczynnika przewodzenia ciepła i przyjętego układu współrzędnych.

Jeżeli natomiast na granicy elementów (i, j) znajduje się powierzchniowe źródło ciepła to wartość strumienia ciepła \dot{Q}_{ji} powiększa się o składnik wynikający z działania źródła i określona jest zależnością:

$$\dot{Q}_{ji} = \frac{R_i R_j}{R_i + R_j} (T_j - T_i) + S_{fi} \frac{R_i}{R_i + R_j} \dot{q}_f \quad (3)$$

gdzie:

\dot{q}_f - powierzchniowa gęstość strumienia ciepła,

R_i, R_j - opory cieplne elementów i oraz j,

S_{fi} - pole powierzchni źródła ciepła.

Strumień ciepła \dot{Q}_{fi} uwzględnia składowe konwekcyjną i radiacyjną czyli:

$$\dot{Q}_{fi} = S_{fi} (\alpha_k + \alpha_r) (T_{ot} - T_{fi}) \quad (4)$$

gdzie:

T_{fi} - temperatura zewnętrznej powierzchni elementu,

T_{ot} - temperatura otoczenia,

α_k - konwekcyjny współczynnik wnikania ciepła,

α_r - radiacyjny współczynnik wnikania ciepła.

Nieznaną temperaturę zewnętrzną powierzchni elementu i wyznacza się z równania bilansu energii dla tej powierzchni, tzn.

$$S_{fi}(\alpha_k + \alpha_r)(T_{ot} - T_{fi}) = \frac{1}{R_{fi}}(T_{fi} - T_i) \quad (5)$$

gdzie:

R_{fi} - opór cieplny pomiędzy rozpatrywaną powierzchnią i punktem węzłowym elementu.

Podstawiając zależności (2) do (5) do równania (1) i sporządzając bilans energii dla każdego elementu różnicowego rozpatrywanego obszaru, otrzymujemy układ równań, który można zapisać macierzowo:

$$A \cdot T + B = 0 \quad (6)$$

Do rozwiązywania powyższego układu zastosowano metodę Gaussa.

4. Wyniki przykładowych obliczeń

Przykładowe obliczenia wykonano dla układów scalonych w obudowie (FP) o 64 wyprowadzeniach prądowych. Wymianę ciepła z otoczeniem na powierzchniach bocznych gdzie występują wyprowadzenia prądowe uwzględniono przez zastępczy współczynnik wnikania ciepła. Analizując wpływ określonego parametru na temperaturę złącza półprzewodnikowego zachowywano wartości nominalne wszystkich pozostałych parametrów. Analizę wrażliwości modelu matematycznego wykonano przez porównanie wyników obliczeń temperatury złącza półprzewodnikowego dla parametrów nominalnych i zwiększonych o 10%. Wyniki obliczeń zamieszczono w tablicy 1.

Wyniki te pozwalają stwierdzić, że przy wyznaczaniu pola temperatury w układach scalonych z radiatorami, należy zwrócić uwagę na dokładne określenie współczynników wnikania ciepła i gęstości generowanej mocy cieplnej. Natomiast w układach scalonych bez radiatorów należy zwrócić również uwagę na dokładniejsze określenie grubości i współczynnika przewodzenia ciepła warstwy azuru, gdyż warstwa ta odpowiada za równomierne rozprzowanie ciepła po całej powierzchni układu scalonego.

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza wrażliwości modelu matematycznego pozwala stwierdzić, że przy uwzględnieniu podanych uwag model ten może być wykorzystany do celów praktycznych przy określaniu optymalnych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych przyrządów półprzewodnikowych. Otrzymane odchyłki od wartości nominalnych przy zmianie wartości parametrów nie są aż tak duże, co świadczy, że równania użyte do opisu pola temperatury w przyrządach są dobrze uwarunkowane matematycznie.

Tablica 1

Materiał warstw	Wartości temperatury złącza półprzewodnikowego w °C dla:										
	wartości współczynnika przewodzenia ciepła (λ)		grubości warstw (g)		wartości współczynnika wnikania ciepła (α')		wartości temperatury otoczenia (t_{ot})		wartości generowanej mocy cieplnej (q_f)		
	N	N+10%	N	N+10%	N	N+10%	N	N+10%	N	N+10%	
Układ scalony (FP) z radiatorem	krzem	102,3	102,3	102,3	102,1	102,3	102,3	102,3	104,1	102,3	108,8
			102,1		99,9						
			102,0		101,5						
Układ scalony (FP) bez radiatora	Aluminium	102,3	102,1	102,3	101,5	102,3	102,3	102,3	104,1	102,3	108,8
			141,6		131,3						
			138,4		136,6						
	Tłoczywo MG-15	140,1	140,1	141,6	142,7	141,6	141,6	141,6	143,3	141,6	152,1
			141,6		142,7						
			140,1		142,7						

Uwaga 1) N - wartości nominalne danego parametru,

2) N+10% -- wartości danego parametru zwiększone o 10% w stosunku do wartości nominalnej

LITERATURA

- [1] Kostowski E., Kucypera S., Skorek J.: Analiza parametrów termodynamicznych elementów półprzewodnikowych pracujących w przyrządach przy użyciu metod numerycznych. Etap 1, 2 i 3. Praca naukowo-badawcza niepublikowana. Instytut Techniki Ciepłej, Gliwice 1986, 1987, 1988.
- [2] Kucypera S.: Analiza procesu wymiany ciepła w przyrządach półprzewodnikowych. Praca doktorska. Gliwice 1988.
- [3] Szargut J.: Metody numeryczne w obliczeniach cieplnych pieców przemysłowych. Wyd. Śląsk, Katowice 1977.

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ТЕПЛООБМЕНА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ
ДЛЯ ИЗБРАННЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Р е з ю м е

В работе описана математическая модель температурного поля в полупроводниковых приборах и дана характеристика параметров влияющих на результаты расчётов. Проведён анализ чувствительности модели для неточности параметров, определяющих температурное поле в интегральной схеме.

ANALYSIS OF SENSITIVITY OF THE MATHEMATICAL MODEL
OF THERMAL PHENOMENA IN SEMICONDUCTOR DEVICES TO
SELECTED PARAMETERS

S u m m a r y

Assumptions of the mathematical model of temperature field within semiconductor devices are presented in the paper. Analysis of influence of selected parameters on accuracy of results of calculation has been carried out.