

Zastosowanie komparatora termicznego do badania przewodnictwa cieplnego podłożowych płytek ceramicznych

WSTĘP

Jedną z istotnych własności podłożowych płytek ceramicznych dla mikroukładów hybrydowych jest dobre przewodnictwo cieplne. W zależności od ilości ciepła wydzielonego przez elementy mikroukładów i możliwości jego odprowadzenia stosuje się płytki podłożowe szklane, ze szkła krystalicznego, ceramiki alundowej, z szafiru lub ceramiki berylowej. Przewodnictwo cieplne ceramiki alundowej zależy przede wszystkim od zawartości Al_2O_3 , ale i również od technologii wykonania płytek podłożowych. W tabelicy podano zestawienie wartości przewodnictwa cieplnego różnego typu materiałów stosowanych na podłoża mikroukładów [1].

Zestawienie wartości przewodnictwa cieplnego materiałów
stosowanych na podłoża mikroukładów

Materiał	Przewodnictwo cieplne λ w 300 K	
	λ /cal/cms ^o C/	λ/λ_s gdzie $\lambda_s=0,003$
Szkło sodowe	0,003	1,0
ceramika steatytowa	0,006	2,0
" z 85% Al_2O_3	0,030	10
" z 95% Al_2O_3	0,036	12
" z 99% Al_2O_3	0,039	13
" z 96-98% BeO	0,60	200

Dla producenta płytek podłożowych ważnym zagadnieniem staje się kontrola ich przewodnictwa cieplnego. W literaturze opisane są bardzo liczne metody badania przewodnictwa cieplnego [2], a niektóre z nich zostały znormalizowane [3, 4]. Większość metod wymaga jednak przygotowania próbek specjalnego kształtu, a ponadto bardzo specjalnego oprzyrządowania. Dla celów kontroli okresowej gotowych płytek podłożowych metoda pomiaru musi być prosta i szybka, a jednocześnie dostatecznie dokładna. Metodą spełniającą wyżej podane wymagania jest pomiar porównawczy za pomocą tzw. komparatora Powella [2].

W niniejszym artykule podano wyniki prac nad zastosowaniem komparatora do pomiarów przewodnictwa cieplnego płytek podłożowych dla mikroukładów hybrydowych.

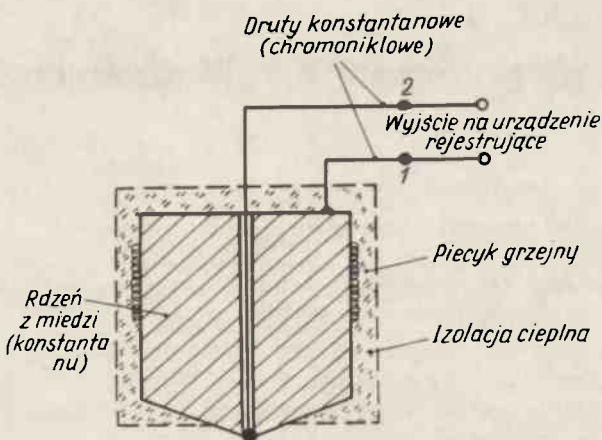
ZASADA DZIAŁANIA KOMPARATORA POWELLA

Zasada działania komparatora opiera się na wykorzystaniu dwu termopar połączonych różnicowo. Schemat ideowy komparatora Powella przedstawia rys. 1.

W rdzeniu w kształcie walca stożkowato zakończonęgo wykonanego z miedzi /lub konstantanu/ wywiercony jest otwór, w którym znajduje się izolowany drut konstantanowy /lub chromoniklowy/, przyspawany w punkcie 1. W punkcie 2 przyspawany jest drugi drut. Wykorzystuje się tu termopary typu miedź-konstantan lub chromonikiel-konstantan, ponieważ dają one wystarczająco duże siły termoelektryczne. Rdzeń, a wraz z nim punkty 1 i 2 są grzane piecykiem do temperatury wyższej od temperatury otoczenia o kilka-

dziesiąt °C. Gdy w punktach 1 i 2 jest taka sama temperatura, to na wyjściu nie mamy sygnału, z chwilą gdy równowaga ta zostaje zakłócona pojawia się impuls. Równowagę termiczną można zakłócić dotykając punktem 1 do próbki materiału o temperaturze pokojowej.

Wskazania komparatora nie zależą od kierunku przepływu ciepła, lecz od bezwzględnej różnicy temperatur ΔT między rdzeniem

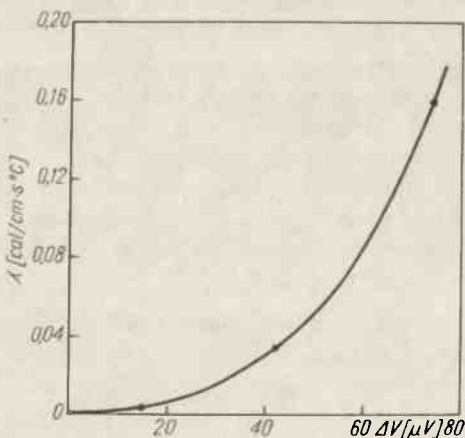


Rys. 1. Schemat ideowy komparatora Powella

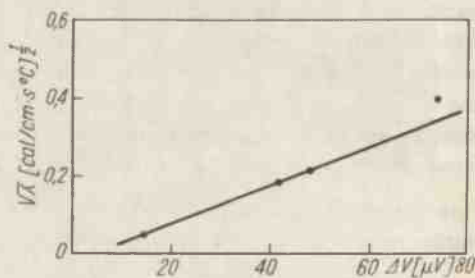
a próbką, i w związku z tym można także ogrzewać mierzoną próbkę lub chłodzić rdzeń. Wysokość impulsów ΔV otrzymanych na wyjściu zależą silnie, jak widać ze wzoru poniżej, od przewodnictwa cieplnego badanego ciała:

$$\Delta V \sim \frac{\Delta T \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad [2]$$

gdzie: λ_1 - przewodnictwo cieplne połączenia w punkcie 1 /rys. 1/,
 λ_2 - " " " badane,
 ΔT - różnica temperatur między rdzeniem a próbką.



Rys. 2. Krzywa cechowania komparatora we współrzędnych: wysokość impulsu ΔV i przewodnictwo cieplne λ



Rys. 3. Krzywa cechowania komparatora we współrzędnych: wysokość impulsu ΔV i pierwiastek kwadratowy z przewodnictwa cieplnego $\sqrt{\lambda}$

Można więc otrzymać zależność wysokości impulsu od wartości przewodnictwa cieplnego, używając wzorców pomierzonych innymi metodami. Otrzymana krzywa cechowania ma postać paraboli /rys. 2/ we współrzędnych λ i ΔV albo prostej /rys. 3/ we współrzędnych λ i ΔV . Mając krzywą cechowania można z wysokości impulsu odczytać poszukiwaną wartość przewodnictwa cieplnego.

OGÓLNY OPIS ZASTOSOWANEGO PRZEZ NAS URZĄDZENIA I WYKONYWANIE NA NIM POMIARÓW

Opracowany przyrząd składa się z głowicy pomiarowej, która może się poruszać w kierunku pionowym dzięki tulei umieszczonej w korpusie przymocowanym do kolumny statywu. Wewnątrz głowicy znajduje się rdzeń grzany piecykiem. Łączenie pomiędzy drutem a rdzeniem w punkcie 1 /rys. 1/ otrzymywano przez zgrzewanie dyfuzyjne w Pracowni Połączeń Dyfuzyjnych w Zakładzie Złączeń i Zastosowań ONPMP. Głowicę można podnosić za pomocą dźwigni przymocowanej do korpusu. Na kolumnie umieszczony jest poruszany pokręteł stolik, na którym umieszcza się mierzone próbki. Za pomocą wkrętu w dźwigni oraz skali umieszczonej na korpusie można ustalić wysokość podniesienia ostrza głowicy pomiarowej nad powierzchnią próbki. Eliminuje się wtedy w dużym stopniu rozrzut wyników pochodzących od zmiennej siły nacisku. Po ogrzaniu rdzenia głowicy do temperatury o ponad 30°C wyższej od temperatury otoczenia /co daje dobrą czułość urządzenia/ pomiaru dokonujemy przez podnoszenie głowicy za pomocą dźwigni podnośnika i następnie swobodne opuszczanie jej na próbkę. Pojedynczy pomiar, którego wynik zapisuje się na taśmie rejestratora lub odczytuje ze skali odpowiedniego przyrządu, trwa od kilku sekund do 1 minuty, w zależności od tego, czy wysokość impulsu ustala się zaraz po dotknięciu ostrzem próbki, czy nieco dłużej. Celem zwiększenia dokładności trzeba wykonywać dla jednej próbki około dziesięciu takich pomiarów w różnych jej miejscach i obliczać średnią arytmetyczną.

W powyższy sposób przeprowadza się pomiary dla całej serii próbek badanych oraz próbek wzorcowych, starając się wykonywać je w stosunkowo krótkim czasie ze względu na możliwość zmiany temperatury otoczenia. Ze względu na to oraz na inne czynniki, jak ścieranie się ostrza głowicy pomiarowej w czasie wielu pomiarów i różnice w ustawieniu wysokości podniesienia głowicy, krzywą cechowania trzeba wyznaczyć dla każdej serii pomiarowej.

WPŁYW RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA WSKAZANIA KOMPARATORA

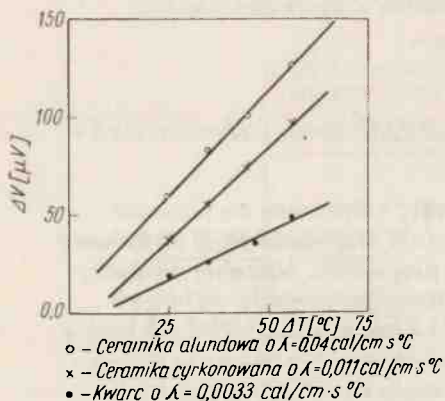
Na wskazania danego komparatora wpływają następujące czynniki:

- różnica temperatur między próbką a komparatorem ΔT ,
- siła nacisku ostrza komparatora na próbkę /punkt 1, rys. 1/,
- twardość próbek,
- stan powierzchni próbek,
- wymiary próbek.

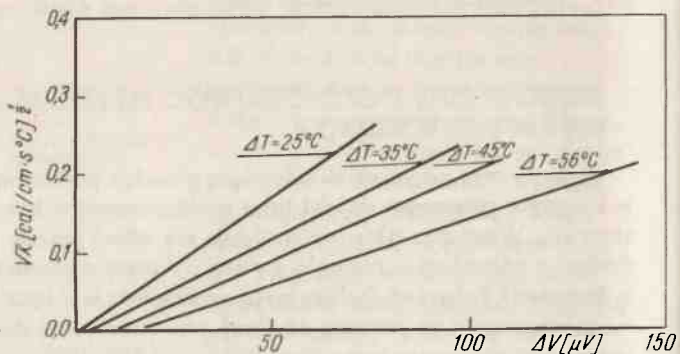
Wielkość impulsu ΔV zależy liniowo od różnicy ΔT /rys. 4/. W zależności od wielkości różnicy temperatur ΔT otrzymujemy inne krzywe cechowania, przykładowo pokazane na rys. 5.

W związku z tym przy pomiarach w jednej serii konieczna jest stałość różnicy temperatur ΔT . Można to osiągnąć z jednej strony przez odpowiednio stabilne zasilanie

piecyka grzeijnego, a z drugiej strony przez wykonanie serii pomiarów na próbkach i wzorcach mających temperaturę równą i nie odbiegającą od temperatury otoczenia.



Rys. 4. Zależność wielkości wskazań komparatora ΔV od różnicy temperatur ΔT



Rys. 5. Krzywe cechowania komparatora dla różnych ΔT we współrzędnych: wysokość impulsu ΔV i pierwiastek kwadratowy z przewodnictwa cieplnego $\sqrt{\lambda}$

Stwierdzono, że zwiększenie siły nacisku powoduje zwiększenie się impulsu. Tłumaczy się to tym, że siła nacisku wpływa na wielkość powierzchni styku ostrza komparatora z próbką, a tym samym na wielkość strumienia cieplnego przepływającego z ostrza komparatora do próbki, a więc powoduje powstanie większej lub mniejszej różnicy temperatur między punktem 1 i 2 /rys. 1/.

Zastosowanie odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego pozwala ustalić siłę nacisku w danej serii pomiarów i zmniejsza tym samym błąd pomiarów.

Twardość próbek decyduje o tym, czy ostrze komparatora wgłębia się mniej lub więcej w próbkę, i dlatego dla próbek o mniejszej twardości uzyskujemy większe impulsy przy tej samej sile nacisku. Wynika stąd, że wzorce przewodnictwa cieplnego z materiału badanego powinny mieć twardości zbliżone do badanego materiału.

W naszym przypadku posłużono się wzorcami wykonanymi z kwarcu i kilku rodzajów ceramiki w postaci krążków o średnicy 20 mm i grubości 5 mm.

Wartości ich przewodnictwa cieplnego zostały pomierzone przez Instytut Techniki Ciepłej i Chłodnictwa Politechniki Łódzkiej z dokładnością do 5 - 10%. Zawarły się one w granicach od 0,0033 dla kwarcu do 0,04 $\text{cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{°C}$ dla ceramiki alundowej o zawartości Al_2O_3 około 97%.

Stan powierzchni próbek wywiera przy tej metodzie istotny wpływ na wyniki pomiarów. Wszelkie zanieczyszczenia powierzchni mogą je zniekształcić. Na wielkość impulsu wpływa również gładkość powierzchni której miarą jest parametr R_a . Dla większych R_a otrzymujemy mniejszy impuls, ale zależność tę możemy obserwować dopiero przy różnicach w wielkości R_a rzędu kilkunastu μm . W przypadku płytek podłożowych, w których wartość R_a waha się od 0,4 - 1,0 μm , wpływ gładkości nie jest zauważalny. Wielkości próbki i jej grubość mają wpływ na wskazania komparatora. Dla danego materiału istnieje zawsze minimalna grubość i minimalne wymiary poniżej

których pomiar obciążony jest znacznym błędem. Zachodziło więc potrzeba sprawdzenia, czy wymiary płytek ceramicznych nie mają wpływu na wielkość otrzymywanego impulsu. Ponieważ powierzchnie płytek są stosunkowo duże, zbadano jedynie wpływ grubości. Mierzono krążki o średnicy 30 mm i grubościach zawartych od 0,5 do 5 mm, wykonane z ceramiki identycznej jak płytki. W zakresie badanych grubości nie stwierdzono istotnych różnic w wysokościach impulsów.

ZAKOŃCZENIE

Dla opisanej konstrukcji komparatora w istniejących warunkach otoczenia prowadzono serie pomiarów podłożowych płytek z ceramiki alundowej o przewodnictwie cieplnym $\lambda \approx 0,04 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$. Jako wzorce stosowano wyżej opisane materiały, ΔT wynosiły około 50°C .

Na rysunku 6a przedstawiono przykład rozrzutu wielkości sygnału w przypadku kolejnych pomiarów w jednym miejscu płytki.

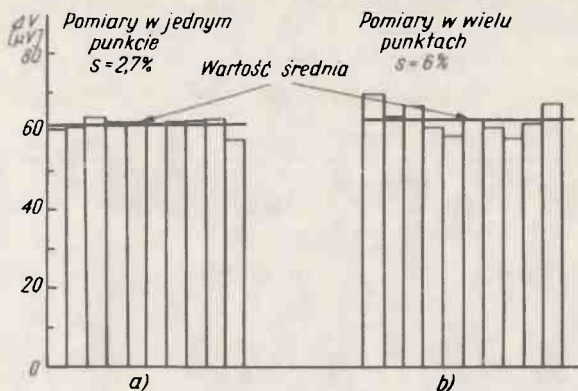
Na rysunku 6b przedstawiono przykład rozrzutu wartości sygnału przy prowadzeniu pomiaru w różnych miejscach tej samej płytki. Rozrzut S wartości sygnału przedstawiony jako stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej wynosił w przypadku pierwszym około $\pm 2,7\%$. Dla pomiarów przeprowadzonych w różnych miejscach tej samej płytki rozrzut wartości wynosił około $\pm 6\%$.

Rozrzut otrzymywanych wartości przewodnictwa wynosił więc odpowiednio /przy pominięciu błędów prowadzenia krzywej cechowania/ $5,4\%$ i 12% . Wzrost rozrzutu w przypadku b wynika ze zmienności właściwości płytki w różnych jej miejscach. Dane te potwierdzają konieczność wielokrotnych pomiarów jednej płytki w różnych miejscach, co jednak nie jest kłopotliwe ze względu na krótki czas trwania pomiarów. Dla określonej przez odpowiednie warunki techniczne wartości przewodności cieplnej przyrząd daje więc odpowiedź, czy seria płytek spełnia wymagania.

Chciałbym podziękować Panu doc. dr A. Toczanowskiemu za kierowanie pracą i cenne uwagi przy pisaniu artykułu oraz technikowi Panu J. Małkowi za opracowanie udanego rozwiązania konstrukcyjnego przyrządu.

Literatura

1. Hill G.J.: Ceramics for Microcircuit Applications, Proc. Brit. Cer.Soc. 18, 247, 1970.
2. Tye R.P.: "Thermal Conductivity" v.2, 1969. Academic Press.
3. NF - C - 26 - 400 - Conductivité thermique - méthode du Cylindre.
4. Standart Method of Test for Thermal Conductivity of Whiteware Ceramics, ASTM Des. C 408 - 58.



Rys. 6. Rozrzut wyników pomiarowych dla płytki z ceramiki alundowej o zawartości $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 96,5\%$. Na osi odciętych liczba pomiarów, na osi rzędnych wysokość impulsu