

Marek LEJBRANDT

Kazimierz KALISZUK

Wanda OSOWSKA

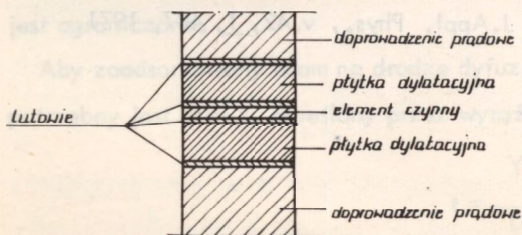
Zakład Metali Próżniowych

## SPIEKANE PODKŁADKI KOMPENSACYJNE WNI<sub>2</sub> DO TYRYSTORÓW MAŁEJ MOCY

W przyrządach półprzewodnikowych wraz ze wzrostem przenoszanej mocy wzrastają gabaryty elementu czynnego, jakim jest płytka krzemowa. Równoległe z tym gwałtownie wzrastają naprężenia wynikające z różnych wartości współczynników cieplnej rozszerzalności liniowej płytki krzemowej  $/4,15 \times 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}/$  i doprowadzeń wykonanych z miedzi  $/16,5 \times 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}/$ .

Przyrządy te w czasie procesów montażowych i w czasie pracy poddawane są dużym i gwałtownym zmianom temperatury. Różnice temperatury osiągają wartość do  $300^{\circ}\text{C}$ . Z uwagi na budowę tyristora /rys.1/, który stanowi wielowarstwową konstrukcję, zmiany temperatury powodują powstawanie naprężeń, które mogą zniszczyć płytkę krzemową. Obliczenie wytrzymałościowe powstających naprężeń w układach wielowarstwowych jest bardzo trudne, ponieważ powstają one w wyniku oddziaływania na siebie kilku warstw o różnej geometrii i o różnych własnościach fizycznych. Stosowane na ogół sposoby obliczenia naprężeń przy wyliczaniu układów dwu- lub trzywarstwowych /np. bimetały/ w tym przypadku są mało przydatne [5,6].

W celu zabezpieczenia krzemu przed pękaniem stosuje się jako warstwę pośrednią płytki dylatacyjne mające na celu kompensację naprężeń i usztywnienie całego układu.



Rys.1 Schemat zespółu czynnego tyristora

Z punktu widzenia technicznego najkorzystniej jest wykonać płytki dylatacyjne z wolframu mającego wysoki moduł Younga, który pozwala na prawidłowe usztywnienie całego układu. Metal ten charakteryzuje się współczynnikiem cieplnej rozszerzalności liniowej równym  $4,5 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , a więc zbliżonym do wartości charakterystycznej dla krzemu. Jednocześnie wolfram jest dobrym przewodnikiem ciepła i prądu elektrycznego, co ma bardzo duże znaczenie w prawidłowej pracy przyrządu [1,2,7].

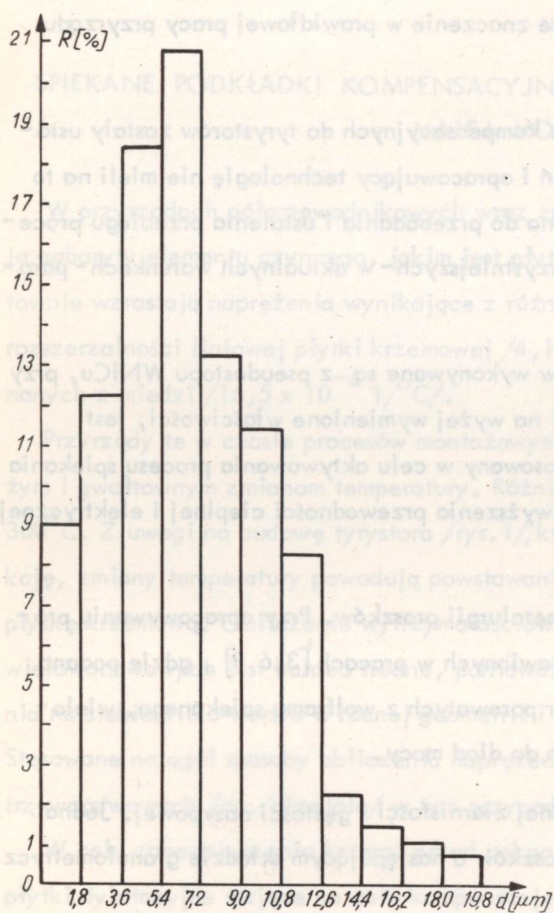
Skład chemiczny i wymiary podkładek kompensacyjnych do tyrystorów zostały ustalone przed rozpoczęciem wstępnych badań i opracowujący technologię nie mieli na to wpływu. Stąd też opracowanie ograniczono do przebadania i ustalenia przebiegu procesu technologicznego oraz dobrania najkorzystniejszych - w aktualnych warunkach - parametrów otrzymywania podkładek.

Podkładki kompensacyjne do tyrystorów wykonywane są z pseudostopu WNiCu, przy czym składnikiem podstawowym, z uwagi na wyżej wymienione właściwości, jest wolfram. Niewielki dodatek niklu jest stosowany w celu aktywowania procesu spiekania wolframu [3,6,8], a miedzi - w celu podwyższenia przewodności cieplnej i elektrycznej podkładki.

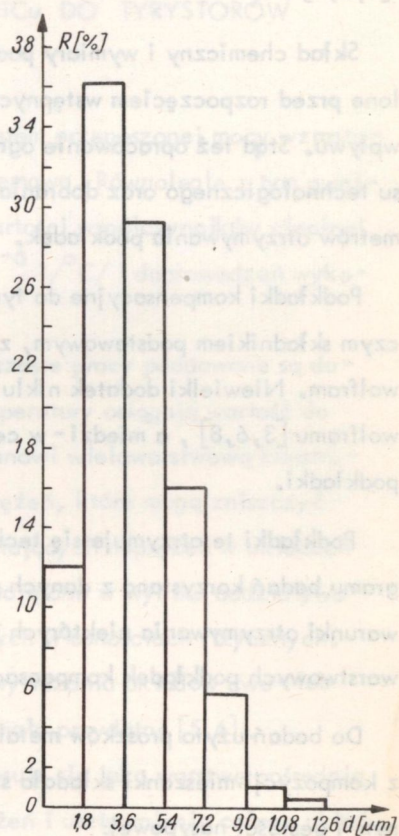
Podkładki te otrzymuje się techniką metalurgii proszków. Przy opracowywaniu programu badań korzystano z danych przedstawionych w pracach [3,6,8], gdzie podano warunki otrzymywania niektórych struktur porowatych z wolframu spiekanego, wielowarstwowych podkładek kompensacyjnych do diod mocy.

Do badań użyto proszków metali o różnej ziarnistości i gęstości nasypowej. Jedną z kompozycji mieszanki składała się z proszków o następującym składzie granulometrycznym i gęstości nasypowej:

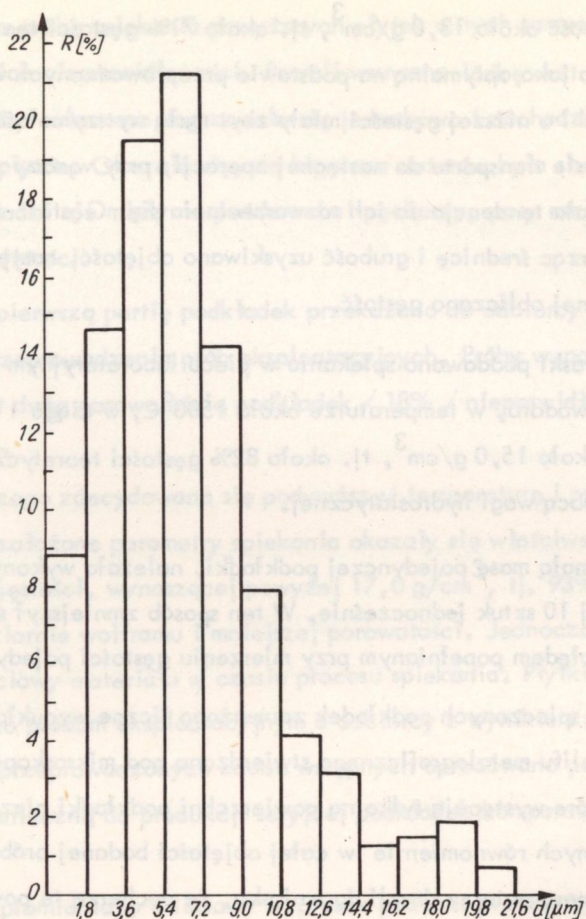
- miedź elektrolityczna o rozkładzie wielkości ziarn przedstawionym na rys.2; średniej średnicy ziarn równej  $8 \mu\text{m}$ ; gęstości nasypowej równej  $1,08 \text{ g/cm}^3$ ;
- nikiel karbonylkowy o rozkładzie wielkości ziarn przedstawionym na rys.3; średniej średnicy ziarn równej  $5 \mu\text{m}$ ; gęstości nasypowej równej  $1,94 \text{ g/cm}^3$ ;
- wolfram redukowany o rozkładzie wielkości ziarn przedstawionym na rys.4; średniej średnicy ziarn równej  $5 \mu\text{m}$ ; gęstości nasypowej równej  $1,94 \text{ g/cm}^3$ .



Rys.2 Rozkład wielkości ziarn proszku miedzi



Rys.3 Rozkład wielkości ziarn proszku niklu



Rys. 4 Rozkład wielkości ziarn proszku wolframu

Rozkład wielkości ziarn powyższych proszków określano za pomocą telewizyjnego analizatora obrazu typu Quantimet 720 o zdolności rozdzielczej  $0,1 \mu\text{m}$ , przy maksymalnym powiększeniu 1000 razy. Na wykresach przedstawiono procentowy udział ilości sztuk ziarn w poszczególnych przedziałach wielkości średnic mierzonych wzdłuż jednej osi współrzędnych.

Niezależnie od tego określono średnią średnicę ziarn metodą Fishera, a także gęstość nasypową za pomocą wolumetru Scotta.

Wymieszane w odpowiednim stosunku proszki poddano prasowaniu na prasie hydraulicznej bez zastosowania środków ułatwiających poślizg ziarn w czasie zagęszczania.

Wypraski miały gęstość około  $13,0 \text{ g/cm}^3$ , tj. około 71% gęstości teoretycznej; wartość tę określono jako optymalną na podstawie przeprowadzonych wcześniej prób prasowania. Wypraski o niższej gęstości miały zbyt małą wytrzymałość mechaniczną i kruszyły się w czasie transportu do następnej operacji, przy wyższych gęstościach natomiast występowała tendencja do ich rozwarstwiania się. Gęstość wyprasek określano geometrycznie: mierząc średnicę i grubość uzyskiwano objętość, następnie po zważeniu na wadze analitycznej obliczano gęstość.

Otrzymane wypraski poddawano spiekaniu w piecu laboratoryjnym w atmosferze czystego i suchego wodoru, w temperaturze około  $1500^\circ\text{C}$ , w ciągu 1 godziny. Gęstość spieków wyniosła około  $15,0 \text{ g/cm}^3$ , tj. około 82% gęstości teoretycznej; określano ją za pomocą wagi hydrostatycznej.

Ze względu na małą masę pojedynczej podkładki, należało wykonywać pomiar gęstości co najmniej 10 sztuk jednocześnie. W ten sposób zmniejszył się błąd pomiaru - w porównaniu z błędem popełnianym przy mierzeniu gęstości pojedynczych podkładek.

Na powierzchni spieczonych podkładek zauważono liczne wypukłości. Po wykonaniu poprzecznego szlif metalograficznego stwierdzono pod mikroskopem, że są to "puste" miejsca, które występują tylko na powierzchni podkładki niezależnie od drobnych porów rozłożonych równomiernie w całej objętości badanej próbki. Po przeanalizowaniu całego procesu autorzy doszli do wniosku, że pęcherze te powstają w wyniku nieprawidłowego spiekania.

Poddając spiekaniu powyższe podkładki wsuwano je w łożkach bezpośrednio w strefę grzejną pieca, bez uprzedniego powolnego nagrzewania. Powierzchnia tak spiekanych płytek nagrzewa się znacznie szybciej niż cała ich objętość, tworzy się faza ciekła miedzi i niklu, która aktywuje w tym miejscu proces spiekania wolframu. Pomiędzy ziarnami wolframu tworzą się mostki stykowe, a więc zmniejsza się ilość porów, co utrudnia dyfuzję gazów ze środka materiału na zewnątrz. Prężność gazów jest za mała, aby mogły się one wydostać swobodnie ze środka spieku poprzez warstwę już wstępnie spieczonych na powierzchni podkładki ziarn wolframu. W momencie krzepnięcia fazy ciekłej pozostaje pęcherz gazowy, tworząc wypukłość na powierzchni podkładki.

Przeprowadzono próbę spiekania powyższych płytek w tych samych warunkach unikając poprzednich nieprawidłowości. Powoli wsuwano łódkę w strefę wysokiej temperatury, tak aby cała masa dogrzewała się jednakowo i zachodziło równomierne spiekanie w całej płytce. Okazało się, że hipoteza autorów była słuszna. Spieczone w ten sposób podkładki nie miały na powierzchni pęcherzy, pory rozłożone były równomiernie w całej objętości.

Tak wykonaną pierwszą partię podkładek przekazano do odbiorcy w celu zmontowania tyrystorów i przeprowadzenia prób eksploatacyjnych. Próby wypadły niepomyślnie; w związku ze zbyt dużą porowatością podkładek / 18% / nieprawidłowo przebiegała operacja lutowania.

Wobec powyższego zdecydowano się podwyższyć temperaturę i przedłużyć czas spiekania. Nowo założone parametry spiekania okazały się właściwe. Otrzymano podkładki o wyższej gęstości, wynoszącej powyżej  $17,0 \text{ g/cm}^3$ , tj. 93% gęstości teoretycznej, o większym ziarnie wolframu i mniejszej porowatości. Jednocześnie podwyższył się skurcz objętościowy materiału w czasie procesu spiekania. Płytki spiekane w nowych warunkach poddano próbom eksploatacyjnym u odbiorcy z wynikiem pomyślnym.

Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych opracowano pełną dokumentację technologiczną konieczną do produkcji seryjnej podkładek kompensacyjnych do tyrystorów małej mocy.

Znając skurcz promieniowy i liniowy wyprasek podczas procesu spiekania zaprojektowano komplet matryc i stempli do prasowania proszków. W celu zwiększenia wydajności procesu prasowania proszków zaprojektowano matrycę siedmiopozycyjną, tak żeby w czasie jednego suwu roboczego prasy otrzymać jednocześnie siedem wyprasek. Ze względu na konieczność częstego kontrolowania gęstości wyprasek w czasie prasowania, opracowano tabelę przeliczeń ciężaru właściwego wyprasek w zależności od wymiarów i masy tabletki. W znaczny sposób upraszcza to bieżącą kontrolę prawidłowego prasowania proszków.

Tak przygotowane wypraski poddaje się procesowi spiekania w piecu tunelowym firmy FHD, typ MOH 4/2.

Rozkład temperatury wzdłuż pieca oraz odpowiednio dobrana szybkość przesuwu łódki zapewniają prawidłowy przebieg nagrzewania, spiekania i studzenia wsadu.

Proces spiekania zachodzi w atmosferze czystego i suchego wodoru.

Po zakończeniu procesu spiekania podkłady są czyszczone, kontrolowane na zgodność z WT i przekazywane do odbiorcy.

#### Podsumowanie wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań nad otrzymywaniem podkładek kompensacyjnych do tyrystorów małej mocy i późniejszego wdrożenia do produkcji, można wysnuć następujące wnioski:

- 1/ w opracowanej technologii optymalną wartością gęstości wyprasek jest gęstość w zakresie  $13,0 - 13,2 \text{ g/cm}^3$ ;
- 2/ nagrzewanie wyprasek do temperatury izotermicznego spiekania nie powinno być zbyt gwałtowne; prowadzenie procesu spiekania w piecu tunelowym ze ściśle określoną szybkością przesuwu wsadu zapewnia prawidłowe odgazowanie wyprasek.

#### LITERATURA

1. S. Stolarz: Materiały na styki elektryczne, WNT, Warszawa, 1968.
2. W. Rutkowski: Metalurgia proszków w nowoczesnej technice, Wyd. Śląsk Katowice, 1963.
3. M. Lejbrandt, K. Kaliszuk: Badania nad otrzymywaniem porowatego szkieletu wolframowego metodą spiekania aktywowanego, Materiały Elektroniczne, 2, 1973.
4. A. Bukat, W. Rutkowski: Teoretyczne podstawy procesów spiekania, Wyd. Śląsk, Katowice, 1974.
5. F. Kaspar: Thermobimetalle in der elektrotechnik, Berlin, 1960.
6. M. Lejbrandt: Opracowanie wielowarstwowych podkładek kompensacyjnych z materiałów spiekanych. Sprawozdanie 365, ONPMP, 1973.
7. S. Stolarz, W. Rutkowski: Wolfram i molibden, PWT, Warszawa, 1961.
8. Z. Ostas: Wolframowe podkłady kompensacyjne do krzemowych diod mocy, Biuletyn Informacyjny CEMI, 3, 1972.

W poszczególnych etapach niniejszego opracowania wzięli udział:

Z. Ostas, J. Nowak, W. Henrykowski, R. Kolankiewicz, J. Grodzki, rozwiązując szereg problemów szczegółowych i ogólnych. Autorzy opracowania tą drogą składają im podziękowanie.

## Spis treści

Niektóre defekty obserwowane w homoepitaksjalnych warstwach krzemu - E. Nossarzewska-Orłowska, M. Pawłowska .....	3
Spiekane podkładowki kompensacyjne WNiCu do tyrystorów małej mocy - M. Lejbrandt, K. Kaliszuk, W. Osowska .....	10



