

**OSRODEK
NAUKOWO-
PROOOGYJNY
MATERIAŁÓW
PÓŁPRZEWODNIKOWYCH
WARSZAWA**

PRACE ONPMP

**BADANIA NAD ZŁĄCZAMI
METAL-SZAFIR ; METAL-LUKALOX**

1974

Nr 1

WYKONANIE PRAC
WYKONANIE PRAC
WYKONANIE PRAC

1011

1011

OSRODEK NAUKOWO-PRODUKCYJNY
MATERIAŁÓW PÓLPRZEWODNIKOWYCH

Zakład Złączeń i Zastosowań

W. OLESINSKA

BADANIA NAD ZŁĄCZAMI
METAL-SZAFIR i METAL-LUKALOX

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Redaktor Naczelny: Bolesław Jakowlew

Z-ca Redaktora Naczelnego: Paweł Drzewiecki

Redaktorzy działowi:

Jan Bekisz

Bohdan Ciszewski

Zenon Horubała

Andrzej Hruban

Czesław Jaworski

Edward Szabelski

Władysław Włosiński

Sekretarz Redakcji: Ewa Brojan

Adres Redakcji:

Warszawa, ul. Konstruktorska 6, tel. 43-74-61

Do użytku służbowego

WPM "WEMA", Warszawa 1974. Wydanie I. Format B5. Nakład 500+60 egz. Ark.
wyd. 0,88. Ark. druk. 166/A Papier offsetowy III klasy 80 g B1. Symbol:1336/74

Syntetyczne monokryształy korundu, ze względu na bardzo dobre własności elektrolizacyjne oraz wysokie przewodnictwo cieplne są coraz częściej stosowane w nowoczesnej elektronice i mikroelektronice.

Mimo wysokiego kosztu wytwarzania monokryształów korundu stosowany jest jako element konstrukcyjny w lampach mikrofalowych, magnetronach i kilstronach.

Nowa dziedzina zastosowań to płytki podłożowe do układów cienkowarstwowych oraz elementy do układów scalonych.

W niniejszej pracy zostaną głównie omówione zagadnienia technologiczne związane z wykonywaniem połączeń monokryształów tlenkowych z metalem.

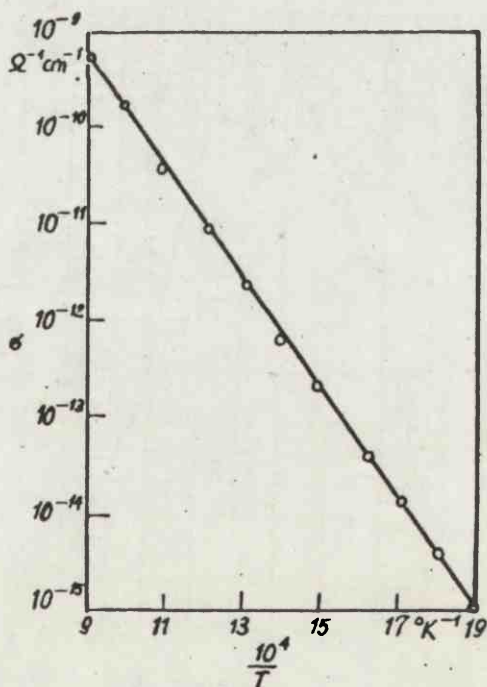
Zakres tematu obejmuje:

1. Opracowanie metalizacji dla syntetycznego monokryształu korundu oraz dla polikrystalicznego Al_2O_3 - lualoksu.
2. Opracowanie technologii wykonywania złączy z zastosowaniem wymienionych materiałów izolacyjnych wg konstrukcji przedstawionych na rys. 9, 10 i 11.
3. Badanie własności mechanicznych, termicznych i elektrolizacyjnych złączy.

1. WŁASNOŚCI SYNTETYCZNEGO MONOKRYSTAŁU KORUNDU

Najczęściej stosowane w technice syntetyczne monokrystały korundu to - leukoszaflir - czysty Al_2O_3 bezbarwny, szafir - o zawartości domieszek /od $0,02 \pm 0,008\%$ / Ti , Fe , Mn , Ni , V i Co oraz rubin o różnych zawartościach Cr . Ze względu na specyficzne zastosowanie czystego korundu w technice jest on przedmiotem szczególnych badań [1, 5, 6, 7, 8]. Z punktu widzenia stosowania go w elektronice i mikroelektronice najważniejsze są własności elektroizolacyjne i ciepłone.

W temperaturze pokojowej Al_2O_3 jest praktycznie izolatorem. Zależność temperaturową przewodnictwa elektrycznego tak monokrystałów jak i polikrystalicznego Al_2O_3 badał Peters [5] w zakresie temperatur 673 - 1273 K w powietrzu.



Rys. 1. Przewodnictwo elektryczne Al_2O_3 w funkcji temperatury [5]

Dasgupta [6] badał zależność przewodnictwa elektrycznego w funkcji temperatury monokrystałów zawierających różne zanieczyszczenia (pod różnymi ciśnieniami powietrza i argonu).

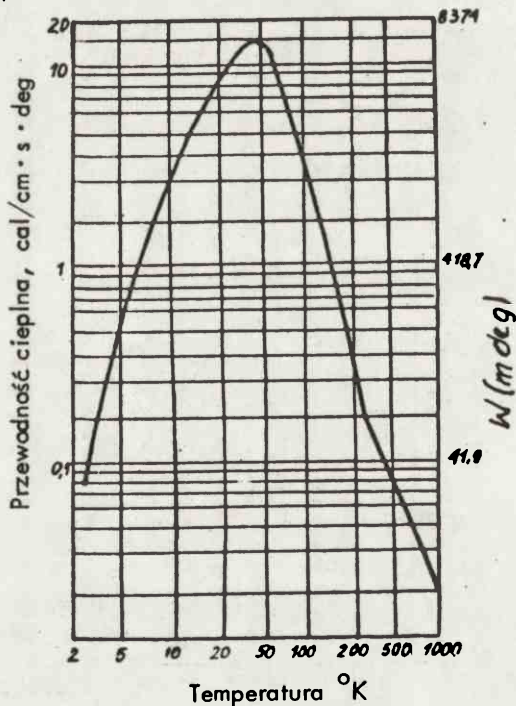
Zmiany rezystancji skrośnej właściwej, stałej dielektrycznej i tg stratności dielektrycznej przy częstotliwości 10 GHz w funkcji temperatury dla monokryształu szafiru w kierunku 60° do osi optycznej c przedstawione są w tabeli 1 [1].

Tabela 1

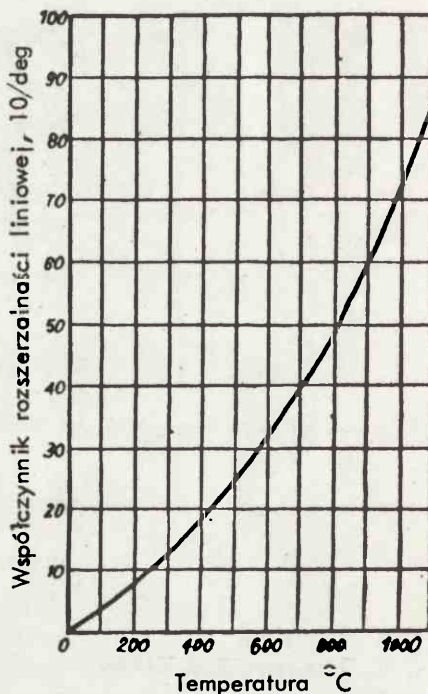
Temperatura $^\circ\text{C}$	Stała dielektryczna ϵ	Tg kąta stratności 1×10^{-4}	Rezystancja skrośna właściwa $\Omega \text{ cm}$
20	9,0	-	-
500	-	-	10^{11}
900	10,0	0,01	10^9
1000	10,5	0,1	10^8
1100	11,0	1,0	10^7
1200	12,0	10,0	10^6
1300	14,0	50,0	5×10^5

Monokryształy tlenku glinu odznaczają się dobrym przewodnictwem cieplnym - odmiana $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ stanowi standardową próbkę przewodności w zakresie temperatur od 10 - 1800 K [1], wartość przewodności cieplnej monokryształu szafiru w temperaturze 20°C wynosi $0,1 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{deg}$, zaś dla kryształu rubinu $0,2 \text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{deg}$ [7].

Zmianę przewodności cieplnej i współczynnika rozszerzalności cieplnej rubinu przedstawiono na wykresach 2 i 3 [8].

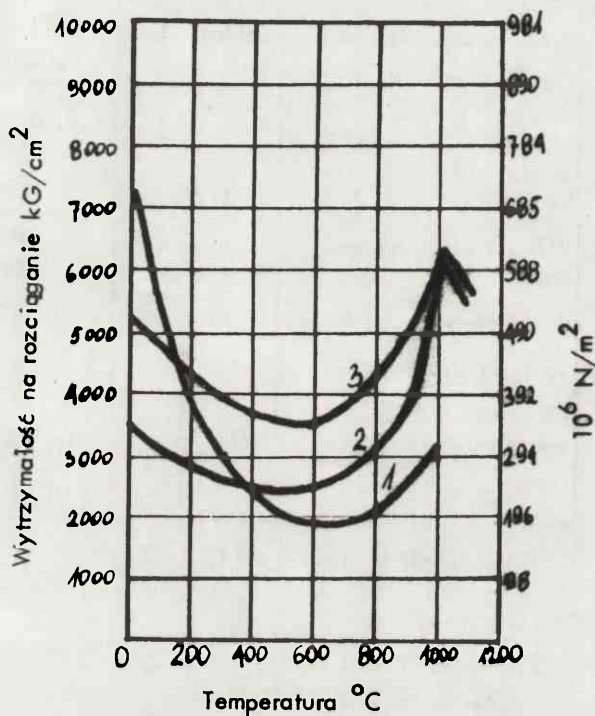


Rys. 2. Przewodność cieplna mono-kryształu rubinu w zakresie $2,5 \pm 1000 \text{ K}$



Rys. 3. Zależność współczynnika rozszerzalności liniowej rubinu od temperatury

Interesujące są również badania dotyczące własności plastycznych monokryształów. Pod wpływem przyłożonych sił w wyniku płynięcia plastycznego kryształy ulegają deformacji. Stwierdzono wyraźną anizotropię płynięcia szafirów, która następuje wzdłuż uprzywilejowanych kierunków. Deformacja ta może następować powyżej temperatury 900°C, przy czym rozróżnia się dwa jej mechanizmy: przez poślizg i bliźniakowanie. Według Conrada [4] udział poszczególnych mechanizmów zależy od temperatury i wielkości naprężeń. Wpływ temperatury na wytrzymałość na rozciąganie monokryształów rubinu i szafiru przedstawia rys. 4 [4.]



Rys. 4. Wpływ temperatury na wytrzymałość na rozciąganie monokryształów szafiru i rubinu /1 - rubin, 2 - szafir 0°, 3 - szafir 45°/

Readey i Kuczyński [15] badali zachowanie się kryształów korundu w atmosferze wodoru. W temperaturze 1850°C, w suchym wodorze, Al_2O_3 sublimuje i kondensuje w zimnych częściach pieca.

Entalpia reakcji:



w temperaturze 1727°C wynosi 311 kcal/mol.

Porównanie własności monokryształu szofiru z tworzywami ceramicznymi o dużej zawartości Al_2O_3 przedstawiono w tabeli 2.

Własności tworzyw wysokoglinowych

Własność	Jednostka	Szafir [1]	Al ₂ O ₃ 99% [2]	Al-19 [3]
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	°C ⁻¹ · 10 ⁻⁷	84 /20-1000°C/	80 /25-720°C/	85 /20-900°C/
Maksymalna temperatura pracy	°C	1900	1700	1500
Przewodność cieplna	cal/cm ² · °C · s	0,11/0°C/ 0,06/100°C/ 0,03/400°C/ 0,01/1000°C/	0,07/25°C/ 0,032/300°C/	
Wytrzymałość na ścisnienie	kG/cm ²	21000	21000	20000
Wytrzymałość na zginanie	kG/cm ²	4060	3360	3200
Stała dielektryczna		11 [10 GHz]	9,7 [1 MHz]	9,3 [1 MHz]
Tg kąta stratności	tg x 10 ⁴	→ 2 [10 GHz]	2 [1 MHz]	5 [1 MHz]
Oporność skrośna właściwa	Ω cm	- /20°C/ 10 ⁹ /900°C/ 10 ⁸ /1000°C/	· 10 ¹⁴ /25°C/ 1 · 10 ¹¹ /500°C/ 1 · 10 ⁹ /700°C/	10 ¹⁴ /20°C/

Dane tabeli pochodzą z [1, 2, 3].

Własności szafiru podane są w kierunku 60° do osi optycznej kryształu.

2. METODY ŁĄCZENIA TWORZYW CERAMICZNYCH O ZAWARTOŚCI Al₂O₃ > 99% Z METALAMI

W technice łączenia materiałów elektroizolacyjnych z metalami szeroko stosowane są metody:

metalizacji proszkowej - opartej na proszkach Mo i W,
lutów aktywnych,
dyfuzyjne,
łączenia poprzez szkliva.

Wybór odpowiedniej metody łączenia uzależniony jest przede wszystkim od rodzaju łączonych materiałów, konstrukcji połączeń oraz od warunków pracy złącza. Uzyskanie połączeń o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, termicznej i klimatycznej, niezależnie od zastosowanej metody, uwarunkowane jest wytworzeniem w procesie łączenia odpowiedniej warstwy przejściowej. Wymienione metody łączenia tworzyw ceramicznych o różnych zawartościach procentowych Al₂O₃ są dokładnie opisane i szeroko stosowane w produkcji podzespołów elektronicznych i elementów półprzewodnikowych [1, 3, 7].

Powyższe metody omówione są także w aspekcie łączenia specjalnych materiałów ceramicznych wysokiej czystości: monokryształu korundu w postaci szafiru i rubinu, polikrystalicznego tlenku glinu zwanego lukoloksem oraz monokryształu tlenku berylu.

Metoda metalizacji proszkowej

Mechanizm procesów zachodzących podczas spiekania różnych proszków metalizacyjnych, w wyniku którego otrzymuje się połączenia warstwy metalicznej z podłożem ceramicznym, jest bardzo złożony i trudny do jednoznacznego interpretowania. Odpowiada on częściowo tak teorii "reakcji chemicznych" Plncusa [10], jak i teorii "fazy szklistej" Cole'a i Sommera [11], mimo że żadna z tych teorii nie została w pełni potwierdzona. Mechanizm ten jest zależny od szeregu czynników, między innymi od rodzaju stosowanych proszków, warunków termicznych, rodzaju atmosfery ochronnej, składu chemicznego i składu fazowego podłoża oraz czasu trwania procesu.

Składniki biorące udział w procesie spiekania wchodzić w różne reakcje chemiczne i jednocześnie biorą udział w procesach fizycznych przenoszenia masy tak na odległości atomowe jak i mikroskopowe.

W przypadku metalizacji tworzyw nie zawierających substancji łatwopalnych, lub zawierających je w bardzo małych ilościach, bardzo ważnym czynnikiem jest dobór dodatków do składnika podstawowego /W lub Mo/. Rola dodatków polega m.in. na polepszaniu zwilżalności podłoża, podwyższaniu adhezji, ułatwianiu wzajemnego spiekania proszków metalizacyjnych.

Najczęściej stosowane metale to: tytan, mangan i wanad lub ich związki. Są to pierwiastki o dużym powinowactwie do tlenu a ich promienie jonowe są bardzo zbliżone do promienia jonowego glinu, dzięki temu w warunkach spiekania mogą wchodzić wzajemnie w reakcje chemiczne. Cole i Sommer badali spieki MnO, TiO₂ i Mo z Al₂O₃ oraz na podłożu z szafiru w następujących warunkach:

Mo, Al ₂ O ₃	Mo - szafir	1700°C
MnO, Al ₂ O ₃	MnO - szafir	1600°C
TiO ₂ , Al ₂ O ₃	TiO ₂ - szafir	1500°C

w atmosferze wodoru o punkcie rosy +30°C w ciągu 1 godz.

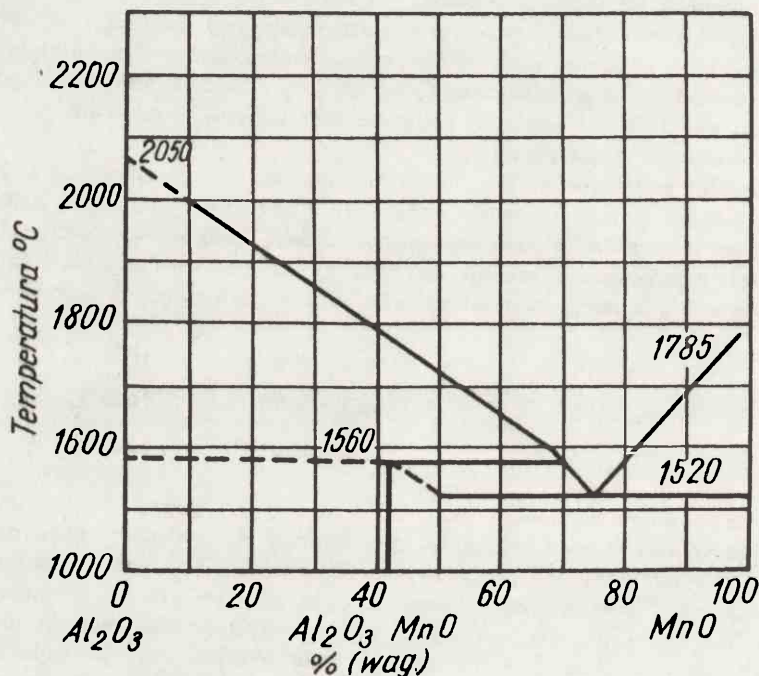
Badając wyniki stopnia spiekania, promieniami X i metodami spektrograficznymi, stwierdzono w mieszaninach proszkowych: MnO - Al₂O₃ małe ilości niezwiązane MnO oraz "trzecią fazę", która nie była spinel^{em} glinowomanganowym; w mieszaninie TiO₂ - Al₂O₃ nie znaleziono wolnego TiO₂ - występowała również "trzecia faza", zaś w mieszaninie Mo - Al₂O₃ nie wykryto żadnych związków. W wyniku badania tych samych spieków na szafirze wyodrębniono "trzecią fazę" tylko w przypadku MnO.

Stosując metalizację z proszku Mo z dodatkiem 20% MnO i 3% Ti, autorzy wykonali z ceramiką zawierającą 99% Al₂O₃ złącza o bardzo wysokiej wytrzymałości.

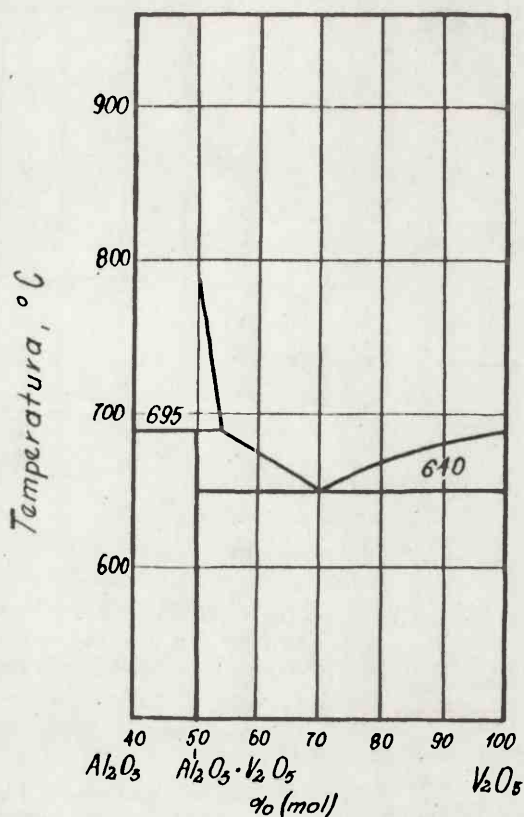
Krasowska i Szutowa [12] opisują sposób wykonywania złącza o dużej wytrzymałości przy użyciu metalizacji o składzie Mo - 80%, Mn - 10% i 10% TiH₂. Metalizację tę spiekano w atmosferze gazu ochronnego o składzie N₂:H₂ = 1:2 o punkcie rosy +26 ± 2°C przez 30 minut.

Frenkel i Kuskowa [13] do metalizacji szafiru stosowali mieszaniny proszków Mo, Mn i V_2O_5 . Według autorów, wytrzymałe połączenie pokrycia metalicznego z podłożem powstaje w wyniku chemicznego oddziaływania komponenty V_2O_5 lub V_2O_3 i MnO z szafirem. W wyniku reakcji powstają złożone spinele $Mn_2V_2O_{11}$, V/Al_2O_3 , które tworzą roztwory stałe ze spinelem glinowkrzemowym $MnO \cdot Al_2O_3$. W pracy metodami rentgenowskimi zbadano spieki V_2O_5-Mn i V_2O_3-Mn w różnych stosunkach wagowych od 4 części Mn/1 część V_2O_5 do 1 części Mn/3 części V_2O_5 , uzyskane w temperaturach 1200 - 1400°C w atmosferze gazu ochronnego $N_2:H_2=1:3$ o punkcie rosy $+28 \pm 2^\circ C$. Przy stosowaniu tych proszków na powierzchni granicznej z szafirem występuje warstwa spinelowa; najwięcej reakcji chemicznych zachodzi dla składu: 1 część wagowa Mn/3 części wagowe V_2O_5 . Nie uzyskuje się jednak dobrego spiekania ziarn Mo na całej grubości warstwy, za tym do proszków metalizacyjnych należy dodawać składniki wiążące je np. szkliva wysokotopliwe.

Wykresy przedstawiają układy równowagi fazowej $Al_2O_3 - MnO$ i $Al_2O_3 - V_2O_5$ wg [14] /rys. 5, 6 i 7/.



Rys. 5. Układ równowagi fazowej $Al_2O_3 - MnO$



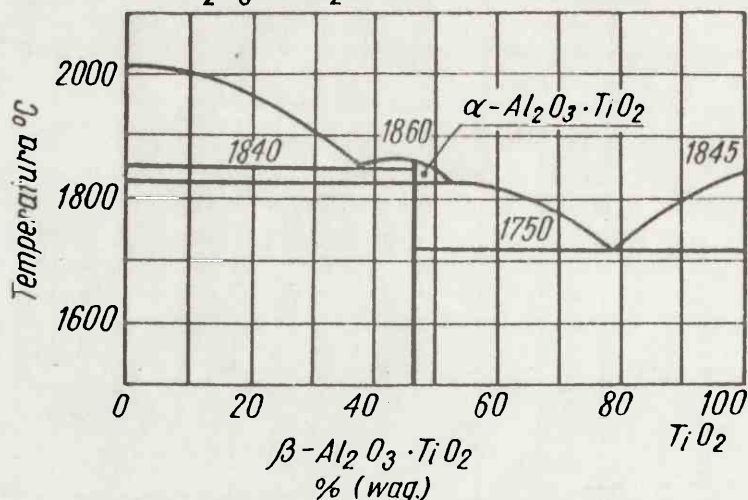
Rys. 6. Układ równowagi fazowej $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$

Metoda lutów aktywnych

Metoda ta polega na bezpośrednim wykonaniu złącza szafir-metal przy użyciu lutów konwencjonalnych, do których zostały wprowadzone aktywne metale Ti, Zr lub Mn. Lutowanie połączeń wykonuje się w próżni poniżej 10^{-5} Tr lub w czystym wodorze o punkcie rosy -70°C . Istnieje wiele sposobów wprowadzenia metali aktywnych do złącz. Najbardziej rozpowszechniona jest metoda wodorkowa polegająca na bezpośrednim nanoszeniu na powierzchnię ceramiki proszku TiH_2 , bądź metalizacji Ag, Cu, Ti w proporcji AgCu28Ti6. W odniesieniu do szafirów opisana jest przez Velta [16] metoda lutowania stopem AgCu28 z dodatkiem 6% Ti, w temperaturze $810 - 850^\circ\text{C}$.

Mechanizm dobrej przyczepności lutów aktywnych do powierzchni Al_2O_3 tłumaczony jest faktem dużego powinowactwa Ti do tlenu. W warunkach prowadzenia procesu /wysoka temperatura, próżnia/ następuje rozkład TiH_2 . Powstające jony Ti^{+2} , Ti^{+3} , Ti^{+4} o wymiarach podobnych do jonów Al^{+3} , w obecności H_2 in statu nascendi, podstawiają się izomorficznie tworząc tlenki pośrednie $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}$. Armstrąg analizując reakcje ciekłego Ti z Al_2O_3 za pomocą promieni X, stwierdził na powierzchni granicznej występowanie związków $\propto \text{Ti}_2\text{O}_3$ o analogicznej strukturze heksagonalnej jak $\propto \text{Al}_2\text{O}_3$ i o bardzo zbliżonej stałej sieci.

Wykres fazowy dla Al_2O_3 i TiO_2 podany przez [7] przedstawia się następująco:

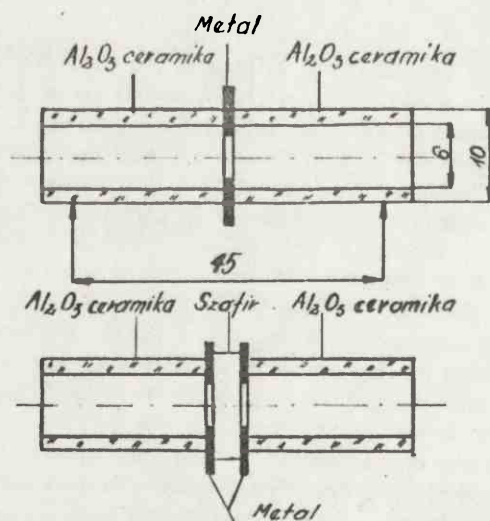


Rys. 7. Układ równowagi fazowej $Al_2O_3 - TiO_2$

Niektórzy autorzy [18] stwierdzają rozpuszczanie się TiO_2 w korundzie w stanie stałym w zakresie do 1300°C w ilościach 0,25 ÷ 0,3% mól, przy czym tytan przechodzi do roztworu w postaci jonów Ti^{+3} i Ti^{+4} . Na wykresie fazowym rozpuszczalność ta nie zostaje zaznaczona.

Metoda dyfuzyjna

Klomp [19] opisuje metody dyfuzyjnego łączenia ceramiki alundowej o zawartości 99,7% Al_2O_3 i szafiru z różnymi metalami. W obu przypadkach badał złącza w układzie zrównoważonym.



Rys. 8. Złącza dyfuzyjne

Powierzchnie wszystkich elementów łączonych były starannie przygotowane - elementy metalowe stanowiły przekładki z taśmy o grubości 100 μm .

Łączenie wykonywano w piecu indukcyjnym w atmosferze ochronnej wodoru, stosując odpowiednie naciski zależnie od rodzaju łączonego metalu, w temperaturze $0,9 T$, gdzie T - temperatura topnienia metalu (w K.)

Naciski dla Pt , Fe , Ni , Cu wynosiły od 0,25 do 50 kG/cm^2 .

Naciski dla Al , Pb , Zn wynosiły od 75 do 150 kG/cm^2 .

Wytrzymałość na zginanie wykonanych połączeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Rodzaj metalu	Wytrzymałość: kG/cm^2	
	z szafirem	z ceramiką Al_2O_3
Fe	25	22
Pt	-	25
Ni	-	20
Cu	-	14
Al	9	9
Pb	5,6	4,4

Przy łamaniu złącz ceramiki z żelazem, pękały kształtki ceramiczne a nie miejsca połączeń. Powierzchnie łączenia badano za pomocą sondy elektronowej i promieni Rentgena. W odległości 200 \AA od złącza nie stwierdzono żadnych produktów reakcji: połączenie miało zatem charakter czysto fizyczny. Wykonane połączenia były próżniuszczelne, a wytrzymałość złącza wynosiła do 90% wartości wytrzymałości na rozciąganie łączonego metalu. Z wartości wytrzymałości złącza no zginanie wyliczono wielkość termodynamicznej adhezji.

Łączenie poprzez szkliva

Klomp i Bolden opisują [20] metody łączenia tworzyw o wysokiej zawartości Al_2O_3 za pomocą szkliw. Mieszaniny o składzie $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MnO-SiO}_2$ stosowane były do łączenia ceramiki ze stopami żelaza w temperaturze 1140 $^\circ\text{C}$; złącza te wytrzymują temperaturę pracy 750 $^\circ\text{C}$.

Stosowane są również spieki wysokotemperaturowe $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$ do wykonywania złącz pracujących w temperaturach 1300-1700 $^\circ\text{C}$.

Jak podaje literatura [1] szafir łączy się z metalami przy użyciu szkliva firmy Corning Glas No 7530 o współczynniku rozszerzalności liniowej równym $71 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$. Ta informacja wydaje się bardzo interesująca z uwagi na zastosowanie szafirów do specjalnych elementów półprzewodnikowych.

3. PRACE WŁASNE

Przedmiotem opracowania jest technologia łączenia elementów z szafiru i lukaloxu z różnymi metalami do zastosowania na obudowy do tranzystorów mocy, obudowy do półprzewodników mikrofalowych, do elementów optoelektronicznych oraz do specjalnych przepustów prądowych pracujących w wysokiej temperaturze. Celem uzyskania informacji o własnościach złącz szafir-metal i lukalox-metal w różnych

układach konstrukcyjnych oraz w połączeniu z różnymi metalami wykonano układy złączowe przedstawione przykładowo na załączonych rysunkach 9, 10 i 11.

Wstępne próby wykonania połączeń szafir-metal /rys. 9 i 10/ przeprowadzono stosując metodę wodorkową z zastosowaniem stopu AgCu28 jako lutowia. Elementy metalowe wykonane były ze stopu FeNi42. Lutowanie przeprowadzono w piecu próżniowym w temperaturze 820°C, pod ciśnieniem około 5·10⁻⁵ Tr. Uzyskano złącza próżnioszczelne o naciekach > 10⁻⁸ Tr l/s.

W aspekcie szerokiego zastosowania złącz szafir-metal technologia wodorkowa nie jest ekonomiczna.

W toku dalszych prac przeprowadzono próby łączenia metodą metalizacji proszkowej. Wykonano szereg prób z zastosowaniem różnych składów post metalizacyjnych spiekanych w różnych warunkach /tabela 4/.

Tabela 4

Skład proszków metalizacyjnych	Warunki spiekania	
	Temperatura	Atmosfera ochronna
Mo - 80% Mn - 10% TiO ₂ - 10%	1380 ±5°C	N ₂ :H ₂ =1:3 p. rosy +15°C
Mo - 75% Mn - 5% V ₂ O ₅ - 10% szkło litowe - 10%	1280 ±5°C	N ₂ :H ₂ =1:3 p. rosy +15°C
Mo - 80% Mn - 14% FeSi - 6%	1280 ±5°C	N ₂ :H ₂ =1:3 p. rosy +15°C
W - 70% Mn - 15% Ni - 0,2% szkło - 14,8%	/1260÷1280/ ±5°C	H ₂ p. rosy +15°C

Jako drugą warstwę metalizacji stosowano żelazo albo nikiel nakładany chemicznie lub galwanicznie.

Złącza lutowano stopami AgCu21Ni2, CuAu10Ge5 oraz czystą miedzią w atmosferze wodoru o p. rosy - 20°C.

Ze względu na specyficzne własności monokryształów Al₂O₃ przeprowadzono próby określenia optymalnej szybkości grzania i studzenia w procesach metalizacji oraz lutowania. Warstwy metalizacyjne z proszków Mo, Mn i TiO₂ /p. 1 tablica 4/ wykazywały dobrą przyczepność do podłoża; jako drugą warstwę nakładano proszek Fe, który spiekano w temperaturze 950°C w atmosferze wodoru o punkcie rosy -20°C. Uzyskano próżnioszczelne złącze /rys. 9/ o naciekach powyżej 10⁻⁸ Tr l/s.

Warstwy metalizacyjne wykonane zgodnie z zestawem drugim /tabela 4/ nie miały zadawalającej przyczepności mechanicznej do szafiru.

Najlepszą przyczepność warstw metalizacyjnych do podłoża uzyskano stosując pasty z proszków Mo, Mn i FeSi oraz W, Mn i Ni ze szkłem litowym. Stosując te dwa zestawy uzyskano również największą powtarzalność próżnioszczelności przy wykonywaniu złączy. Na warstwy metalizacyjne z proszków Mo, Mn i FeSi jako drugą warstwę nakładano nikiel galwanicznie i chemicznie. Złącza /rys. 9, 10 i 11/ lutowano stopem AgCu21Ni2 oraz miedzią. Wykonane połączenia były próżnioszczelne o naciekach powyżej 10^{-8} Tr 1/s.

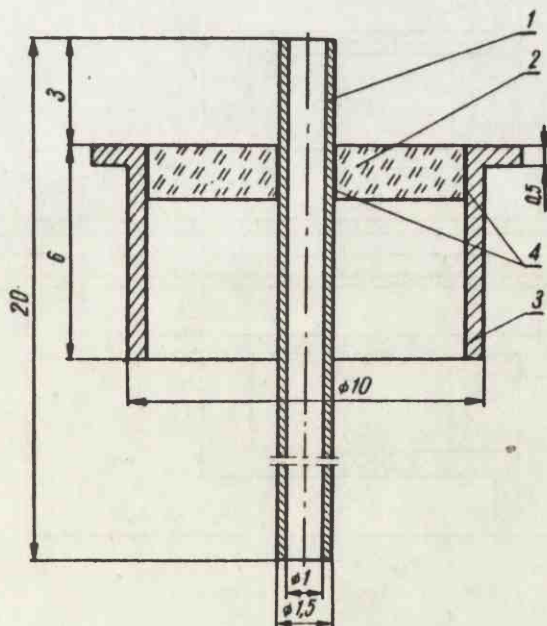
Warstwy metalizacyjne z proszków W, Mn, Ni i szkła litowego do złączy pokrywano proszkiem Fe, złącza lutowano miedzią. Podobnie jak w przypadku poprzednim uzyskano bardzo dobrą powtarzalność próżnioszczelności złączy.

Z omówionych składów past metalizacyjnych do łączenia elementów z szafiru z metalem, najkorzystniejszy wydaje się zestaw oparty na proszkach Mo, Mn i FeSi. Na warstwę tę, po spieczeniu, można łatwo nakładać nikiel metodą galwaniczną lub chemiczną, co jest szczególnie ważne przy produkcji obudów do tranzystora mocy w.cz. [17] jak również innych elementów elektronicznych o skomplikowanej konstrukcji.

Ze względu na nierozpoznane wartości parametrów wytrzymałości złączy /mechanicznej, termicznej i elektrycznej/ należy przeprowadzić następujące badania w warunkach pracy ciągłej oraz poznać ich wartości ekstremalne.

W tym celu wykonane będzie:

- długotrwałe wygrzewanie w temperaturze 650°C w atmosferze powietrza oraz doka-
- na się badania:
- odporności na cykle termiczne $20-650-20^{\circ}\text{C}$ [12]
- odporności na szoki termiczne od $+200$ do -50°C
- rezystancji właściwej w funkcji temperatury.



Rys. 9. Przepust przeznaczony do prób:

1 - rurka, 2 - pierścień, 3 - tulejka, 4 - lutowie

WYKAZ LITERATURY

1. KOHL A.: Handbook of Materials and Techniques for Vacuum Devices, Reinhold Publishing Co. 1967
2. Katalog firmy NGK Spark Plugs /USA/, INC.
3. MAJEWSKA A., PYTLAK A.: Elektronika PIE nr 11, 1970, s. 480-488
4. CONRAD H.: Mechanical behavior of sapphire. J. Am. Ceram. Soc. nr 4, 1965, s. 195
5. PETERS D.W.: J. Phys. Chem. Solids, 27, 1560 /1966/
6. DASGUPTA S.: Brit. J. Appl. Phys. 17, 267 /1966/
7. GIBAS T.: Korund i jego zastosowanie w technice, Katowice 1971
8. CZOCHRALSKI J.: J. Appl. Phys. nr 12, 1966, s. 1-13
9. KRONBERG M.L.: J. Am. Ceram. Soc. 45 /June 1962/ s. 274-279
10. PINCUS A.G.: J. Am. Soc. 36, 152 /1953/
11. COLE S.S., SOMMER G: J. Am. Ceram. Soc. 44/1961, s. 265
12. КРАСОВСКАЯ А.К., ШУТОВА Г.С.: Реферативный журнал 1972
13. РЕШЕТНИКОВ А.М., ФРЕНКЕЛЬ Э.Б., КУСКОВА В.С.: Реферативный журнал 1972.
14. LEVIN E.M., ROBBINS C.R., Mc MURDIE H.P.: J. Am. Ceram. Soc. Ohio 1964
15. READEY D.W., KUCZYŃSKI G.S.: J. Am. Ceram. Soc. nr 1, 1966 s. 26
16. VELTE A.J.: Ceramic-titanium sealing process. Le Vide, 88 /1960/, s. 330-341
17. OLESIMSKA W., KUJAWA E.: Sprawozdanie, ONPMP, W-wa, 1973
18. WINKLER E.R., SARWER J.F., CUTLER J.B.: J. Am. Ceram. Soc. nr 12, 1966, s. 634
19. KLOMP J.T.: Ber. Dt. Keram. Ges. 47 /1970/, H. 10
20. KLOMP J.T., BOTDEN T.: Ceramic Bulletin, vol. 49, nr 2, 1970

1.2

1.2

<http://rcin.org.pl>

