

Jan MOSZUMAŃSKI  
Zdzisław WŁODARSKI  
Wyższa Szkoła Inżynierska  
w Koszalinie

## PROBLEM STARCZENIA ZŁĄCZ LUTOWANYCH W TECHNICIE MIKROUKŁADÓW GRUBOWARSTWOWYCH

**Streszczenie.** Łączenie warstw konduktywnych z innymi elementami układów grubowarstwowych na drodze lutowania winno zapewniać im minimalną rezystywność i dobrą wytrzymałość. Wytrzymałość tych złączy ulega w czasie eksploatacji obniżeniu na skutek niekorzystnych procesów dyfuzyjnych, zachodzących pomiędzy warstwą metalizowaną a składnikami lutu.

W niniejszej pracy zbadano stopień obniżenia wytrzymałości w wyniku starzenia złączy lutowanych pastą lutowniczą (Sn, Pb, Ag). Określono również przyczynę tego zjawiska.

### 1. WPROWADZENIE

W technice mikroukładów grubowarstwowych lutowanie jest podstawową techniką wykonywania połączeń warstw przewodzących z wyprowadzeniami zewnętrznymi.

Ponieważ konfiguracje zespołów wymagają końcówek wyprowadzeń narażonych często na wielokrotne zginanie, trwałość tych połączeń jest cechą o bardzo dużym znaczeniu.

W procesie wytwarzania mikroukładów grubowarstwowych na podłożu ceramicznym pasty przewodzące, rezystywne i dielektryczne poddawane są kilkukrotnej obróbce cieplnej. Najpierw wypala się warstwy przewodzące, a następnie - izolacyjne, dielektryczne oraz rezystywne.

W procesie obróbki termicznej tych past zachodzi scalenie warstwy z podłożem ceramicznym, utrwalenie ich geometrii i ustalenie określonych własności.

Większość kompozycji past przewodzących oparta jest na metalach szlachetnych (Ag, Au, Pd, Pt). Wysokiemu zaś kosztowi tych materiałów przeciwstawiane są takie zalety, jak: trudne wypalanie w atmosferze powietrza, dobre własności elektryczne oraz czyste powierzchnie do lutowania.

Większość materiałów przeznaczonych na przewodniki grubowarstwowe zawiera spoiwo szklane, które w procesie wypalania reaguje z materiałem podłoża ceramicznego oraz tworzy siatkę szkła w przewodniku. Przyczepność warstwy spowodowana jest głównie przez mechaniczne zablokowanie przez siatkę szkła spieczonego proszku metalu.

Według Loesby'ego [1] obniżenie wytrzymałości złączy lutowanych spowodowane jest uszkodzeniem siatki szkła na skutek spiętrzenia dyfuzyjnego

składników lutowia na granicy siatka szkła - metal, w temperaturach towarzyszących procesom starzenia. Hailes i Crossland [2] stwierdzają, iż podczas procesów starzenia składniki lutu Pb-Sn wzajemnie dyfundując tworzą międzymetaliczne kruche związki  $Ag_3Sn$ , co jest głównym powodem osłabienia złącza.

Przeprowadzone dotychczas prace dotyczące osłabienia złączy lutowanych warstw srebrowych na ceramice nie wyjaśniają jednak faktu, iż uszkodzenia złączy pojawiają się z reguły na granicy warstwa - ceramika, a nie na granicy warstwa - lut. Fakt ten spowodował podjęcie badań w tym zakresie, mających na celu wyjaśnienie przyczyny spadku wytrzymałości złączy lutowanych warstw srebrowych z wyprowadzeniami, stosowanych w elektronicznych układach grubowarstwowych.

#### 2. PRÓBKI DO BADAŃ

Na płytki z ceramiki alundowej 96 %  $Al_2O_3$  o wymiarach 20x30x0,8 mm nakładano metodą sitodruku (sito 200 mesh, koło o średnicy 3 mm) pastę srebrową (P-120 produkcji Centrum Naukowo - Produkcyjnego Materiałów Elektronicznych w Warszawie ul. Konstruktorska) - rys.1 i rys.2.

Warstwę nałożoną na płytce ceramicznej suszono w suszarce tunelowej w temperaturze 150°C przez 15 min, a następnie wypalano w temperaturze 850°C w piecu taśmowym prod. angielskiej firmy BTU. Czas przebywania próbki w maksymalnej temperaturze wynosił 15 min. Szybkość narastania i spadku temperatury podczas podgrzewania i chłodzenia wynosiła 50°C/min.

Do badań wytrzymałości połączeń przygotowano 210 próbek z przylutowanymi wyprowadzeniami przy użyciu pasty lutowniczej o nazwie handlowej LC63Ka-1 prod. CNKPME. Pastę lutowniczą nakładano na warstwę srebrową przez stalowy szablon o grubości 0,5 mm i średnicy otworu 3 mm.

Lutowanie wyprowadzeń drutowych o średnicy 1,6 mm wykonano w przyrządzie zapewniającym prostokątne wyprowadzenia do podłoża. Proces lutowania przeprowadzono na łaźni Sn-Pb, wykorzystując stanowisko do badania lutowności. Temperatura lutowia w wannie wynosiła 340°C, czas lutowania 15 s.

#### 3. METODYKA I WARUNKI WYKONANIA BADAŃ

Przygotowane (jak w p.2) próbki z przylutowanymi wyprowadzeniami podzielono na partie i poddano procesowi starzenia, a następnie próbie wytrzymałościowej na rozciąganie (rys.3).

Proces starzenia przeprowadzono w suszarce komorowej w temperaturach: 100°C, 125°C i 150°C, w czasie: 8, 16, 32 i 64 h.

Do badania wytrzymałości niestarzonych i starzonych w różnych warunkach złączy użyto partii składającej się z 15 próbek. Badania te przepro-

wadzone z zastosowaniem maszyny wytrzymałościowej.

Próbki do badań mikroanalitycznych poddano starzeniu w temperaturze  $150^{\circ}\text{C}$  w czasie: 8, 16, 32 i 64 h. Po starzeniu próbki te przecinano w płaszczyźnie prostopadłej do warstwy, a po zaindukowaniu szlifowano je oraz polerowano pastami diamentowymi.

Rozkłady powierzchniowe pierwiastków wykonano za pomocą sondy elektro nowej JKA3A firmy JEOL. Oprócz tego dla wybranych próbek, tzn. starzonych w czasie 8 oraz 64 h, wykonano analizę liniową. Badania te wykonano przy następujących warunkach pracy mikroanalyzera:

- napięcie przyspieszające 25 Kv,
- średnica wiązki 2  $\mu\text{m}$ ,
- prąd 300 mA,
- szybkość przesuwu próbki 200 mm/min.,
- zakres czułości  $1 \times 10^3$  do  $1 \times 10^4$  cps,
- kryształ analizujący dla określenia zawartości ołowiu LiF, sygnał dla czystego ołowiu  $5,2 \times 10^3$  cps,
- kryształ analizujący dla określenia zawartości cyny - kwarc, sygnał dla czystej cyny  $1,9 \times 10^3$  cps,
- kryształ analizujący dla określenia zawartości srebra - KAP (kwaśny ftalan potasu), sygnał dla czystego srebra  $1,4 \times 10^3$  cps.

#### 4. WYNIKI BADAŃ

##### Wytrzymałość mechaniczna

Średnie wartości naprężeń niszczących złącze lutowane dla próbek nie poddanych procesowi starzenia oraz starzonych w temperaturach: 100, 125 i  $150^{\circ}\text{C}$  odpowiednio w czasie: 8, 16, 32 i 64 h zamieszczono w tablicy 1.

Wszystkie próbki po procesie starzenia uległy zniszczeniu poprzez warstwę metalizacji lub na granicy warstwa - ceramika. Pole przekroju wynosiło  $7,06 \text{ mm}^2$ . Natomiast średnie wartości naprężeń niszczących złącze lutowane dla próbek, które nie były starzone są zaniżone w stosunku do wartości rzeczywistych, gdyż w 40 % próbek zniszczenie nastąpiło poprzez lut, co nie pozwalało na określenie rzeczywistego przekroju.

Spadek wytrzymałości złączy lutowanych starzonych w stosunku do próbek, które nie były poddane procesom starzenia ilustrują krzywe zamieszczone na na rys.4.

Spadek ten wynosi, dla:

$$T_{st} = 100^{\circ}\text{C}$$

- po 8 h - 7 %,
- po 16 h - 12 %,
- po 32 h - 15 %,
- po 64 h - 21 %,

dla  $T_{st} = 125^{\circ}\text{C}$

po 8 h - 8,5 %,
   
po 16 h - 15 %,
   
po 32 h - 21 %,
   
po 64 h - 28 %,

dla  $T_{st} = 150^{\circ}\text{C}$

po 8 h - 12,6 %,
   
po 16 h - 22,5 %,
   
po 32 h - 28,5 %,
   
po 64 h - 39,0 %.

#### Badania mikroanalityczne

Ilustrację głębokości dyfuzji Sn i Pb w głąb warstwy srebrowej na ceramice alundowej w funkcji czasu i temperatury starzenia przedstawiono na rys. 5-9.

W wyniku tych badań stwierdzono istnienie różnicy w dyfuzji poszczególnych składników lutu do warstwy srebrowej. Otrzymane obrazy pozwalają stwierdzić, że dyfuzja występuje nie tylko po granicach ziarn, lecz istnieje jeszcze inny mechanizm dyfuzji objętościowej, np. dyfuzja reakcyjna.

Rozkład liniowy ołowiu w próbce po 64 h starzenia (rys.8) wskazuje na dyfuzję tego pierwiastka, na głębokość równą grubości warstwy srebrowej.

#### WNIOSKI

Na podstawie wyników badań i ich analizy można stwierdzić co następuje:

- Niekorzystne warunki pracy, w jakich może znaleźć się układ grubowarstwowy, powodują powolny - ale ciągły - przebieg procesu dyfuzji, prowadząc do osłabienia złączy, a nawet ich zniszczenia,
- Główną przyczyną osłabienia wytrzymałości badanych złączy była dyfuzja Pb na głębokość równą grubości warstwy srebra (rys.4, 8 i 9).

#### LITERATURA

- [1] Loesby R.G., Davey N. and Barlow H.: Solid State Technology May 1972, p.46-50,
- [2] Hailes I., Grossland W.A.: Solid State Technology Feb.1971, p.42.

Recenzent

Prof.dr hab.inż. J.Węgrzyn

## PROBLEM OF AGEING SOLDERED JOINTS IN THICK FILM MICROSYSTEM TECHNIQUE

## SUMMARY

Joining conductive layers with different elements of thick film systems during soldering should create minimal resistance and good strength. During exploitation the strength of joints undergoes a decrease as a result of disadvantageous diffusion process occurring between a metallized layer and solder elements.

The effect of ageing process on the strength decrease of joints soldered with the aid of solder (Sn, Pb, Ag) has been investigated. The cause of this phenomenon has been determined.

ПРОБЛЕМА СТАРЕНИЯ ПАЙНЫХ СОЕДИНЕНИИ В ТЕХНИКЕ  
ТОЛСТЫХ СЛОЕВЫХ МИКРОСИСТЕМ

## РЕЗЮМЕ

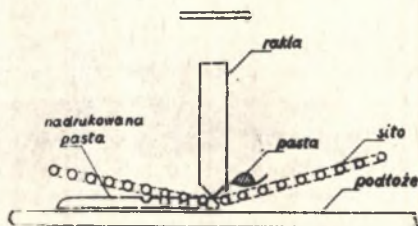
Соединение проводящих слоев с другими элементами толстослойных систем путем пайки должно гарантировать им минимальное сопротивление и хорошую прочность. Прочность этих соединений во время эксплуатации уменьшается из-за неблагоприятных диффузионных процессов происходящих между металлическим слоем и компонентами припоя.

В настоящей работе исследованию была подвержена степень уменьшения прочности из-за старения соединений паяных при помощи паяльной мази (Sn, Pb, Ag). Была тоже определена причина этого явления.

T a b l i c a 1

Średnia wartość naprężeń niszczących złącza  
w zależności od czasu starzenia

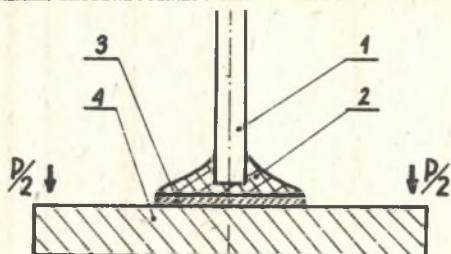
Czas starzenia h	Średnia wartość naprężeń niszczących złącza dla próbek MPa			
	niestarzonych	starzonych w $T_{st} = 100^{\circ}\text{C}$	starzonych w $T_{st} = 125^{\circ}\text{C}$	starzonych w $T_{st} = 150^{\circ}\text{C}$
0	10,04	-	-	-
8	-	9,33	9,19	8,77
16	10,10	8,77	8,48	7,78
32	-	8,48	7,91	7,21
64	-	7,92	7,21	6,03



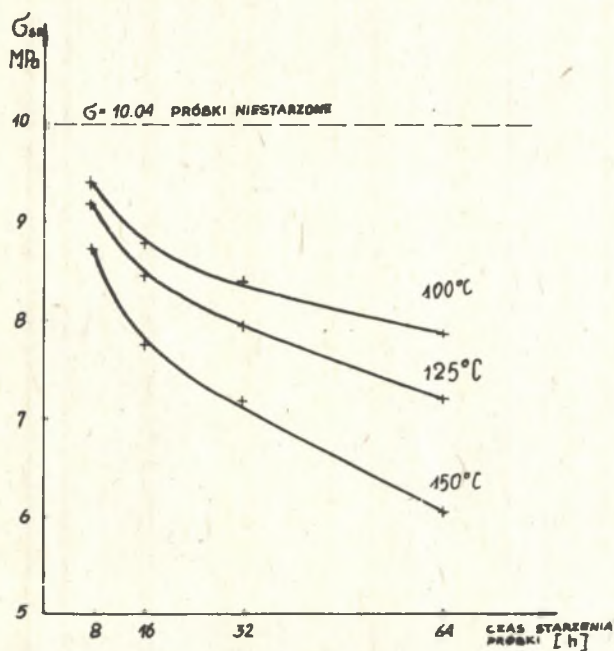
Rys.1. Schemat nakładania pasty srebrowej na próbki metodą sitodruku.



Rys.2. Sitodrukarka, na której wykonywano próbki do badań.



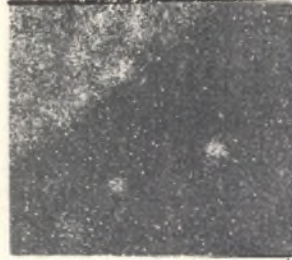
Rys.3. Schemat ideowy badania wytrzymałości złącza lutowanego: 1) Wyprowadzenie. 2) Lutowie 3) Warstwa srebrowa. 4) Podłoże ceramiczne.



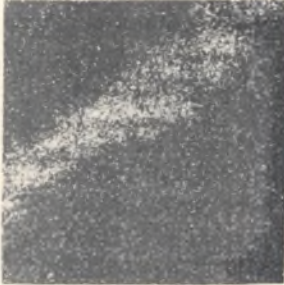
Rys.4. Zależność naprężenia niszczącego złącze lutowane próbek niestarzonych i starzonych w zależności od czasu starzenia i temperatury (100, 125, 150°C).



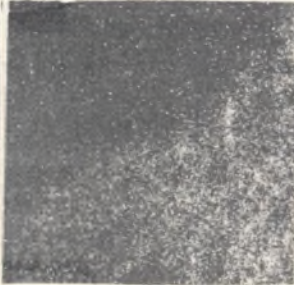
Obraz składu chemicznego



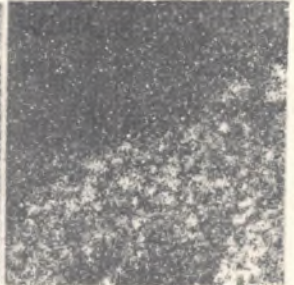
Al



Ag



Sn



Pb

Rys.5. Obraz składu chemicznego i rozkłady powierzchniowe pierwiastków (Al, Ag, Sn i Pb) w próbce nie poddanej procesowi starzenia.



Obraz składu chemicznego



Rielif powierzchni



Ag



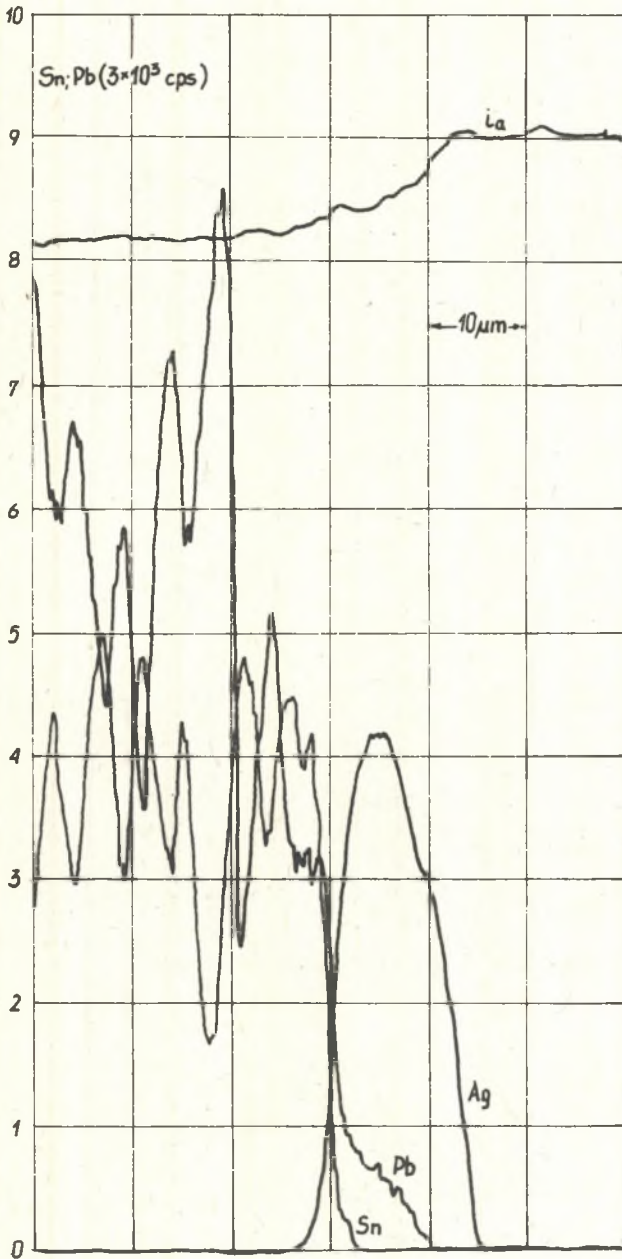
Sn



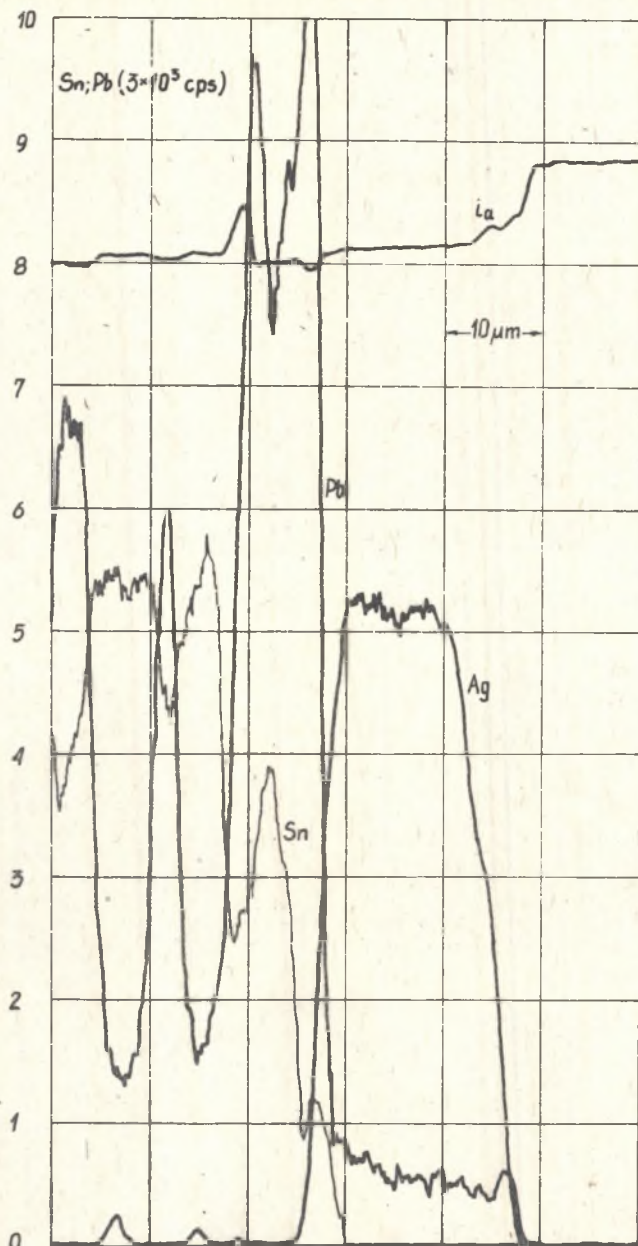
Pb

Rys.6. Obraz składu chemicznego i rozkłady powierzchniowe pierwiastków Ag, Sn, Pb w próbce po 8 h starzenia w temperaturze 150°C.





Rys.7. Rozkłady liniowe Pb, Sn i Ag w próbce po 8 h starzenia w temperaturze 150°C.



Rys. 8. Rozkłady liniowe Pb, Sn i Ag w próbce po 64 h starzenia w temperaturze 125°C.



Obraz składu chemicznego



Wielik powierzchni



Ag

Sn

Pb

Rys.9. Obraz składu chemicznego i rozkłady powierzchniowe Ag, Sn, Pb w próbce po 64 h starzenia w temperaturze 150°C.