

Joanna GANDURSKA, Anna MAREK

OŚRODEK BADAWCZO-ROZWOJOWY

MIKROELEKTRONIKI HYBRYDOWEJ I REZYSTORÓW, Kraków

Halina STROJEWSKA

INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH, Warszawa

Pasty przewodzące złote produkcji krajowej i ich zastosowanie w mikroelektronice grubowarstwowej

1. WPROWADZENIE

Pasty złote od wielu lat są stosowane w mikroelektronice do wytwarzania warstw przewodzących w układach hybrydowych, a w ostatnich latach - w układach wielowarstwowych.

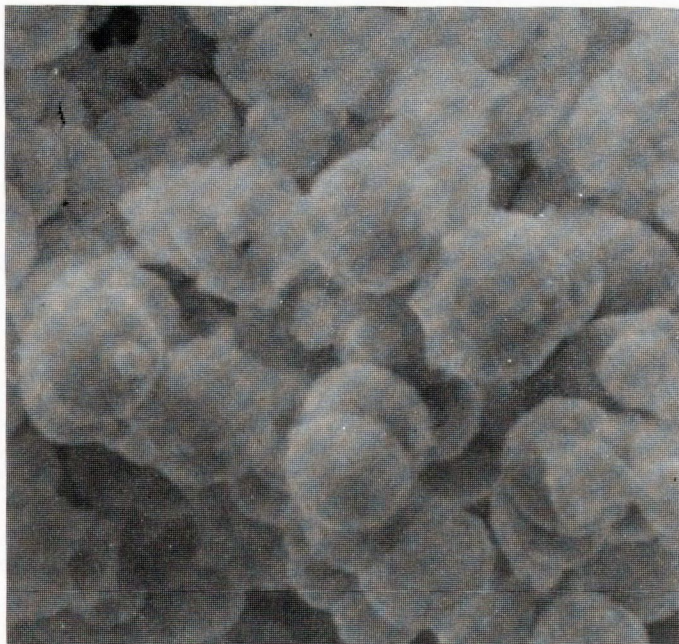
Pomimo wysokich kosztów past złotych zainteresowanie nimi w mikroelektronice nie maleje. Przemawiają za tym szczególne zalety warstw złotych. Gwarantują one niezawodność układów, stwarzają możliwość wytwarzania układów o wysokiej skali integracji, w związku z czym ich rola w rozwoju miniaturyzacji jest niepodważalna. Producenci układów dopatrują się oszczędności mimo wszystko raczej w doskonaleniu techniki wykonywania układów grubowarstwowych i ich miniaturyzacji, niż w radykalnej zmianie materiałów szlachetnych materiałami tańszymi (pospolitymi).

W ITME opracowano [1, 2] i wdrożono do produkcji pasty złote o symbolach P-301 i P-303 z przeznaczeniem:

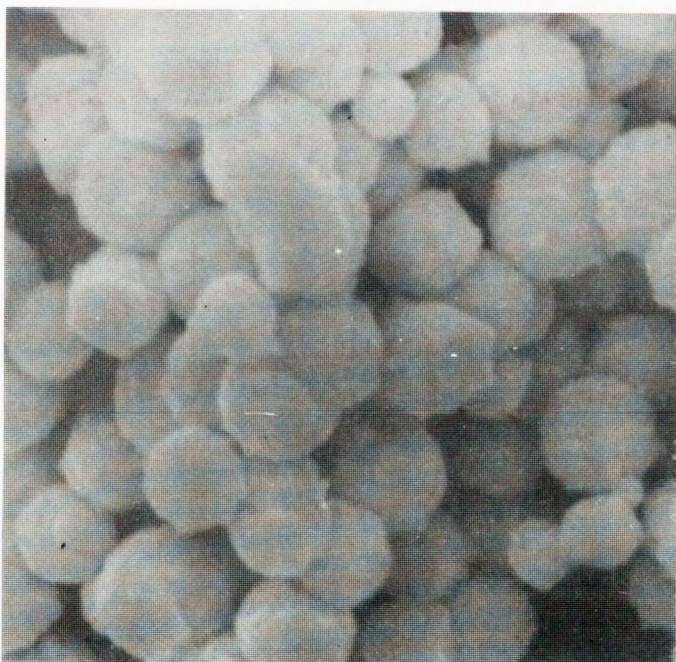
P-301 - do układów hybrydowych,

P-303 - do układów hybrydowych i wielowarstwowych.

Pasta P-301 jest szkliwową pastą złotą opartą na proszku złota otrzymanym w Menicy Państwowej metodą redukcji kwasu chlorozłotowego w obecności koloidu ochronnego w podwyższonej temperaturze. Proszek złota otrzymany tą metodą ma kształt ziarn zbliżony do kulistego, uziarnienie od 0,3 do 3,0 μm , duży stopień zróżnicowania pod względem wielkości cząstek, silnie rozwiniętą powierzchnię, jest zaglomerowany (rys. 1). Pasta ta ma wszystkie cechy past złotych, nadaje się do montażu metodami ultrakompresji i termokompresji, lecz jej cechy montażowe są raczej przeciętne. Próby zastosowania pasty P-301 w układach wielowarstwowych nie dały pozytywnych rezultatów. Podczas kilkakrotnych wypałów występowało zjawisko pęcherzenia się warstw złotych uzależnione od jakości stosowanego proszku złota.



Rys. 1. Mikroskopowy obraz proszku złota produkcji Mennicy Państwowej wg WT-28, pow. 10 000 x



Rys. 2. Mikroskopowy obraz proszku złota wytworzonego w OBR Przerobu Metali Szlachetnych, pow. 10 000 x

Pasta P-303 jest szklivową pastą złotą opartą na tym samym proszku Au, zawierającą dodatek Pd jako czynnika stopowego. Dodatek stopowy, np. Pd, Ag, Pt, poprzez tworzenie stopów AuPd, AuAg, AuPt, zmienia strukturę warstwy złotej, obniża jej grubość, pozwala na uzyskanie warstw o wyższej gęstości, z czym wiąże się polepszenie cech montażowych.

Zagadnieniom wpływu dodatku czynnika stopowego na parametry warstw poświęcono sporo uwagi badaczy. W czasie zgrzewania ultrakompresyjnego obserwuje się wzrost temperatury w miejscu kontaktu drutu Al z warstwą złotą, w wyniku czego zachodzi reakcja i tworzą się związki międzymetaliczne Au-Al.

Podczas starzenia cieplnego w 423 K mogą powstawać związki AuAl, AuAl₂, Au₂Al, Au₅Al₂ i Au₄Al [3], przy czym dyfuzja Au następuje szybciej niż Al.

Podczas badania mikrostruktury złącza S.J. Horowitz i inni [4] zaobserwowali trzy różne fazy. W wyniku reakcji Au z Al następuje degradacja złącza i może występować pęknięcie na granicy rozdziału faz Au-Al. W innych publikacjach S.J. Horowitz [5, 6] podano wyniki badań warstw złotych, które zawierały niewielkie dodatki Pd (2-3% wag.).

Otóż po starzeniu 1000 h w 523 K złącza nie ulegały katastrofalnej degradacji, jak to miało miejsce w przypadku warstw bez dodatku Pd, i wytrzymałość ich była wysoka. Zaobserwowali również tylko nieznaczne zmiany rezystancji. D.M. Palmer i F.P. Ganyard [7] badali wytrzymałość złącz po starzeniu 1000 h w 573 K i również uzyskali bardzo dobre wyniki.

W obecności Pd tworzą się związki międzymetaliczne Al-Pd oraz Al-Pd-Au. J.J. Felten [3] stwierdził, że w 523 + 573 K tworzy się PdAl₃. Polepsza to elektryczne, a przede wszystkim mechaniczne właściwości złącza. Ten sam autor opisał warstwy stopowe z dodatkiem Pd i Ag łączone metodami ultra- i termokompresji oraz kierunki działania zmierzające do obniżenia grubości warstw. Stwierdził, iż wprowadzenie czynnika stopowego redukuje grubość warstwy poprzez zmianę jej struktury, dzięki czemu uzyskuje się warstwy o wyższej gęstości. Po starzeniu 1000 h w 423 K zaobserwowano istotną różnicę w zachowaniu się złącza drut Al - warstwa Au dla warstw bez dodatku stopowego i z dodatkiem. Wytrzymałość wyjściowa dla złącza - 100 mN. Dla warstwy bez dodatku stopowego wytrzymałość po starzeniu wynosiła 40 mN (spadek o 60%) i pęknięcie następowało na granicy rozdziału faz drut Al - warstwa Au, przy czym zaobserwowano 100% uszkodzeń warstwy; dla warstw z dodatkiem Pd - 60 mN (spadek o 40%) i pęknięcie następowało w drucie Al tuż przy powierzchni warstwy. Sposób otrzymywania past złotych z dodatkami stopowymi Pd, Ag i Pt zawiera patent USA [8].

Zastosowanie dodatku palladu w paście P-303 pozwoliło w pewnym stopniu wyeliminować zjawisko pęcherzenia się warstw złotych, co stworzyło możliwość zastosowania tych past do wytwarzania między innymi układów wielowarstwowych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań pasty złotej P-303 w aspekcie zastosowania jej do wytwarzania układów wielowarstwowych. Badania aplikacyjne były prowadzone w OBRMHiR, natomiast badania właściwości fizykochemicznych materiałów wyjściowych i otrzymywanych z nich past oraz mikroskopowe badania wykonano w ITME.

2. BADANIA WARSTW ZŁOTYCH

Badano próbki past złotych o symbolach P-303/1 i P-303/2 oraz porównawczo próbki past złotych firmy Heraeus nr 5229 i 5758. Próbkę P-303/1 oparta była na proszku złota produkowanym przez Mennicę Państwową według WT-47 (rys. 1), próbkę P-303/2 - na proszku złota będącym przedmiotem opracowania OBR Przerobu Metali Szlachetnych z przeznaczeniem do past do układów wielowarstwowych (rys. 2).

W mikroukładach grubowarstwowych ścieżki przewodzące są odizolowane warstwą dielektryczną wytworzoną przez nadrukowanie szkliva do skrzyżowań. Ponieważ warstw szkliva może być kilka (co najmniej 3), konieczne było określenie współpracy past złotych z pastami dielektrycznymi oraz dobranie odpowiednich parametrów prowadzenia procesu technologicznego wytwarzania warstw. W badaniach zastosowano szkliwą pastę do skrzyżowań D-401 produkcji krajowej.

Opracowano wzór testu, który umożliwił przeprowadzenie podstawowych badań, a więc zawierał wzory do:

- pomiaru rozdzielczości druku,
- określenia możliwości wykonania długich ścieżek,
- pomiaru rezystancji na kwadrat,
- wykonania połączeń ultrakompresyjnych,
- określenia współpracy z pastami dielektrycznymi.

Pasty przed drukowaniem ujednoladniano ręcznie za pomocą stalowej łopatką około 10 minut. Lepkość mierzona przy użyciu aparatu Brookfield (model RVT, os nr 6; 2,5 obr/min) wynosiła 130+270 Pa·s. Pasty złote nanoszono na płytki alundowe (9% Al_2O_3) o wymiarach 20x30x0,65 mm przy użyciu sitodrukarki automatycznej typu DEK 1200 przez sito stalowe o gęstości 80 μ^*) i wzorze przedstawionym na rys. 3. Drukowano je w postaci dolnej i górnej elektrody z umieszczonymi pośrodku warstwami (3) szkliva do skrzyżowań. Dolną warstwę pasty złotej po wysuszeniu w temperaturze pokojowej oraz w 423 K poddano obróbce termicznej w siedmiostrefowym piecu BTU w maksymalnej temperaturze 1163 K. Całkowity czas obróbki wynosił 60 minut. Następnym etapem przygotowania próbek było naniesienie przez sito nylonowe 130 T trzech warstw szkliva do skrzyżowań. Po każdorazowym nadruku pasty warstwę suszono w temperaturze pokojowej oraz w 398 K, a następnie poddano obróbce termicznej w siedmiostrefowym piecu BTU w maksymalnej temperaturze 1143 K.

Górną warstwę pasty złotej wykonano podobnie jak dolną, natomiast maksymalna temperatura obróbki wynosiła 1123 K. Dla części próbek wykonano wielokrotną - pięć- i dziesięciokrotną - obróbkę termiczną warstw w 1123 K.

Badania porównawcze past firmy Heraeus wykonano dla przekazanych do OBRMiR płytek testowych z warstwami nadrukowanymi z dwóch złotych past - nr 5229 i 5758. Pasty te są stosowane do wykonywania ścieżek w układach wielowarstwowych przeznaczonych do połączeń ultrakompresyjnych drutem AlSi (1%). Warstwy zostały nadrukowane i wysuszone w firmie Heraeus na ich podłożach. Część płytek testowych z warstwami złotymi została poddana obróbce termicznej w firmie Heraeus, pozostałe - w OBRMiR w maksymalnej tem-

^{*)} oznacza liczbę drutów sita na długości 1 cm

peraturze 1123 K. Przygotowane w ten sposób płytki testowe przekazano do montażu ultrakompresyjnego. Połączenia ultrakompresyjne wykonano przy użyciu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μ m firmy Heraeus za pomocą urządzenia Unitek - 168.

Płytki testowe z nadrukowanymi warstwami przechowywano w ekssykatorze w pomieszczeniu klimatyzowanym. Część układów starzono w 423 K w czasie 48 h i 150 h. Płytki testowe z warstwami przewodzącymi w układach wielowarstwowych i wykonanymi do nich połączeniami ultrakompresyjnymi poddano następującym badaniom:

- pomiar rezystancji na kwadrat metodą czteropunktową za pomocą mostka typu MP-86 (tab. 1),

Tabela 1. Parametry właściwości warstw złotych

| Rodzaj pasty | Grubość [μ m] | Rozdzielczość [μ m] | Wygląd warstwy | Odchylenie Ra (chropowatość) [μ m] | Średnia rezystancja \bar{R} , m Ω / \square |
|---------------|--------------------|--------------------------|----------------|---|--|
| P-303/1 | 7 | 200*) | dobry | 0,8 \pm 0,9 | 9 |
| P-303/2 | 9 | 200*) | dobry | 1,2 \pm 1,4 | 9 |
| 5229 Heraeusa | 9 | 100**) | b. dobry | 0,7 \pm 0,8 | 9 |
| 5758 Heraeusa | 12 | 100**) | b. dobry | 0,7 \pm 0,8 | 4 |

**) drukowano w firmie Heraeus

*) w laboratoriach, które stosują pośredni sposób maskowania siatki z fotorezystem stałym o grubości 20 μ m (np. ZOPAN lub PIT) uzyskiwano dla tych past znacznie lepszą rozdzielczość, nawet 100 μ m

ZOPAN - Zakład Opracowań i Produkcji Aparatury Naukowej

PIT - Przemysłowy Instytut Telekomunikacji

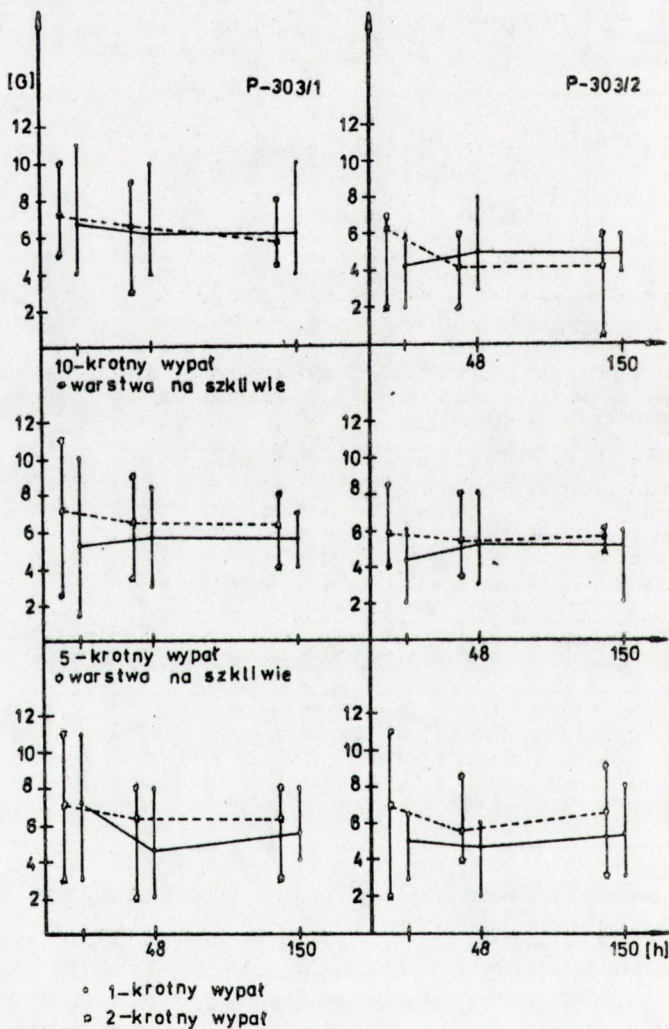
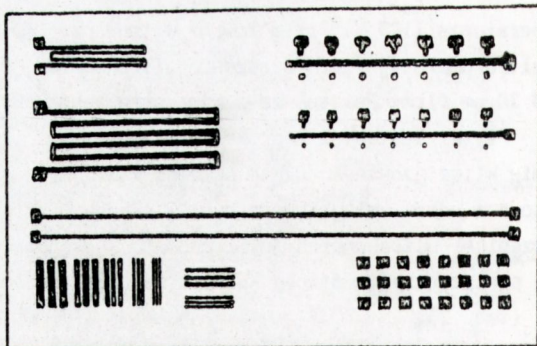
- pomiar rezystancji izolacji (tab. 2),

Tabela 2. Rezystancja izolacji i napięcie przebicia

| Numer płytki | R izol. [G Ω] | U przeb. [kV] |
|--------------|-----------------------|---------------|
| 1 | 100 | 2,4 |
| 2 | 100 | 2,5 |
| 3 | 100 | 2,7 |
| 4 | 100 | 2,8 |

- pomiar grubości warstw za pomocą profilografu typu Taylor-Hobson (tab. 1),
- pomiar rozdzielczości druku (tab. 1),
- pomiar napięcia przebicia (tab. 2),
- pomiar wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych dla warstw złotych P-303/1 i P-303/2 poddanych kilkakrotnej obróbce termicznej (tab. 3 i 4), (rys. 4 i 5),
- pomiar wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych dla warstw złotych uzyskanych z past nr 5229 i 5758 (tab. 5).

Rys. 3. Płytki alundowa ze wzorem testu do badań past złotych



Rys. 4. Zależność wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych od czasu starzenia cieplnego dla warstw z pasty P-303/1

Rys. 5. Zależność wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych od czasu starzenia cieplnego dla warstw z pasty P-303/2

Tabela 3. Wytrzymałość złącz ultrakompresyjnych warstwa Au P-303/1 - drut AlSi (1%)
 ϕ 20 μ m (średnia z 25 pomiarów)

| Krotność wypałów | Wartość [G] | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-----|-------|-------------------------------|-----|-------|--------------------------------|-----|-------|---------------|--|
| | Warstwa na Al ₂ O ₃ | | | | | | | | | | |
| | początkowa | | | po starzeniu (48 h, 423 K) | | | po starzeniu (150 h, 423 K) | | | zmiana [%] | |
| | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | | |
| 1 | 3,0 | 7,1 | 11,0 | 2,0 | 4,7 | 8,0 | 4,0 | 5,6 | 8,0 | -21,0 | |
| 2 | 3,0 | 7,1 | 11,0 | 2,0 | 6,4 | 8,0 | 3,0 | 6,4 | 8,0 | -9,0 | |
| 5 | 1,5 | 5,3 | 10,0 | 3,0 | 5,7 | 8,5 | 4,0 | 5,6 | 7,0 | +5,6 | |
| 10 | 4,0 | 6,8 | 11,0 | 4,0 | 6,3 | 10,0 | 4,0 | 6,2 | 8,0 | -8,8 | |

| Krotność wypałów | Warstwa na szkliwie D-401 | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|-----|-------|-------------------------------|-----|-------|--------------------------------|-----|-------|---------------|--|
| | początkowa | | | po starzeniu (48 h, 423 K) | | | po starzeniu (150 h, 423 K) | | | zmiana [%] | |
| | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | | |
| | 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2,5 | 7,2 | 11,0 | 3,5 | 5,5 | 7,0 | 4,0 | 6,4 | 8,0 | | |
| 10 | 5,0 | 7,2 | 10,0 | 3,0 | 6,6 | 9,0 | 4,5 | 5,8 | 8,0 | | |

Tabela 4. Wytrzymałość złącz ultrakompresyjnych warstwa Au P-303/2 - drut AlSi (1%)
 ϕ 20 μ m (średnia z 25 pomiarów)

| Krotność wypałów | Wartość [G] | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-----|-------|-------------------------------|-----|-------|--------------------------------|-----|-------|---------------|--|
| | Warstwa na Al ₂ O ₃ | | | | | | | | | | |
| | początkowa | | | po starzeniu (48 h, 423 K) | | | po starzeniu (150 h, 423 K) | | | zmiana [%] | |
| | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | | |
| 1 | 3,0 | 5,1 | 6,5 | 2,0 | 4,8 | 6,0 | 3,0 | 5,4 | 8,0 | +7,3 | |
| 2 | 2,0 | 7,0 | 11,0 | 4,0 | 5,7 | 8,5 | 3,0 | 6,5 | 9,0 | -6,8 | |
| 5 | 2,0 | 4,4 | 6,0 | 3,0 | 5,4 | 8,0 | 2,0 | 5,1 | 6,0 | +17,0 | |
| 10 | 2,0 | 4,2 | 6,0 | 3,0 | 5,0 | 8,0 | 4,0 | 5,1 | 6,0 | +21,0 | |

| Krotność wypałów | Wartość [G] | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|-----|-------|-------------------------------|-----|-------|--------------------------------|-----|-------|
| | Warstwa na szklivię D-401 | | | | | | | | |
| | początkowa | | | po starzeniu (48 h, 423 K) | | | po starzeniu (150 h, 423 K) | | |
| | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. | min. | śr. | maks. |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 5 | 4,0 | 5,9 | 8,5 | 3,5 | 5,4 | 8,0 | 5,0 | 5,7 | 6,0 |
| 10 | 2,0 | 6,3 | 7,0 | 2,0 | 4,2 | 6,0 | 0,5 | 4,3 | 6,0 |

Tabela 5. Wytrzymałość złącz ultrakompresyjnych warstwa Au 5229, 5758 - drut AlSi (1%)
 ϕ 20 μ m (średnia z 10 pomiarów)

| Symbol pasty | Wartość [G] | | | Uwagi |
|-----------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|--|
| | początkowa | po starzeniu (48 h, 423 K) | po starzeniu (150 h, 423 K) | |
| 5229 | 5,56 | 4,92 | 4,87 | warstwy wypalono w firmie Heraeus |
| 5758 | 4,87 | 4,42 | 5,75 | |
| 5229 | 5,55 | 5,24 | 4,56 | warstwy wypalono w krakowskim OBRMHiR |
| 5758 | 4,57 | 3,96 | 4,75 | |

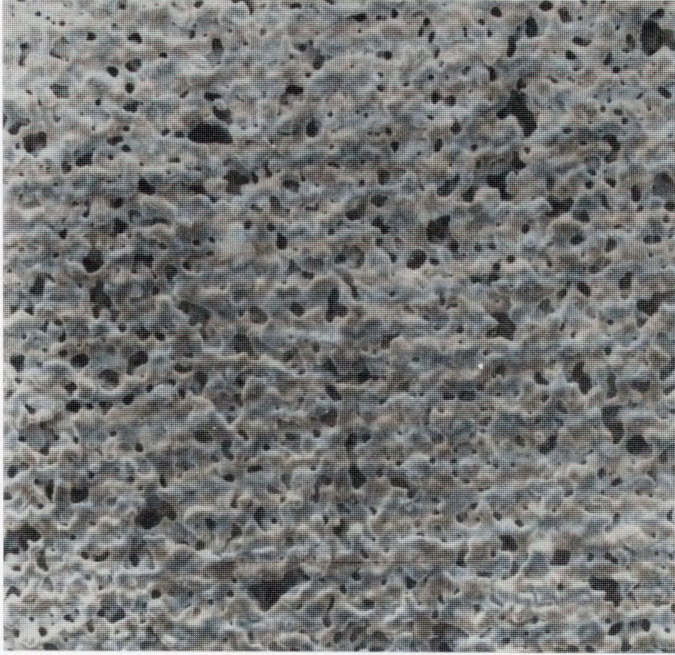
Wytrzymałość połączeń ultrakompresyjnych badano bezpośrednio po wykonaniu montażu oraz po procesie starzenia 48 h i 150 h w 423 K używając do tego celu dynamometru.

3. BADANIA MIKROSKOPOWE MIEJSC ZERWANIA POŁĄCZEŃ ULTRAKOMPRESYJNYCH DRUT Al - WARSTWA Au

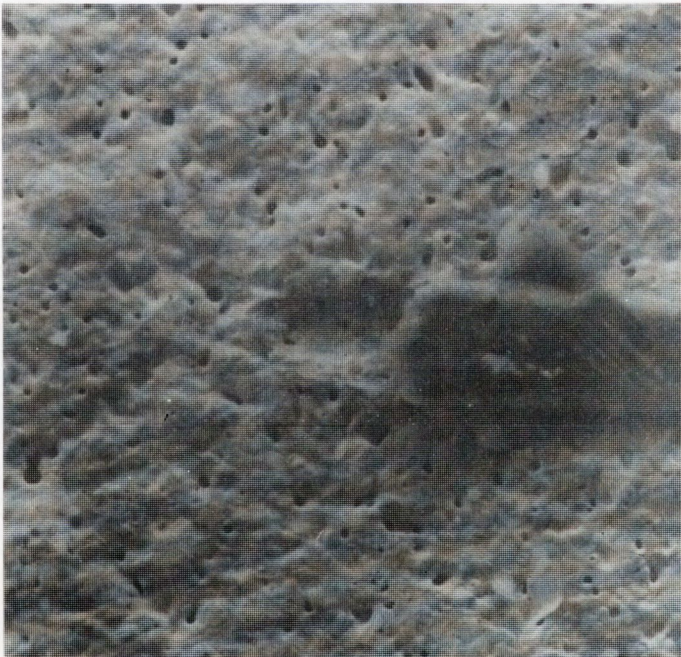
Odpowiednio przygotowane próbki z warstwami past P-303/1 i P-303/2 oraz porównawczo nr 5229 Heraeusa naniesionymi na płytki alundowe zostały poddane badaniom mikroskopowym. Badano warstwy po kilkakrotnym wypaleniu w temperaturze 1123 K w czasie 60 minut oraz przyłączeniu drutów AlSi (1%) ϕ 20 μ m, które następnie zostały zerwane:

- po montażu przed starzeniem cieplnym,
- po starzeniu 48 h w temperaturze 423 K,
- po starzeniu 150 h w temperaturze 423 K,
- po starzeniu 500 h w temperaturze 423 K,
- po starzeniu 1000 h w temperaturze 423 K.

Zdjęcia warstw oraz miejsc zerwania wykonano przy użyciu mikroskopu scanningowego DSM 950 o zdolności rozdzielczej 50 Å i maksymalnym powiększeniu 200 000 razy. Zastosowano powiększenie 500 razy (rys, 6, 7, 8).

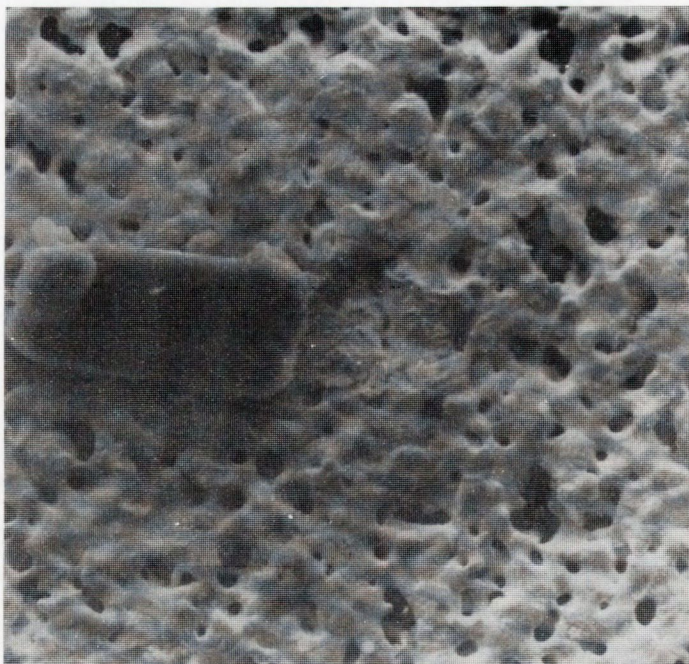


a) po 10-krotnym wypaleniu w temperaturze 1123 K w czasie 60 minut,

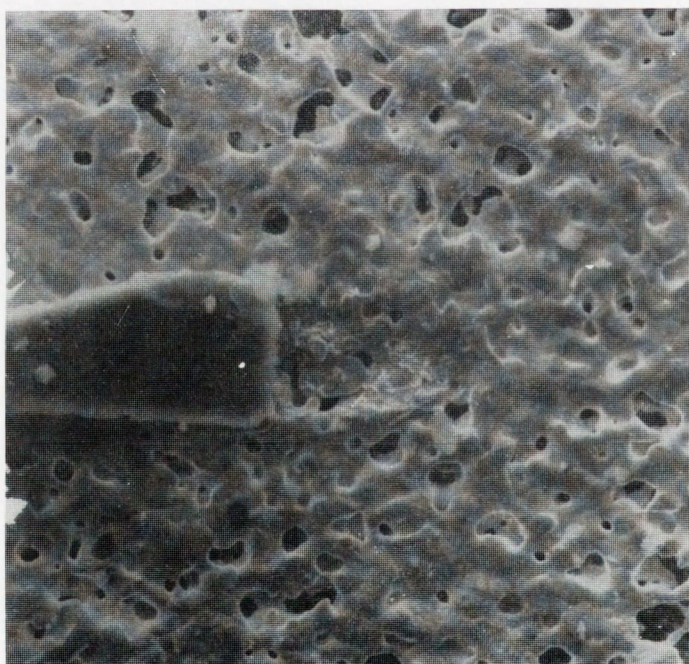


b) po zerwaniu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μ m przed starzeniem,

Rys. 6. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty P-303/1

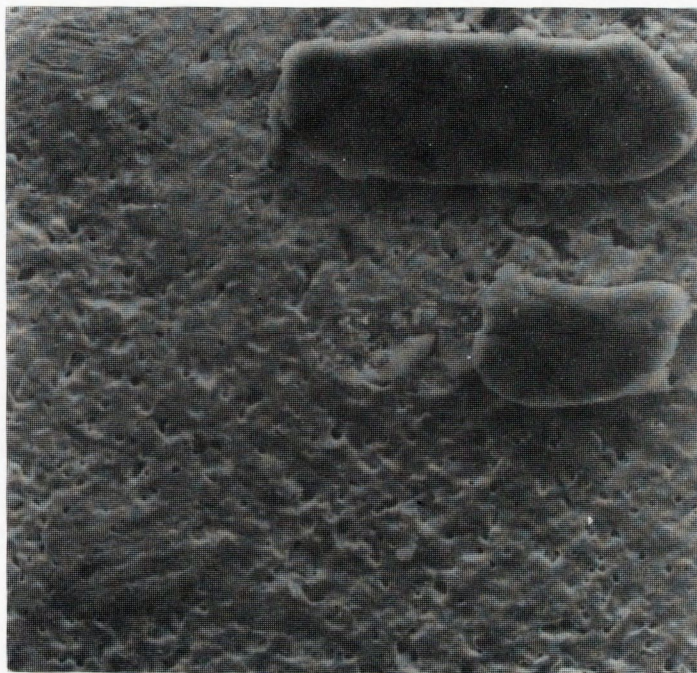


c) po zerwaniu drutu AlSi (1%) \varnothing 20 μm po starzeniu 48 h w 423 K,



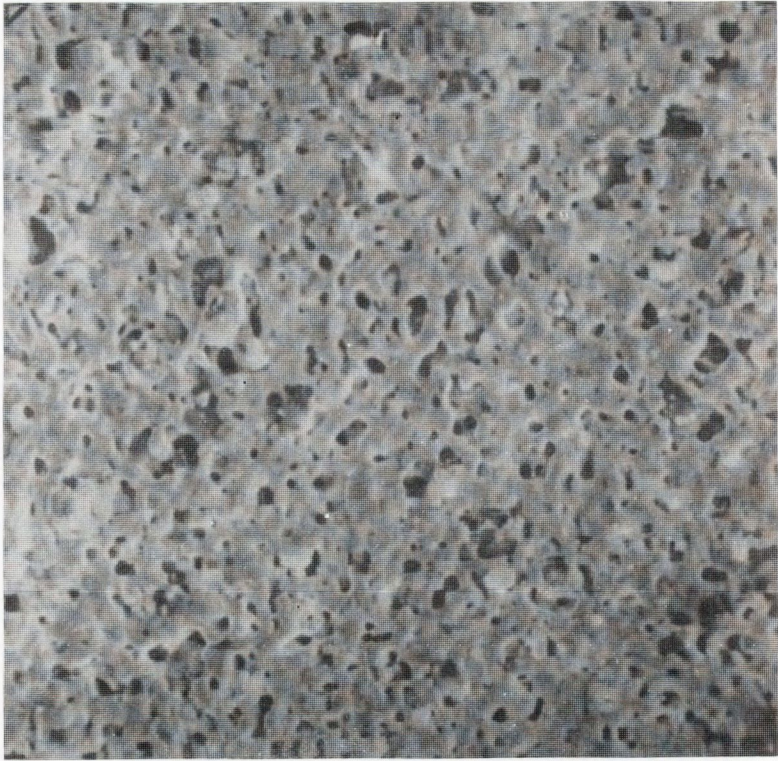
d) po zerwaniu drutu AlSi (1%) \varnothing 20 μm po starzeniu 150 h w 423 K,

Rys. 6. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty P-303/1

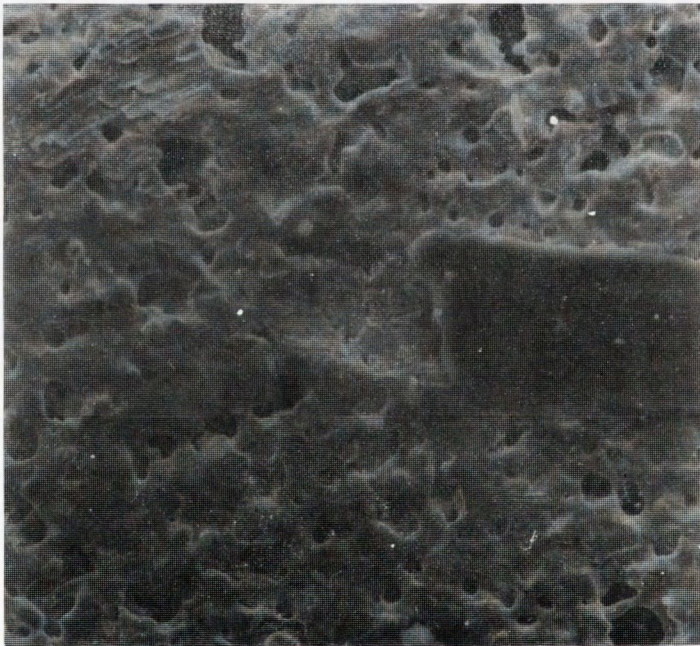


e) po zerwaniu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μm po starzeniu 500 h w 423 K

Rys. 6. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty P-303/1

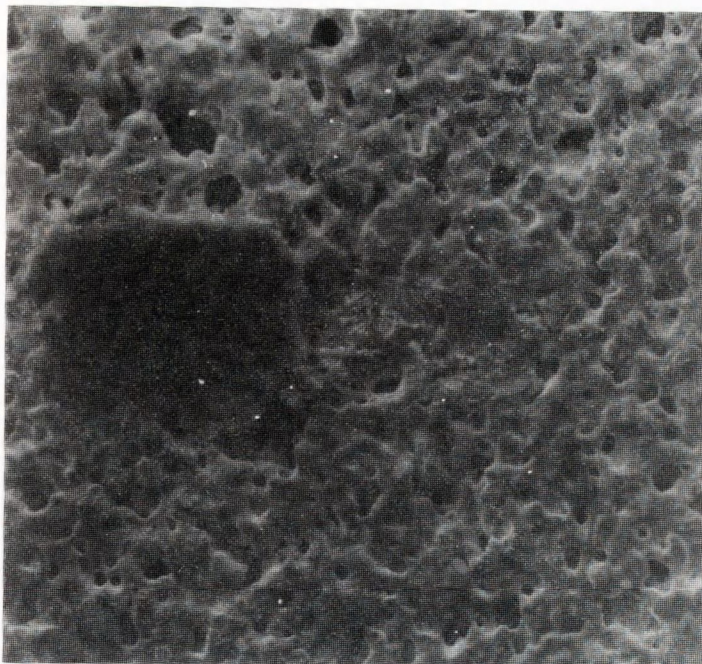


a) po 10-krotnym wypaleniu w temperaturze 1123 K w czasie 60 minut,

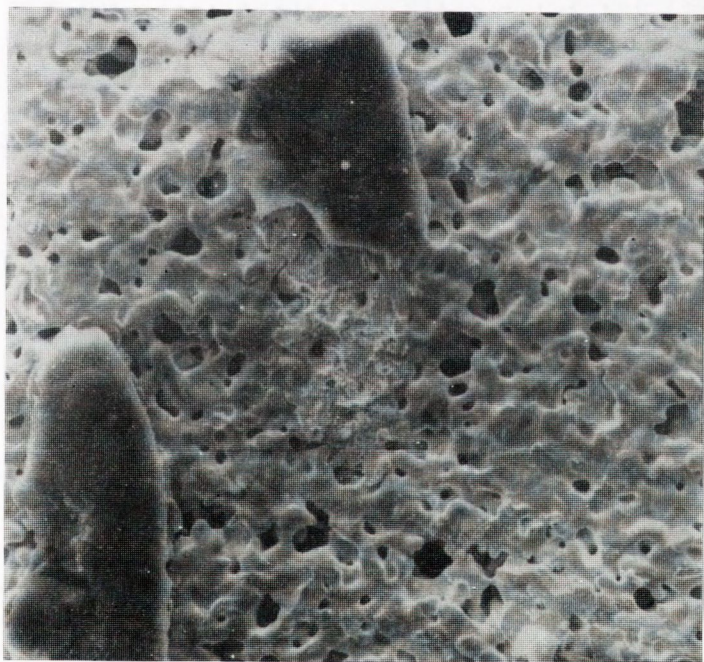


b) po zerwaniu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μ m przed starzeniem,

Rys. 7. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty P-303/2

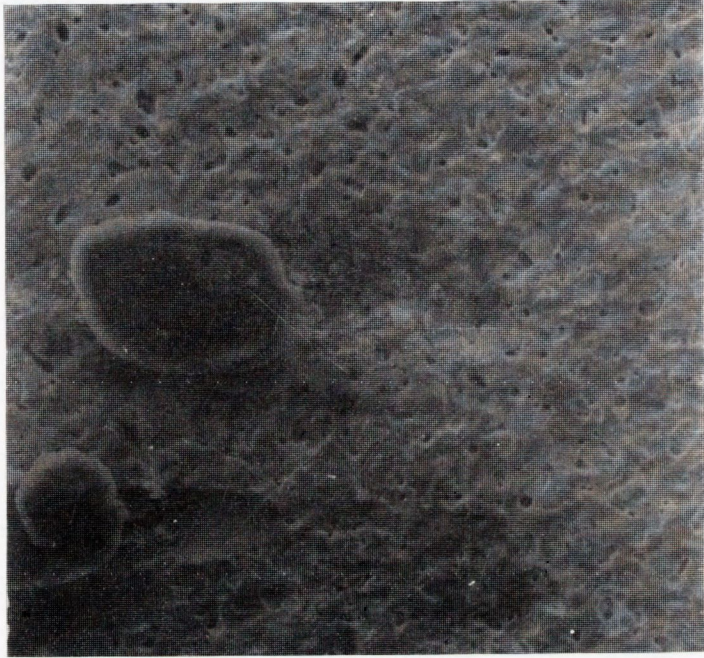


c) po zerwaniu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μm po starzeniu 48 h w 423 K,



d) po zerwaniu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μm po starzeniu 150 h w 423 K,

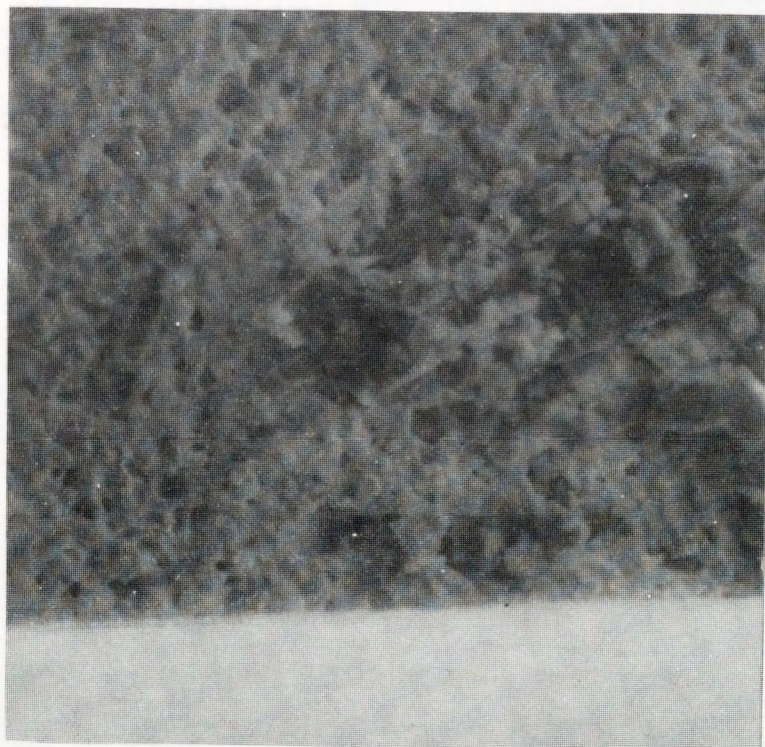
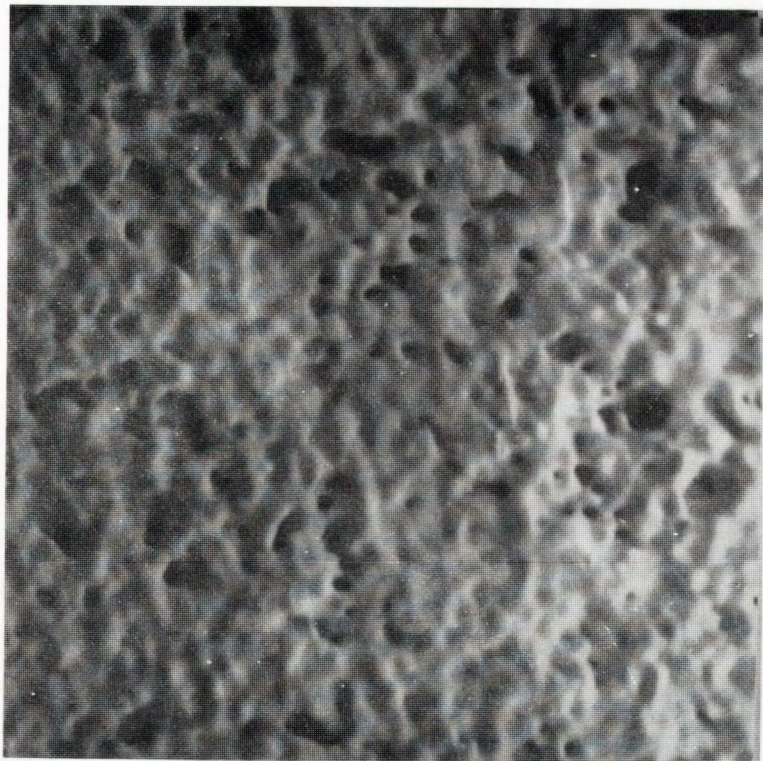
Rys. 7. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty P-303/2



e) po zerwaniu drutu AlSi (1%) ϕ 20 μm po starzeniu 500 h w 423 K

Rys. 7. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty P-303/2

a) po wypaleniu
w temperaturze 1123 K
w czasie 60 minut,



b) po zerwaniu drutu
AlSi (1%) ϕ 20 μ m
przed starzeniem,

Rys. 8. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty 5229



c) po zerwaniu drutu AlSi
(1%) ϕ 20 μm po starzeniu
48 h w 423 K,



d) po zerwaniu drutu
AlSi (1%) ϕ 20 μm
po starzeniu
150 h w 423 K

Rys. 8. Mikroskopowe obrazy warstw z pasty 5229

4. WYNIKI BADAŃ I POMIARÓW

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

- nie zaobserwowano mechanicznych wad (pęknięcia, pęcherze, krater) dla warstw złotych nadrukowanych zarówno na Al_2O_3 , jak i na szklivię D-401, nawet po 10-krotnej obróbce termicznej,
- grubość uzyskanych warstw wynosiła $7 \pm 12 \mu m$, przy czym warstwy P-303/2 były bardziej chropowate niż P-303/1, Ra dla warstw z pasty P-303/1 wahała się od 0,8 do 0,9 μm , a dla pasty P-303/2 - od 1,2 do 1,4 μm ,
- rozdzielczość druku dla past P-303/1 i P-303/2 wynosiła 200 μm , dla past nr 5229 i 5758 - 100 μm (testy były drukowane w firmie Heraeus),
- średnia rezystancja na kwadrat warstw otrzymanych z past wynosiła odpowiednio: dla P-303/1, P-303/2, nr 5229 - 9 $m\Omega/\square$, natomiast dla 5758 - 4 $m\Omega/\square$,
- średnie wartości wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych, w zależności od krotności wypałów warstw naniesionych na Al_2O_3 , wynosiły dla warstw z pasty P-303/1 od 7,12 G w przypadku jednokrotnego wypału do 6,8 G w przypadku wypału dziesięciokrotnego, dla warstw P-303/2 - od 5,05 do 4,17 G (tab. 3 i 4),
- średnie wartości wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych po starzeniu 48 h wynosiły odpowiednio dla warstw P-303/1 jednokrotnie wypalonych 4,77 G i 6,3 G dla wypalonych dziesięciokrotnie, dla warstw P-303/2 - odpowiednio od 4,85 do 5,0 G (tab. 3 i 4),
- w przypadku obu warstw po pięciokrotnym wypale następował wzrost wytrzymałości połączeń po 48 h starzenia oraz utrzymywanie się na tym samym poziomie w miarę wzrostu czasu starzenia,
- zmiany wytrzymałości połączeń dla obu warstw po 150 h starzenia są różne (tab. 3 i 4), dla P-303/2 maksymalny spadek był niższy (6,8%) niż dla P-303/1 (21%). Dla warstwy P-303/2 był mniejszy rozrzut wartości wytrzymałości połączeń (rys. 2 i 3),
- dla warstw złotych nadrukowanych na warstwie szklivi wytrzymałość połączeń ultrakompresyjnych była wyższa dla pasty P-303/1 i wynosiła 7,2 G dla 5-cio i 10-ciokrotnej obróbki termicznej, a po 150 h starzenia odpowiednio 6,4 G i 5,8 G, czyli spadek wynosił 10 i 19% (tab. 3 i 4),
- dla warstw złotych z pasty P-303/2 nadrukowanych na warstwie szklivi wytrzymałość połączeń wynosiła od 5,9 G do 6,3 G po 5- i 10-krotnej obróbce termicznej, a po 150 h starzenia następował spadek wytrzymałości od 3 do 30% (tab. 3 i 4),
- dla warstw złotych z past 5758 i 5229 firmy Heraeus średnie wartości wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych do tych warstw są porównywalne z wartościami uzyskanymi dla past krajowych (tab. 5).

Obserwacja miejsc zerwania drutów AlSi (1%) ϕ 20 μm pozwala stwierdzić:

- w warstwie P-303/1 następowało minimalne uszkodzenie warstwy przed starzeniem (rys. 6b) oraz po starzeniu 48 h, 150 h i 500 h (rys. 6c, 6d, 6e) i przerwanie się drutu, we wszystkich przypadkach zaobserwowano pozostałości drutu przymontowanego do warstwy,
- w warstwie P-303/2 następowało również minimalne uszkodzenie warstwy przed starzeniem (rys. 7b) oraz po starzeniu 48 h, 150 h i 500 h (rys. 7c, 7d, 7e) i przerwanie się drutu, we wszystkich przypadkach zaobserwowano pozostałości drutu przymontowanego do warstwy,

- w warstwie z pasty nr 5229 widoczne jest uszkodzenie już przed starzeniem (rys. 8b), bardziej widoczne uszkodzenie występowało po starzeniu 48 h (rys. 8c), zaś w mniejszym stopniu - po starzeniu 150 h (rys. 8d). Nie występowało zerwanie się drutu, drut odrywał się całkowicie,
- w porównaniu z warstwami wykonanymi z pasty nr 5229 warstwy z past P-303/1 i P-303/2 wykazują znacznie mniejsze defekty po oderwaniu drutów, co świadczy o mniejszej degradacji złącza.

5. PODSUMOWANIE

- Wyniki badań uzyskane dla past złotych P-303/1 i P-303/2 produkcji ITME oraz past nr 5229 i nr 5758 firmy Heraeus są porównywalne. Dotyczy to zarówno parametrów elektrycznych, jak i mechanicznych, przy czym wytrzymałości połączeń ultrakompresyjnych są nawet nieco lepsze;
- warstwy z past złotych P-303/1 i P-303/2 produkcji krajowej wykazują mniejsze defekty po oderwaniu drutów, niż warstwy z pasty nr 5229;
- badania zgodności past złotych z pastą szklową do skrzyżowań D-401 zastosowaną w układach testowych dały wynik pozytywny;
- uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, iż pasta złota P-303 może być stosowana zgodnie z przeznaczeniem podanym na wstępie, tzn. do wytwarzania mikroukładów wielowarstwowych.

Autorzy dziękują mgr Marcie Pawłowskiej za współpracę w zakresie badań mikroskopowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Strojewska H., Marczak A., Stryjek Z.: Opracowanie technologii otrzymywania pasty złotej do układów hybrydowych. Warszawa: ITME, 1978, Sprawozdanie z pracy nb
2. Szymański D., Achmatowicz S., Młodziński A., Strojewska H., Stryjek Z., Szczytko B., Zwierkowska E.: Opracowanie zestawu past przewodzących do wielowarstwowych mikroukładów grubowarstwowych. Warszawa: ITME, 1983, Sprawozdanie z pracy nb
3. Felten J.J., Gerry D.J., Horowitz S.J.: Alloyed Thick-Film Gold Conductor for High Reliability - High Yield Wire Bonding. Proceedings 29th Electronic Components Conference, 1979, 179-186
4. Horowitz S.J., Felten J.J., Gerry D.J.: Recent Developments in Gold Conductor Bonding: Performance and Failure Mechanisms, Solid State Technology, March 1979
5. Horowitz S.J., Gerry D.J., Cote R.E.: Connecting to Gold Thick Film Conductors: Performance and Failure Mechanisms, Proc. International Microelectronics Conference, 1977, 47-56
6. Horowitz S.J., Gerry D.J., Cote R.E.: Alloy Element Additions to Gold Thick-Film Conductors: Effect on Indium/Lead Soldering and Ultrasonic Aluminium Wire Bonding. Proc. 27th Electronic Components Conference, 1977, 358-367
7. Palmer D.W., Ganyard F.P.: Aluminium Wire to Thick Film Connection High Temperature Operation. Proc. 28th Electronic Components Conference, 1978, 397-402
8. Pat. USA 4.230.493, 1980