

Wytrzymałość obudów elementów elektronicznych na narażenia klimatyczne

Obudowa elementu elektronicznego musi spełniać następujące zadania:

- osłaniać strukturę półprzewodnikową od niekorzystnych wpływów środowiska i uszkodzeń mechanicznych;
- umożliwiać zastosowanie elementu w układach elektronicznych poprzez proste podłączenie i w ten sposób nadać strukturze półprzewodnikowej wartość użytkową.

Obudowy mogą być wykonane z tworzyw sztucznych lub z metalu, szkła lub ceramiki. Obudowy wykonane z metalu, szkła i ceramiki określa się zwykle jako hermetyczne.

Producent elementu półprzewodnikowego wymaga w odniesieniu do obudowy, by spełniała ona swoje funkcje i by była odpowiednio wytrzymała na narażenia środowiskowe.

Element półprzewodnikowy musi spełniać wymagania w różnych warunkach narażeń klimatycznych i mechanicznych. Obudowa nie może mieć mniejszej wytrzymałości na te narażenia niż struktura w nią wmontowana i przez nią osłaniana.

Dokumenty normalizacyjne dotyczące elementów półprzewodnikowych czy mikroukładów przewidują różne stopnie obostrzenia narażeń klimatycznych [1, 2]. Działanie narażeń na same obudowy jest znacznie ograniczone w stosunku do działania na gotowe struktury półprzewodnikowe i sprowadza się do dwóch działań zasadniczych:

- działania na złącze szkło-metal lub ceramika-metal;
- działania korozyjnego na wyprowadzenia elektrod.

Dla producenta obudów informacje o wytrzymałości obudów na różnego rodzaju narażenia mają kapitalne znaczenie. Stąd wynika konieczność systematycznych badań. Niektóre ich wyniki będące przykładami wytrzymałości obudów na narażenia klimatyczne przedstawiono w niniejszym artykule.

PRZEDMIOT BADAŃ I ZASTOSOWANE METODY

Przedmiotem badań były obudowy do mikroukładów scalonych typu TO-116 różnych producentów wykonane w 2 wersjach oraz obudowy do mikroukładów hybrydowych z 24 wyprowadzeniami. Obudowy TO-116 wykonane były w wersji metalowo-ceramicznej z elementem łączącym oba te tworzywa w postaci szkła oraz w wersji metal-masa ceramiczno-szklana. Wyprowadzenia stanowiły ramki kowarowe, złocone. Obudowy zaś do mikroukładów hybrydowych wykonane były z tworzywa na bazie żywicy epoksydowej, a wyprowadzenia - z mosiądzu złoconego.

Ocenę skutków narażeń prowadzono trzema sposobami. W stosunku do obudów hermetycznych badano szczelność i oporność izolacji pomiędzy wyprowadzeniami. Ponadto dokonywano oględzin stanu powierzchni wyprowadzeń. W stosunku do obudów niehermetycznych wykonywano jedynie pomiary oporności międzyelektrodowej oraz dokonywano oględzin stanu wyprowadzeń.

* / Obecnie Instytut Technologii Elektronowej CEMI

Szczelność obudów mierzono za pomocą helowego wykrywacza szczelności typu ASM4-A/Alcatel/. Za granicę dopuszczalnego nacieku przyjęto sygnał o wielkości odpowiadającej $1 \cdot 10^{-4}$ Trl/s. W przypadku obudów zamkniętych nasycano je uprzednio helem, stosując ciśnienie 3 Atm przez 4 godziny, a następnie badano:

- szczelność na wykrywaczu helowym /pierwszy stopień badania/;
- szczelność metodą pęcherzykową przy użyciu alkoholu w temperaturze 40°C /drugi stopień badania/.

Oporność izolacji mierzono zawsze w temperaturze otoczenia za pomocą megomierza Id-6/radiometer/przy napięciu 50V. Oględziny wyprowadzeń wykonywano za pomocą mikroskopu stereoskopowego o małym powiększeniu a ponadto wykonywano zdjęcia obrazów elektronowych na mikroskopie skaningowym typu JSM /JEOL/. Narażenia klimatyczne prowadzono w komorach firmy Vötsch:

- narażenia na ciepłą wilgoć w komorze VK 11/250,
- narażenia na ciepło, zimno w komorze VM 08/64,
- narażenia na cykle temperaturowe w komorze szoków VSM 08/2/64.

Narażenia na mgłą solną prowadzono w Ośrodku Badania Jakości i Normalizacji Przemysłu Elektronicznego.

Szoki termiczne prowadzono zgodnie z normą [3] w wodzie. Wszystkie komory użyte w niniejszych badaniach mają regulację i programowanie przebiegów.

OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Zestawienie narażeń jakim poddano obudowy

	suche gorąco	suche gorąco + napięcie	wilgotne gorąco stałe	wilgotne gorąco cykliczne	wilgotne gorąco + napięcie	słona mgła	zmiany temperatury	
							cykle temp.	szoki
TO116p	x	x	x	x	x	x	x	x
TO116f	x	x	x	x	x	x	x	x
hybryd.	-	-	x	x	-	x	-	-

W tabelicy zestawiono rodzaje narażeń, jakim poddano obudowy. Warunki narażeń były następujące:

suche gorąco: $T = 125^{\circ}\text{C}$,

suche gorąco + napięcie: $T = 125^{\circ}\text{C}$, $U = 20\text{V}$,

wilgotne gorące stałe: $T = 40^{\circ}\text{C}$, 95% wilg. wzgl.,

wilgotne gorące stałe + napięcie: $T = 40^{\circ}\text{C}$, 95% wilg. wzgl., $U = 20\text{V}$,

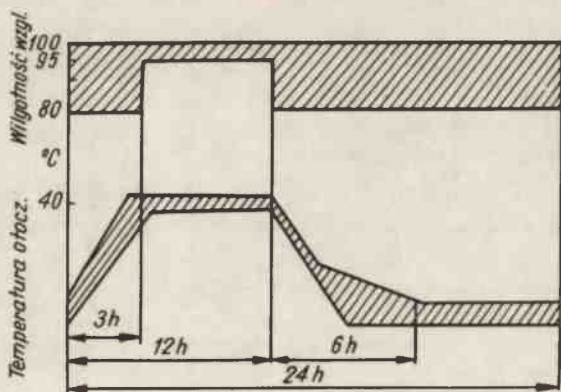
wilgotne gorące cyklicznie: przebieg zmian temperatury i wilgotności względnej przedstawiono na rys. 1.

słona mgła: $T = 35^{\circ}\text{C}$, rozpylana mgła z 5% roztworu NaCl ,

cykle temperaturowe: $125^{\circ}\text{C} \div -55^{\circ}\text{C}$ oraz $200^{\circ}\text{C} \div -65^{\circ}\text{C}$,

szoki temperaturowe: 0°C , 100°C w wodzie.

Warunki narażeń zostały wybrane z odpowiednich norm badań środowiskowych oraz z warunków technicznych na obudowy układów scalonych. Pewną nowością jest tu wprowadzenie do badań napięcia przykładanego do wyprowadzeń obudów w czasie narażenia na suche gorąco lub wilgotne gorąco stałe. Przez polaryzację sąsiednich wyprowadzeń obudowy zastrzono warunki narażenia.



Rys. 1. Przebieg zmian temperatury i wilgotności w czasie narażenia na wilgotne gorąco cykliczne

Na rys. 2 przedstawiono przebieg zmian oporności izolacji pomiędzy 4 porami wyprowadzeń obudowy w funkcji czasu narażenia na suche gorąco. Narażeniu poddano wyłącznie obudowy TO-116 w wersji ceramicznej oraz w 2 wersjach mieszanin szkła z ceramiką. Dla wersji ceramicznej, dla większej przejrzystości rysunku, obliczono wartości średnie i naniesiono w postaci linii. Dla wersji pozostałych zaznaczono obszary, w których leżały wyniki pomiarów.

Na rys. 3 pokazano zmiany oporności izolacji pomiędzy wyorowadzeniami obudów TO-116 zamkniętych w funkcji czasu narażenia na gorącą wilgoć. W badanej próbce znajdowały się obudowy szczelne oraz nieszczelne. Nieszczelności były różnej wielkości: od bardzo dużych szacowanych, za pomocą badań na pęcherzyki, na natężenie nieszczelności 10^{-3} Trl/s - do mierzonych na wykrywaczu nieszczelności rzędu 10^{-9} Trl/s. Jedną partię obudów szczelnych poddano narażeniu polaryzując - podobnie jak wyżej podano - sąsiednie wyprowadzenia. Na rysunku zaznaczono obszary, w których leżały mierzone wartości oporności izolacji.

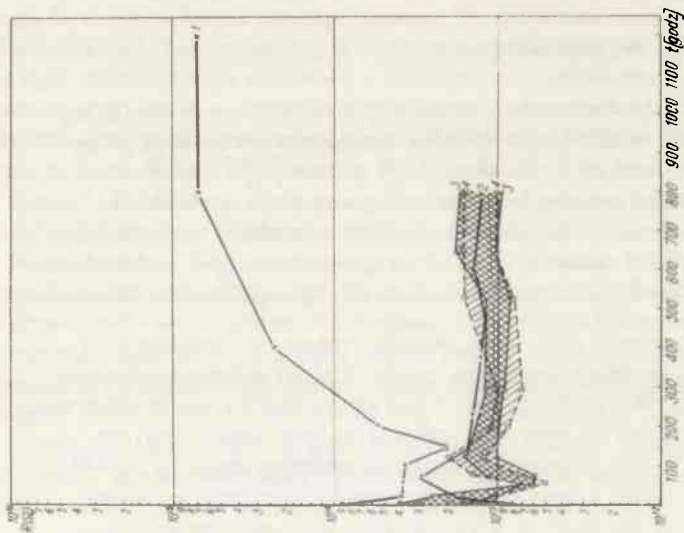
Na rys. 4 zestawiono przykłady zdjęć wykonanych na skaningowym mikroskopie elektronowym wyprowadzeń obudów TO-116, TO-116f, i obudów do mikroukładów hybrydowych przed dokonaniem narażeń. Na tym samym rysunku pokazano niektóre fragmenty części metalowych obudów po narażeniach na wilgotne gorąco stałe oraz na wilgotne gorąco cykliczne. W pierwszym przypadku narażenie trwało 21 dób. Narażenie na gorącą wilgoć cykliczną trwało 6 dób.

Na rys. 5 przedstawiono zdjęcia wykonane na elektronowym mikroskopie skaningowym obudowy TO-116p i TO-116f po 2 i 4 dobach narażenia na mgłą solną. Na rysunku tym pokazano również wygląd wyprowadzeń obudowy mikroukładu hybrydowego po 4 dobach narażenia na słoną mgłą.

Rys. 5e przedstawia pogranicze ceramika-metal obudowy TO-116f po 2 dobach narażenia na mgłą solną. Widoczne są pojedyncze punkty korozji.

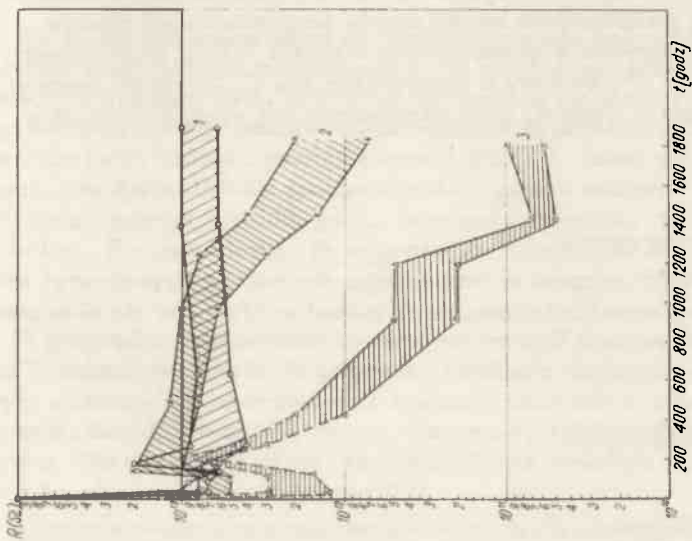
Rys. 5g przedstawia obraz mikroskopowy wewnętrznego fragmentu wyprowadzenia obudowy mikroukładu hybrydowego po narażeniu w ciągu 4 dób na słoną mgłą. Na rys. 5h widać wykrystalizowaną sól, która przedostała się wzdłuż wyprowadzenia, zaś na rys. 5i widoczny jest fragment rys. 5h w powiększeniu.

Na rys. 6 przedstawiono wyniki narażeń na cykle temperaturowe i szoki termiczne.



Rys. 2. Zmiany oporności izolacji pomiędzy wyprowadzeniami obudowy TO116 w czasie narażenia na suche gorąco, $T=125^{\circ}\text{C}$

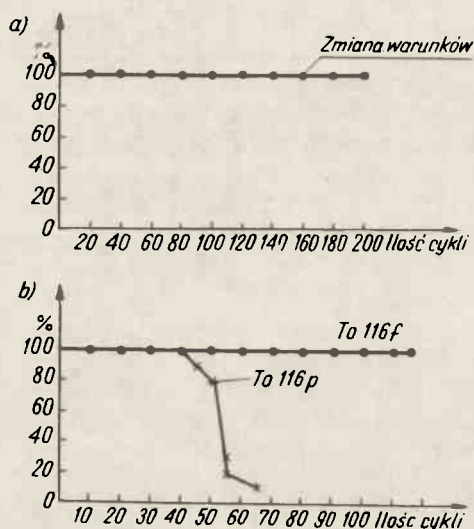
- 1 - TO116 ceramiczne, polaryzacja wyprowadzeń
- 2 - TO116 ceramiczne, bez polaryzacji
- 3 - TO116 mieszanina ceramika-szkło, z polaryzacją wyprowadzeń
- 4 - TO116 mieszanina ceramika-szkło, bez polaryzacji



Rys. 3. Zmiany oporności izolacji pomiędzy wyprowadzeniami obudów TO116 zamkniętych w czasie narażenia na gorącą wilgoć stałą, $T = 40^{\circ}\text{C}$

- 1 - spolaryzowane wyprowadzenia
- 2 - niespolaryzowane wprowadzenia
- 3 - nieszczelne

Na osi rzędnych przyjęto procent obudów dobrych, no osi odciętych ilość cykli narażenia. Przez jeden cykl rozumie się przejście z temperatury wysokiej do niskiej i z powrotem. Na rys. 6a pokazano przebieg dla obudów otwartych TO-116p i TO-116f poddanych narażeniom na cykle temperaturowe. Po 150 cyklach zmieniono warunki narażenia na $+200^{\circ}\text{C} \div -65^{\circ}\text{C}$. Na rys. 4b przedstawiono wyniki szoków temperaturowych obudów TO-116p i TO-116f. Szoki wykonywano w sposób opisany w normie PN[3], przekładając obudowy z wody o temperaturze 0°C do wody o temperaturze 100°C . W każdej temperaturze obudowy przebywały przez 5 minut, czas przeniesienia zaś wynosił kilkanaście sekund.



Rys. 6. Narażenie TO 116 na cykle temperaturowe. Na osi rzędnych podano % obudów szczelnych po cyklach

OMÓWIENIE UZYSKANYCH WYNIKÓW

Badania w podwyższonej temperaturze miały na celu sprawdzenie zachowania się obudowy podczas długotrwałego narażenia. Niektóre wymagania przewidują próbę wytrzymałości mikroukładów scalonych przez okres 1000 godzin [2]. Dodatkowo przyłożone pole elektryczne może ewentualnie zachodzące reakcje w materiale obudowy przyspieszać. W toku prowadzonych prób obudowy nie uległy uszkodzeniu oporność zaś izolacji, z wyjątkiem obudów TO-116p ze spolaryzowanymi elektrodami, nie uległa istotniejszym zmianom i jest znacznie wyższa od żądanych przez odbiorców.

Wzrost oporności izolacji, o prawie dwa rzędy, obudów metalowo-ceramicznych TO-116p, wynika ze znanego zjawisko elektrolizy szkła. Części składowe obudowy są sklepane za pomocą szkła SL-54 i praktycznie części wyprowadzeń są nim otoczone. Podobny wpływ ma pole elektryczne na oporność izolacji obudów narażonych na gorącą wilgoć stałą /rys. 3/. W tym przypadku narażeniu poddano obudowy TO-116 zamknięte. Pomiar oporności izolacji prowadzono dla wszystkich badanych obudów natychmiast po wyjęciu z komory narażenia, a więc nie stosowano reklimotyżacji.

W przypadku obudów narażonych bez polaryzacji wyprowadzeń zauważono, że 2-godzinną reklimotyżacja w warunkach laboratoryjnych wpływało tylko w niewielkim stopniu na wartości oporności izolacji. Reklimatyżacja 24-godzinną powodowała wzrost

oporności izolacji o prawie dwa rzędy. Wartości uzyskane wówczas były zbliżone do tych, które otrzymano dla obudów ze spolaryzowanymi elektrodami, ale nie reklimatyzowanymi.

Na te ostatnie nawet długa reklimatyzacja miała wpływ niewielki. W przypadku obudów nieszczelnych reklimatyzacja nie powodowała polepszenia izolacji, co jest całkowicie uzasadnione. Natomiast zachowanie się obudów z wyprowadzeniami spolaryzowanymi wymaga jeszcze dokładniejszego wyjaśnienia. Z rys. 3 wynika także jeszcze jeden wniosek: spadek oporności izolacji, nawet w przypadku obudów nieszczelnych, nie dyskwalifikuje jeszcze obudów z punktu widzenia oporności izolacji. Wartości oporności po 1400 godz. narażenia są jeszcze nieco wyższe od przyjętej granicy. Zaobserwowano, że wyprowadzenia mosiężne złączone obudów do mikroukładów hybrydowych są znacznie odporniejsze na korozję. Prowadzone w czasie 56 dob narażenie nie wywołało na badanych egzemplarzach wyraźnych śladów korozji.

W przypadku wyprowadzeń kowarowych na ogół obserwowano ślady korozji punktowej po 21 dobach narażenia. W przypadku narażenia na gorącą wilgoć cykliczną ślady te były widoczne już po 6-dobowych cyklach. Oczywiście o tym, jak odporne są wyprowadzenia, decyduje pokrycie złotem. Na rysunku 4 pokazano przykłady pozytywne i negatywne. Na rysunku 4d widać, że narażenie nie wywołało zmian, natomiast na rysunkach 4f i 4g widać wyraźne ślady korozji.

Znacznie większą rolę odgrywa jakość pokrycia złotem w czasie narażeń na mgłę solną. Pokazuje to wyraźnie rys. 5. W przypadku pokryć jednego rodzaju po dwóch dobach narażenia brak jest śladów korozji /rys. 5c/, podczas gdy dla innych pokryć korozja jest bardzo znaczna /rys. 5a, 5b/. Jednak nawet przy bardzo dobrym pokryciu złotem, które po 4 dobach na mgłę solną wykazuje tylko znikome uszkodzenia, istnieje miejsce specjalnie krytyczne. Jest to pogranicze złącza metal-dielektryk. Obudowy hermetyczne są złączone dopiero po wykonaniu złącz. Dlatego obszary przyzłączowe mogą być niedokładnie zabezpieczone. W przypadku badanych obudów TO-116f zabezpieczenie było bardzo dobre, a mimo to obserwowano już po dwóch dobach narażenia na mgłę solną korozję punktową w obszarze przygranicznym /rys. 5e/. Istniejące zawsze naprężenia w obszarze złączowym niewątpliwie ułatwiają korozję. Jak niebezpieczne jest to miejsce, wskazują przykłady obudów TO-116p, u których po 2 dobach narażenia na słoną mgłę niektóre wyprowadzenia łamały się na pograniczu złącza.

Rysunki 5f i 5i dotyczą wyprowadzeń obudów mikroukładów hybrydowych. Obudowy te należą do tzw. niehermetycznych; wyprowadzenia już pozłoczone wprasowuje się w jednej operacji przy wyprasowywaniu całej obudowy. Nie ma więc specjalnie zagrożonych miejsc na korozję, tak jak to jest w przypadku obudów hermetycznych. Rysunek 5f przedstawia wyprowadzenie obudowy mikroukładu hybrydowego, która przeszła 56-dobowe narażenie na gorącą wilgoć oraz 4-dobowe narażenie na słoną mgłę. Dopiero po 4 dobach mgły solnej można zauważyć ślady korozji. Pomiar oporności izolacji prowadzone po tym narażeniu, mimo starannego odmycia wg metody podanej w normie MIL[4], wykazały spadek oporności izolacji pomiędzy niektórymi wyprowadzeniami. Spadek ten nieraz doprowadzał do przekroczenia dopuszczalnej granicy. Po rozcięciu obudowy znaleziono po wewnętrznej stronie na niektórych wyprowadzeniach wykryształizowaną sól. Na rysunku 5g pokazano czystą wewnętrzną część wyprowadzenia, na rysunku 5h zaś - wewnętrzną część wyprowadzenia z solą. Rysunek 5i przedstawia fragment zdjęcia poprzedniego w powiększeniu 230x

Warto jednak tutaj podkreślić, że obudowy z tworzyw sztucznych nie są przeznaczone do warunków pracy maksymalnie trudnych, do jakich należy zaliczyć przeprowadzone narażenie. Narażenia na nagłe zmiany temperatury i szoki termiczne miały

na celu sprawdzenie wytrzymałości złącz. Do narażeń tych wzięto obudowy otwarte, a parametrem mierzonym było natężenie nieszczelności.

Narażenia na nagłe zmiany temperatury prowadzono w warunkach ostrzejszych, niż przewiduje to obowiązująca norma [3]. Dotyczy to szybkości zmiany temperatury, która w stosowanej komorze wynosi około 6°C/s , podczas gdy norma zaleca 2-3-minutowy okres reklimatyzacji pomiędzy obu skrajnymi temperaturami. Wyniki /rys. 6a/ wykazują, że w powietrzu nie stwierdzono uszkodzeń aż do 200 cykli, pomimo że warunki narażenia zaostrzono po 160 cyklach.

W osrodku ciekłym /rys. 6b/ obudowy TO-18 zaczęły się odszczelniać po ok. 45 cyklach, a po 55 cyklach tylko 20% obudów badanych było jeszcze nie uszkodzonych. Natomiast obudowy wykonane z mieszaniny szkło-ceramika okazały się bardziej wytrzymałe i do 120 cykli nie zanotowano w nich uszkodzeń. Warto podkreślić, że Polska Norma [3] przewiduje jedynie 9 cykli tego rodzaju narażenia. W przypadku gdy obudowy zostają zamknięte wieczkami, narażenie to jest mniej ostre, co potwierdzają inne doświadczenia.

ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki stanowią część doświadczeń prowadzonych z obudowami elementów elektronicznych. Dotychczasowe wyniki pozwalają stwierdzić, że elementy złączowe badanych obudów są bardzo wytrzymałe na różnego typu narażenia. Natomiast gorsze rezultaty uzyskuje się w odniesieniu do narażenia na atmosfery korozyjne. Niewątpliwie, obszar przyzłączowy jest węzłem najbardziej zagrożonym. Korozja naprężeniowa tutaj występująca może doprowadzić do uszkodzeń typu mechanicznego. Problem ten powinien więc być przedmiotem troski technologów.

Autor pragnie wyrazić swoją wdzięczność panu J. Małkowi za pomoc techniczną w toku wykonywania niniejszej pracy. Wszystkie zdjęcia przedstawione w artykule wykonano w Zakładzie Badań Strukturalnych ONPMP.

Literatura

1. Norma Branżowa BN-69/3375-06, Diody i tranzystory. Ogólne wymagania i badania.
2. Norma Branżowa BN/73 Mikroukłady scalone. Ogólne wymagania i badania /w toku zatwierdzania/.
3. Norma Polska PN-73/E-04550. Próba N, zmiany temperatury.
4. MIL-Std. 883, Test methods and procedure for microelectronics.



Rys. 4-a wyprowadzenie TO116f przed narażeniem /500x/



Rys. 4-b wyprowadzenie TO116p przed narażeniem /500x/



Rys. 4-c wyprowadzenie obudowy układu hybridowego przed narażeniem /500x/



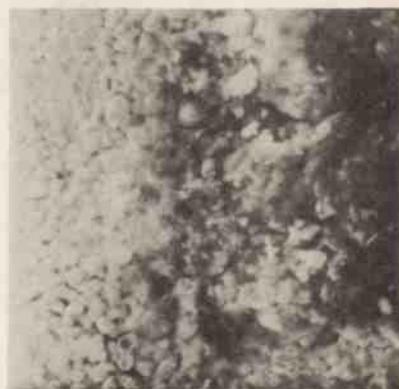
Rys. 4-d wyprowadzenie TO116f po 21 dobach narażenia na gorącą wilgoć stałą, $T=40^{\circ}\text{C}$ /500x/



Rys. 4-e wyprowadzenie obudowy mikroukładu hybrydowego po narażeniu na gorącą wilgoć cykliczną przez 10 dób /500x/



Rys. 4-f TO116p po 21 dobach narażenia na wilgotne gorąco stałe /1000x/



Rys. 4-g TO116p po 6 dobach narażenia na wilgotne gorąco cykliczne /500x/



5-a

5-b

Rys. 5-a, b TO 116f po dwóch dobach narażenia na słoną mgłę
a - powiększenie 50x
b - powiększenie 500x



Rys. 5-c - TO 116f po dwóch dobach narażenia na słoną mgłę /150x/



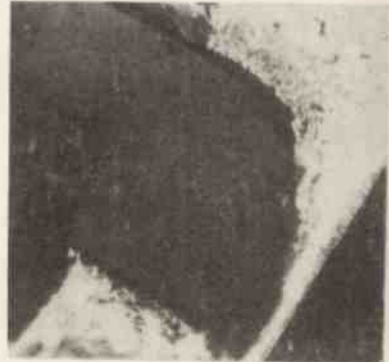
Rys. 5-d TO 116f po czterech dobach narażenia na słoną mgłę /150x/



Rys. 5-e TO 116f po dwóch dobach narażenia na słoną mgłę. Obszar na granicy złączca /50x/



Rys. 5-f. Wyprowadzenia obudowy mikroukładu hybridowego po narażeniu na słońc mgłę przez 4 doby /460x/



Rys. 5-g. - Wyprowadzenia wewnętrzne obudowy mikroukładu hybridowego po narażeniu przez 4 doby na słońc mgłę /23x/



• 5-h



5-i

Rys. 5-h, i. Wyprowadzenia wewnętrzne obudowy układu hybridowego po narażeniu na słońc mgłę /inne miejsce/

h - 23x

i - 230x