ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1984

Seria: AUTOMATYKA z. 73 Nr kol. 798

Wojciech SAKOWSKI
Józef SZLUFCIK

MOŻLIWOŚCI TECHNOLOGICZNE LABORATORIUM GRUBOWARSTWOWYCH UKŁADÓW SCALONYCH

Streszczenie. W publikacji omówiono metodę wytwarzanie hybrydowych grubowarstwowych układów scalonych. Omówiono możliwości technologiczne laboratorium grubowarstwowego Instytutu Elektroniki oraz przedstawiono tendencje rozwojowe i najnowsze rozwiązania technologiczne w omawianej dziedzinie.

1. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGII GRUBOWARSTWOWYCH UKŁADÓW HYBRYDOWYCH

Technologią grubowarstwową nazywamy wytwarzanie układów elektronicznych ze specjalnych kompozycji, które nanosi się na podłoża ceramiczne techniką sitodruku, a następnie wypala w wysokiej temperaturze. Po obróbce termicznej kompozycje te tworzą - w zależności od składu chemicznego - warstwy przewodzące, rezystywne bądź dielektryczne.

Technologia ta wywodzi się ze stosowanej już na przełomie lat czterdziestych i pięćdziesiątych technologii produkcji kondensatorów ceramicznych, których srebrne elektrody nanoszone są na dielektryk metodą sitodruku i wypalane. Burzliwy rozwój tej technologii wiąże się z zastosowaniem jej na wielką skalę przy produkcji podzespołów do komputerów firmy IBM serii 360. Na obecnym etapie rozwoju przemysłu elektronicznego szczególną zaletą technologii grubowarstwowej jest możliwość wytwarzania hybrydowych układów scalonych.

W procesie wytwarzania układów grubowarstwowych wyróżnić można następujące etapy:

1) projektowanie topologii układu,
2) przygotowanie i maskowanie sit,
3) sitodruk i wypalanie poszczególnych warstw,
4) montaż elementów dołączanych i wyprowadzeń,
5) badanie i hermetyzacja.

Na podstawie schematu elektrycznego projektuje się topologie warstw przewodzących, rezystywnych i dielektrycznych oraz rozmieszczenie dołączanych elementów aktywnych. Etap drugi polega na wykonaniu w oparciu o projekt technologiczny zestawu maskowanych sit, które umożliwią drukowania poszczególnych warstw. W dalszej części artykułu dokładniej omówione będą

etapy trzeci i czwarty, w wyniku realizacji których na podłożu (najczęściej alundowym) powstaje sieć ścieżek przewodzących oraz elementów biernych, przy czym te ostatnie mogą być poddawane korekcji zmniejszającej znacznie rozrzut ich wartości. Do tak przygotowanej struktury dołącza się elementy nie realizowane w technologii grubowarstwowej: kondensatory o dużych pojemnościach, indukcyjności i elementy półprzewodnikowe. Te ostatnie mogą być dołączane w obudowach lub w formie struktur nieobudowanych. Do wykonania połączeń stosuje się różne odmiany lutowania (ręczne, zanurzeniowe, pastami lutowniczymi), a także zgrzewanie termokompresyjne lub ultrakompresyjne. Wyprowadzenia gotowych układów wykonywane z drutów bądź gotowych ażurów dołączane są przez lutowanie. Hermetyzację układów grubowarstwowych uzyskuje się przez powlekanie ich żywicą (przez zanurzenie albo fluidyzację) lub zamykanie w obudowach metalowych bądź plastikowych. Wszystkim etapom produkcji towarzyszą niezbędne badanie i pomiary wieńczone przez badanie funkcjonalne gotowego układu.

Stosowane w technologii grubowarstwowej materiały oraz procesy technologiczne decydują o właściwościach układów grubowarstwowych. Aktualnie uzyskiwane parametry układów są następujące:

- moc rozpraszana w układzie: od 1 do kilku W/cm^2,
- zakres rezystancji: od ułamków oma do dziesiątek megaomów,
- własności warstw rezystywnych: TWR 50÷500 ppm, stabilność (po 2000 h pod obciążeniem) 0,1 ... 5%, tolerancja do 0,1%,
- rezystancja ścieżek przewodzących 2 ... 50 mΩ/□
- wytrzymałość na przebicie warstwy izolującej 400 ... 800 V.

Parametry te pozwalają na budowę układów o mocach wydzielanych i wartościach występujących w nich napięć znacznie wyższych niż w układach półprzewodnikowych. Dynamicznie rozwijającym się obszarem zastosowań są wielowarstwowe sieci połączeń do montażu chipów układów LSI, co znacznie zmniejsza rozmiary układów w porównaniu z obwodami na płytkach drukowanych.

Możliwości realizacji wyżej wymienionych typów układów ma także laboratorium układów grubowarstwowych Zakładu Technologii Instytutu Elektroniki.

2. MOŻLIWOŚCI TECHNOLOGICZNE LABORATORIUM HYBRYDOWYCH GRUBOWARSTWOWYCH UKŁADÓW SCALONYCH

Laboratorium grubowarstwowych układów hybrydowych powstało w Instytucie Elektroniki w 1982 r. dla potrzeb kształcenia studentów o specjalności "technologia elektronowa". Jednocześnie wraz z prowadzeniem procesu dydaktycznego zespół technologii, wspólnie z innymi zespołami, prowadzi badania nad wykorzystaniem technologii grubowarstwowej do konstruowania specjalnych układów elektronicznych. Wyposażenie laboratorium w pełni pozwa-

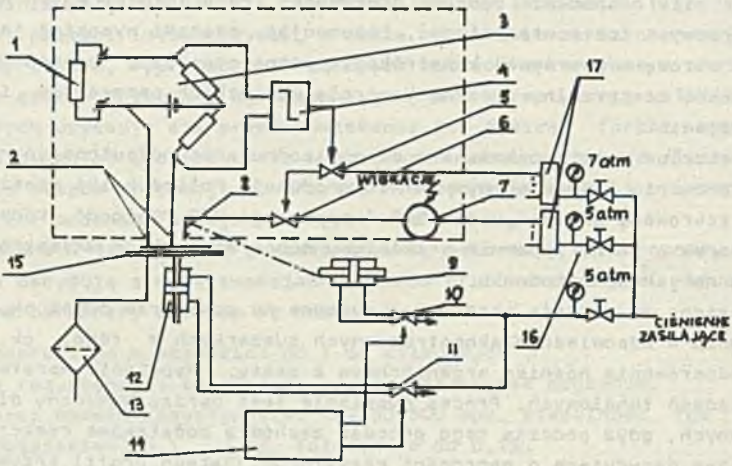
la na wykonanie wszystkich etapów procesu technologicznego grubowarstwowych układów scalonych. Prześledźmy jeszcze raz poszczególne procesy technologiczne opisując możliwości aparaturowe laboratorium. Prawidłowy przebieg całego procesu technologicznego mikroukładów grubowarstwowych jest zależny od jakości wydrukowania warstwy. Własności reologiczne pasty, gęstość sita i współczynnik wypełnienia, a także parametry sitodrukarki, takie jak: szybkość drukowania, konfiguracja rakli, nacisk rakli na sito i odległość sita od podłoża podczas drukowania, mają istotny wpływ na własności warstwy i ich powtarzalność. Dysponując pastami wysokiej jakości i drukarką sitową o poprawnej konstrukcji, można prowadzić proces drukowania w sposób powtarzalny z pełną kontrolą wszystkich parametrów i zachodzących zjawisk.

Laboratorium jest wyposażone w dwie sitodrukarki półautomatyczne - jedną o sterowaniu hydraulicznym EAT-1c produkcji Politechniki Rzeszowskiej i drugą sterowaną pneumatycznie SPR-3 produkcji KZE "Telpod". Konstrukcja sitodrukarek w pełni zapewnia prawidłowy dobór wszystkich parametrów wpływających na jakość sitodruku.

Naniesione na podłoża warstwy są suszone na powietrzu przez ok. 15 min, a następnie w odpowiednio skonstruowanych suszarkach w temp. ok. 120°C w celu odparowania nośnika organicznego z pasty. Wypalanie warstw odbywa się w piecach tunelowych. Proces wypalania jest bardzo krytyczny dla warstw rezystywnych, gdyż podczas tego procesu zachodzą podstawowe reakcje fizykochemiczne decydujące o oporności rezystorów. Dlatego profil krzywej temperatury w funkcji długości pieca musi być ściśle określony, a temperatura w strefie gorącej może się wahać nie więcej niż ± 2°C ... ± 1°C. Znajdujący się na wyposażeniu laboratorium piec został zakupiony na Węgrzech. Jest to piec sześciostrefowy, z niezależną regulacją temperatury w każdej strefie, co pozwala dowolnie kształtować profil temperaturowy wzdłuż pieca w zależności od rodzaju wypalanej pasty. Istnieje również możliwość prowadzenia do wnętrza pieca dowolnej atmosfery o regulowanym i ukierunkowanym przepływie. Ukierunkowanie ma na celu unoszenie odparowanych produktów organicznych i niedopuszczenie ich do strefy gorącej, gdzie mogłyby wystąpić niepożądane wpływy na warstwę, jak piroliza, ograniczenie utleniania i inne.

Właściwości materiałów, a także samych procesów stosowanych w technologii grubowarstwowej są źródłem dużego rozrzutu wartości wykonywanych tą technologią rezystorów. Niewłaściwie dobrane nastawy elementów regulacyjnych urządzeń technologicznych, ich zmiany w trakcie procesu są przyczyną różnicy między oczekiwaną a uzyskaną wartością rezystora. Mnogość czynników zakłócających uniemożliwia wykonanie partii rezystorów o rozrzucie niższym niż ± 20%. Z uwagi na fakt, iż zapotrzebowanie na rezystory o węższych tolerancjach jest znaczne, konieczna jest korekcja rezystorów grubowarstwowych. Polega ona na zmianie rezystancji elementu przez zmianę jego kształtu. Uzyskuje się to przez cięcie rezystora strumieniem piasku (w korektorach piaskowych) bądź wiązką laserową (w laserowych). Mimo nie-

lu zalet korektor laserowy w porównaniu z piaskowym jest bardzo drogi. Względy ekonomiczne zadecydowały o wyposażeniu laboratorium w korektor piaskowy URKo-01 produkcji ZUT "Telpod". Główne jego walory to prosta budowa i niska cena. Jego możliwości można uznać za wystarczające, gdyż umożliwia uzyskanie tolerancji wartości na poziomie zmian powodowanych niestabilnością temperaturową i długoterminową rezystorów. Budowa korektora przedstawiona jest schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Korektor piaskowy URKo-01
Uproszczony schemat blokowy

1 - rezystor wzorcowy, 2 - elektrody pomiarowe, 3 - mostek pomiarowy, 4 - układ progowy wykrywający zrównoważenie mostka, 5 - elektrozawór powietrza blokującego, 6 - zawór podawania piasku, 7 - mieszek z piaskiem korundowym, 8 - dysza, 9 - siłownik przesuwu dysz, 10, 11 - zawory sterujące siłownikami, 12 - siłownik podnoszenia stolika, 13 - pompa próżniowa, 14 - centralny układ sterujący, 15 - stolik z płytką korygowaną, 16 - zespół reduktorów ciśnienia zasilającego i manometrów, 17 - rozdzielacze

Korektor umożliwia korekcję 8 rezystorów jednocześnie. W związku z tym wyposażony jest w 8 kanałów identycznych z modułem umieszczonym na rys. 1 wewnątrz prostokąta ograniczonego przerywaną linię. Uzyskiwane tolerancje zależą od tolerancji wzorca, prędkości przesuwu dysz, dokładności ustalenia wyprzedzenia zadziałania układu progowego. Przy optymalnym doborze parametrów możliwe jest uzyskiwanie powtarzalnych wyników w zakresie $\pm$ 0,5 ... $\pm$ 0,2%. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że korekcja piaskowa pogarsza nieco stabilność rezystora i jego TWR, a także czyni go podatnym na działanie atmosfery.

Istotną zaletą techniki korekcji jest możliwość stosowania tzw. korekcji funkcjonalnej. Polega ona na korekcji rezystora lub rezystorów, których rezystancje mają dominujący wpływ na określony parametr funkcjonalny układu, przy czym o chwili przerwania korekcji decyduje uzyskanie pożąda-

nej wielkości owego parametru. Parametrem takim może być napięcie wyjściowe stabilizatora, częstotliwość generatora itp.

Korektory laserowe, których pracę z reguły steruje system mikrokomputerowy przystosowane są fabrycznie do prowadzenia korekcji funkcjonalnej. W Zakładzie Technologii Elektronowej prowadzi się prace nad przystosowaniem do korekcji funkcjonalnej posiadanego korektora piaskowego. Możliwość taką daje zbudowanie przetwornika, który interesujący parametr funkcjonalny układu przetwarzałby na rezystancję. Wówczas wyjście tego przetwornika podłącza się do mostka pomiarowego.

Kolejnym etapem procesu technologicznego jest montaż elementów dyskretnych, półprzewodnikowych układów scalonych oraz wyprowadzeń. Elementy w obudowach dołączane są za pomocą lutownicy lub metodą mikromontażu miękkiego z wykorzystaniem past lutowniczych. W tej metodzie pasta lutownicza naneszona jest na wybrane pola techniką sitodruku. Lepkość pasty umożliwia przyklejenie dołączanych elementów. Cały układ jest następnie grzany do temp. ok. 200°C, co powoduje zwilżanie lutowiem wybranych pól. Laboratorium jest wyposażone w zgrzewarkę ultradźwiękową UK-2M, która pozwala na dołączanie elementów półprzewodnikowych i układów monolitycznych bez obudów. Gotowe układy wykonywane są w postaci nieobudowanej lub zabezpieczone metodą zanurzeniową w żywicy "Durez".

3. PERSPEKTYWY ROZWOJU GRUBOWARSTWOWYCH UKŁADÓW SCALONYCH

Układy hybrydowe nadal pozostają niezastąpione przy łączeniu technologii bipolarnej i MOS, projektowaniu układów, których wykonanie technologiami półprzewodnikowymi jest nieuzasadnione ze względów technicznych i ekonomicznych. Technologia hybrydowa umożliwia konstruowanie układów do specjalnych zastosowań, jak: układy dużej mocy, mikrofalowe i specjalizowane.

Rozwój mikroukładów grubowarstwowych jest zdeterminowany rozwojem technologii monolitycznej. Rozwój przemysłu elektronicznego podąża w kierunku:

- niższego kosztu wytwarzania,
- zwiększenia niezawodności,
- większego stopnia upakowania,
- szybszej transmisji sygnału.

Wymogi te odnoszą się zarówno do technologii monolitycznych, jak i do uzupełniających je technologii hybrydowych. Dla osiągnięcia wyżej wytyczonych celów w technologii mikroukładów grubowarstwowych prowadzi się wytężone prace w następujących dziedzinach:

- budowanie układów wielkiej skali integracji za pomocą modułów złożonych z wielu układów hybrydowych,
- układy hybrydowe o dużej powierzchni podłoża,

- układy wielowarstwowe o małej powierzchni,
- kombinacje układów cienko- grubowarstwowych,
- zastosowanie metali nieszlachetnych jako składników past,
- wprowadzenie systemu past w oparciu o polimery,
- rozwój nowych technologii.

Firma IBM od wielu lat stosuje moduły złożone z płytek umieszczonych jedna nad drugą i połączonych ze sobą. Wykorzystując tę technikę montażu buduje się układy wielkiej skali integracji (VLSI) łącząc ze sobą tanie układy LSI. Tego rodzaju moduły zastosowano w procesorach IBM 3089 i 4300.

W celu znormalizowania obudów układów hybrydowych wprowadzono nowy rodzaj obudowy tzw. "chips carrier". Jest to obudowa o podstawie kwadratowej z podłożem ceramicznym lub z tworzywa sztucznego i czterostronnym wyprowadzeniem nóżek. Dzięki temu zużywa się około 70% mniej powierzchni niż przy zastosowaniu obudowy DIP. Stosowane dotychczas pasty przewodzące i rezystywne zawierają w sobie proszki metali szlachetnych i ich stopy. Powoduje to pewne niedogodności związane z rosnącym kosztem metali szlachetnych i dużymi jego fluktuacjami. Od wielu lat próbuje się zastąpić takie materiały, jak: złoto, platyna, pallad i srebro tanimi metalami nieszlachetnymi. Firma Du Pont opracowała rodzinę przewodzących past miedzianych. Osiągnięto dużą obniżkę cen. Prócz tego pasty te posiadają doskonałą przewodność elektryczną, termiczną i doskonale nadają się do zastosowań mikrofalowych. Z powodu łatwości utleniania się miedzi wymagają one wypalania w ochronnej atmosferze azotu. Opracowano również rodzinę past dielektrycznych oraz prowadzi się badania nad pastami rezystywnymi wypalanymi w azocie. Obecnie stosuje się system wypalania w dwóch atmosferach. Wraz z postępem technologicznym w przemyśle przyrządów półprzewodnikowych na rynku pojawia się coraz więcej tanich układów scalonych do różnych zastosowań. W celu zminimalizowania kosztów oraz rozmiarów, projektanci układów zmuszeni są redukować długości połączeń i rozmiary rezystorów. Technologia hybrydowa dostarcza możliwości wykonywania układów o dwóch poziomach metalizacji z izolacyjną warstwą dielektryka. Dolna warstwa metalizacji pozwala na znaczne zwiększenie liczby połączeń bez wzrostu rozmiarów układu, a istniejące pasty rezystywne umożliwiają wykonanie na warstwie dielektryka bardzo małych rezystorów o różnych wartościach.

W układach wysokiej częstotliwości wymagających płaszczyzny ekranującej unika się konieczności wykonywania i metalizowania otworów. Wiele firm technologicznych wprowadza ostatnio na rynek pasty przewodzące organiczne.

Ścieżki przewodzące mogą być drukowane zarówno na podłożu sztywnym jak i elastycznym i utwardzane w temp. od pokojowej do 300°C. Pozwala to na wykonywanie tanich układów o niezbyt wygórowanych parametrach elektrycznych.

Podsumowując można stwierdzić, że elastyczność i prostota technologii grubowarstwowej pozwala na jej stały rozwój i trwałe miejsce w przemyśle elektronicznym.

LITERATURA

[1] Du Pont de Nemours Electronic Materials Seminar in Poland. May 30 - June 1, 1983.

[2] Morton L.: Topfer Thick film microelectronics. Van Nostrand Reinhold Company 1971.

[3] Donald W. Hamer, James V. Biggers: Technologia układów scalonych grubowarstwowych. WNT, Warszawa 1976.

Recenzent: Doc. dr hab. Sławomir Kończak

Wpłynęło do Redakcji: wrzesień 1983 r.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАБОРАТОРИИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ ГИБРИДНЫХ МИКРОСХЕМ

Р е з ю м е

Описаны основы техногии производства гибридных толстопленочных интегральных схем. Проанализованы возможности технологической лаборатории Института Электроники. Большое внимание уделено новым тенденциям и направлениям в описаной области.

CAPABILITIES OF THICK FILM HYBRID LABORATORY

S u m m a r y

The manufacturing of thick film hybrid microcircuits is described. Capabilities of thick film laboratory of the Institute of Electronics are presented. Future trends and the latest echievments of thick film technology are schown.