



Patent dodatkowy
do patentu

Zgłoszono: 28.V.1969 (P 133 856)

Pierwszeństwo:

Opublikowano: 15.X.1971

Kl. 21 g, 10/02

MKP H 01 g, 3/06



Współtwórcy wynalazku: Bogusław Stępień, Wojciech Gregorczyk

Właściciel patentu: Instytut Tele- i Radiotechniczny, Warszawa (Polska)

Sposób wytwarzania stabilnych kondensatorów cienkowarstwowych

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania stabilnych kondensatorów cienkowarstwowych przeznaczonych głównie do stosowania w cienkowarstwowych mikroukładach hybrydowych.

W literaturze technicznej istnieje szereg publikacji przedstawiających wyniki badań kondensatorów cienkowarstwowych naparowanych próżniowo z monotlenku krzemu (SiO). Dotyczą one głównie wyników badań własności elektrycznych warstwy dielektryku, w znacznym stopniu sprzecznych między sobą. Istnieją wzmianki o stosunku tego typu kondensatorów w cienkowarstwowych mikroukładach jako kondensatorów bezpośrednio naparowywanych na płytce podłożowej mikroukładu lub wykonanych w formie oddzielnych elementów.

Kondensatory wykonywane bezpośrednio na płytce podłożowej mikroukładu otrzymywane są przez kolejne naparowanie przez odpowiednie maski mechaniczne warstw aluminium, monotlenku krzemu i aluminium.

Tak wykonane kondensatory posiadają liczne słabe miejsca, w których są zwarte lub zwarcia następują w czasie pracy. Występuje także znaczny rozrzut stałej dielektrycznej naparowanej warstwy, co pociąga za sobą niepowtarzalność pojemności otrzymywanych kondensatorów zarówno w ramach jednego naparowania, jak i między poszczególnymi naparowaniami warstwy dielektryku. Powoduje to nieznaczny uzysk kondensatorów i ich zawodność.

Celem niniejszego wynalazku jest opracowanie sposobu wytwarzania kondensatorów cienkowarstwowych o

2

powtarzalnych i stabilnych parametrach elektrycznych i wysokiej niezawodności.

Kondensatory według niniejszego wynalazku mogą być wykonywane zarówno bezpośrednio na powierzchni płytki podłożowej mikroukładu, jak i w formie kondensatorów dyskretnych tzn. kondensatorów wykonanych w postaci oddzielnych elementów, specjalnie przystosowanych do zautomatyzowanego montażu czołowego w mikroukładach hybrydowych cienkowarstwowych lub grubowarstwowych. Kondensatory wykonane według niniejszego wynalazku mogą być także wykonywane jako kondensatory konwencjonalne przystosowane do montażu w układach drukowanych.

Rozwiązanie postawionego zadania technicznego uzyskano w wyniku długotrwałych badań wpływu warunków naparowywania warstwy dielektryku na własności i powtarzalność parametrów elektrycznych kondensatorów i ustaleniu, że stosunek liczby molekuł tlenu do liczby molekuł monotlenku krzemu winien wynosić od 8 do 50.

W kondensatorze według wynalazku wielowarstwowa struktura pozostaje bez zmian w stosunku do rozwiązań znanych. Jednakże grubość naparowanych okładek aluminium wynosi $0,1-0,5 \mu\text{m}$. Proces naparowania warstw aluminium przebiega w próżni nie gorszej niż 10^{-4} Tr i z możliwie maksymalną szybkością.

Najważniejszym elementem kondensatora cienkowarstwowego jest warstwa dielektryku. Otrzymuje się ją przez wyparowanie monotlenku krzemu ze źródła pary ogrzewanego oporowo. Stosuje się źródła kominowe

charakteryzujące się powtarzalną charakterystyką emisji, co w połączeniu z odpowiednio dobraną wirującą przesłoną pozwala uzyskać jednakową grubość naparowanej warstwy na całej dostępnej powierzchni nośnika podłoża.

Przed rozpoczęciem parowania monotlenek krzemu umieszczony w źródle pary musi być odgazowany, tak aby podczas podwyższania temperatury źródła próżnia nie psuła się o więcej niż o dwa rzędy wielkości. Parowanie nie może być rozpoczęte przed uzyskaniem w stanowisku próżniowym próżni gorszej niż $5 \cdot 10^{-6}$ Tr przy źródle rozgrzanym do temperatury, w której następuje powolne parowanie monotlenku krzemu, co może być łatwo zaobserwowane dzięki zmianom zabarwienia przesłony źródła pary.

Bezpośrednio przed rozpoczęciem parowania na podłożu, do komory próżniowej należy przez zawór dawkujący wpuścić gaz utleniający i jego ciśnienie składować z zamierzoną szybkością naparowywania, tak aby podczas naparowywania stosunek efektywnej liczby molekuł tlenu N_{O_2} i molekuł monotlenku krzemu N_{SiO} jednocześnie uderzających w podłoże zawierał się w granicach od 8 do 50. Ten warunek jest spełniony dla pewnego obszaru szybkości naparowywania V_p i ciśnienia gazu utleniającego, obszaru zakresowanego na fig. 1.

W tym bowiem obszarze uzyskać można dobre parametry elektryczne kondensatorów oraz bardzo małą ich zależność od zmian parametrów procesu technologicznego nanoszenia warstwy dielektrycznej. Ten ostatni fakt ma ogromne znaczenie przy seryjnej produkcji kondensatorów cienkowarstwowych, gdzie niewielkie nie kontrolowane zmiany parametrów procesu technologicznego są nieuniknione.

Wpływ stosunku liczby molekuł tlenu N_{O_2} do liczby molekuł monotlenku krzemu N_{SiO} jednocześnie uderzających w podłoże, na podstawowe parametry elektryczne kondensatorów pokazanych jest na fig. 2.

W omawianym przedziale 8–50 stosunku N_{O_2}/N_{SiO} wartości podstawowych parametrów kondensatorów są w zasadzie stałe. Uzyskanie powtarzalności parametrów kondensatorów nie stanowi tu żadnego problemu, bowiem w całym tym zakresie zmienności stosunku N_{O_2}/N_{SiO} można uzyskać następujące parametry: przenikalność dielektryczna $\epsilon = 4,25$; tangens kąta strat $\text{tg } \delta < 10 \cdot 10^{-4}$; wytrzymałość dielektryczna $E_p = 5 \text{ MV/cm}$.

Poniżej dolnej granicy omawianego przedziału występuje zdecydowany wzrost tangensa kąta strat oraz przenikalności dielektrycznej wraz ze zmniejszaniem się wartości stosunku N_{O_2}/N_{SiO} . Zmiany N_{O_2}/N_{SiO} przy zachowaniu nie zmienionych pozostałych parametrów procesu technologicznego będą w tym przypadku powodowały zmiany pojemności wytwarzanych kondensatorów. Zapewnienie powtarzalności parametrów kondensatorów między kolejnymi procesami, a nawet w ramach tego samego procesu, jest tu sprawą trudną, niekiedy wręcz niemożliwą.

Przy $\frac{N_{O_2}}{N_{SiO}} = 2$ przenikalność dielektryczna $\epsilon \approx 5$, tangens kąta strat $\text{tg } \delta \approx 5 \cdot 10^{-4}$, wytrzymałość dielektryczna $E_p \approx 8 \text{ MV/cm}$, zaś przy $\frac{N_{O_2}}{N_{SiO}} = 1$ przenikalność dielektryczna $\epsilon \approx 5,5$, tangens kąta strat $\text{tg } \delta \approx 30 \cdot 10^{-4}$, wytrzymałość dielektryczna $E_p \approx 4,5 \text{ MV/cm}$.

Powyżej górnej granicy omawianego przedziału występuje gwałtowny wzrost tangensa kąta strat i tak:

$$\text{przy } \frac{N_{O_2}}{N_{SiO}} = 60 \text{ tangens kąta strat } \text{tg } \delta \approx 30 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{przy } \frac{N_{O_2}}{N_{SiO}} = 80 \text{ tangens kąta strat } \text{tg } \delta \approx 60 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{przy } \frac{N_{O_2}}{N_{SiO}} = 100 \text{ tangens kąta strat } \text{tg } \delta \approx 120 \cdot 10^{-4}$$

Dodatkowym ograniczeniem użytecznego przedziału parametrów procesu technologicznego jest ciśnienie tlenu w komorze próżniowej. Ciśnienie to nie może być wyższe niż $2 \cdot 10^{-4}$ Tr. Przy wyższych bowiem ciśnieniach obserwuje się gwałtowny wzrost tangensa kąta strat, który w skrajnych przypadkach osiągnąć może wartość 10^{-2} , oraz tendencję do łuszczenia się warstwy dielektryku.

Proces należy prowadzić bez dodatkowego ogrzewania podłoża. Podczas całego procesu naparowywania musi być utrzymywana stała jego szybkość regulowana automatycznie lub ręcznie na podstawie wskazań kwarcowego lub jonizacyjnego miernika szybkości naparowywania.

Po naparowaniu warstwy dielektryku następuje zmiana masek mechanicznych na maski odwzorowujące kształt drugiej okładki oraz naparowania drugiej okładki kondensatora. Operacja ta wykonywana jest identycznie jak operacja naparowywania pierwszej (dolnej) okładki kondensatora. Tak otrzymany kondensator należy poddać obróbce termicznej w temperaturze powyżej 350°C w atmosferze powietrza przez okres czasu zależny od temperatury obróbki. Przy temperaturze 450°C wystarczająca jest obróbka 1-godzinna.

Struktura zostaje skompletowana przez naparowanie przez odpowiednie maski mechaniczne warstw kontaktowych normalnie stosowanych i umożliwiających lutowanie lub inny sposób montażu.

Następną operacją technologiczną jest regeneracja słabych miejsc, którą wykonuje się poprzez obciążenie każdego kondensatora napięciem przekraczającym ponad czterokrotnie wartość napięcia pracy, ze źródła dostarczającego w przypadku wystąpienia przebicia impulsy prądowe określonej mocy. Podczas regeneracji górna okładka kondensatora musi być spolaryzowana dodatnio.

Po procesie regeneracji na czynną część kondensatora (tzn. tę część, w której dielektryk znajduje się pomiędzy okładkami kondensatora) należy nanieść warstwę pasywacyjną, np. metodą napyłania katodowego prądami wielkiej częstotliwości warstwę teflonu przez odpowiednią maskę mechaniczną.

Przedstawiony wynalazek umożliwia powtarzalne wykonywanie kondensatorów cienkowarstwowych o wysokiej niezawodności i następujących parametrach: przenikalność dielektryczna $\epsilon \approx 4,25$ tangens kąta strat $\text{tg } \delta \approx (2 \div 10) \cdot 10^{-4}$, wytrzymałość dielektryczna $E_p = 5 \text{ MV/cm}$, temperaturowy współczynnik pojemności $\text{TWC} \leq 150 \cdot 10^{-8}/^\circ\text{C}$.

Kondensatory wykonane według opisanej technologii posiadają stabilność lepszą niż 0,1% na 1000 godzin pod napięciem równym podwojonemu napięciu nominalnemu i temperaturze 70°C .

Według niniejszego wynalazku wykonywane są kondensatory dyskretne tzn. kondensatory wykonane w po-

staci oddzielnych elementów, do układów hybrydowych cienkowarstwowych. Tok postępowania jest następujący:

Płytki podłożowe szklane o wymiarach 20×30 mm poddawane są starannemu myciu. Następnie w odpowiednim uchwycie płytka razem z maską określającą kształt pierwszej okładki kondensatora zostaje umieszczona na czaszy sferycznej w komorze próżniowej, po czym następuje naparowanie warstwy aluminium.

Po naparowaniu maska zostaje zamieniona na maskę określającą kształt dielektryka, a źródło pary — na źródło umożliwiające wyparowanie monotlenku krzemu. Konkretnie do tego celu stosowane jest źródło kominowe Drumhlera. Komora próżniowa, w której jest naparowywana warstwa monotlenku krzemu, wyposażona jest w karuzelę i wirującą w przeciwnym kierunku przesłonę o kształcie zapewniającym równomierną grubość warstwy w granicach 15%.

W tak wyposażonej komorze próżniowej zostają naparowane jednocześnie 64 płytki, z których każda zawiera 96 kondensatorów, co daje łącznie 6144 kondensatory o pojemności do 100 pF i napięcia pracy 24 V. W przypadku kondensatorów o wyższej pojemności ich liczba na jednej płytce o wymiarach 20×30 mm ulega zmniejszeniu.

Sam proces naparowania dielektryku jest prowadzony w następujący sposób. Po odpompowaniu komory próżniowej do ciśnienia 10^{-5} Tr rozpoczyna się proces odgazowywania źródła pary. Stopniowaniu rozgrzewaniu źródła pary towarzyszy pogarszanie się próżni. Odgazowywanie źródła przy stopniowym podnoszeniu jego temperatury jest prowadzone aż do osiągnięcia próżni $5 \cdot 10^{-6}$ Tr, co trwa od 10 do 50 min., zależnie od tego, czy parowanie z danego załadowania źródła pary jest parowaniem pierwszym, czy jednym z dalszych. W przypadku parowania pierwszego czas odgazowania jest dłuższy.

Przez cały czas odgazowywania źródło jest zasłonięte przesłoną. Po odgazowaniu źródła pary, przez zawór dawkujący umieszczony na szczycie komory zostaje wpuszczony do komory próżniowej tlen techniczny. Po ustabilizowaniu się ciśnienia 10^{-4} Tr przesłona zakrywająca źródło pary zostaje usunięta, a szybkość naparowywania, mierzona za pomocą układu z rezonatorem

kwarcowym umieszczonym centralnie na szczycie komory próżniowej, jest utrzymywana na poziomie $0,1-0,3$ $\mu\text{m}/\text{sek}$. Proces jest prowadzony aż do momentu naparowania warstwy dielektryku o grubości 600 μm .

Po zakończeniu parowania warstwy dielektryku następuje zamiana maski na maskę określającą kształt drugiej okładki kondensatora i następnie naparowanie warstwy aluminium. Płytki z naparowaną strukturą są wkładane do komory termicznej o temperaturze 450°C na okres 1 godz. Po zakończeniu obróbki termicznej i wystygnięciu płytek z naparowaną strukturą są one ponownie wkładane, razem z maskami określającymi kształt lutowalnych kontaktów, do komory próżniowej, w której następuje naparowanie kontaktu o strukturze chrom lub nichrom-złoto.

Tak wykonane kondensatory poddawane są procesom: regeneracji napięciem 100 V oraz napyłania warstwy pasywacyjnej teflonu.

Następną operacją jest cynowanie kontaktów i cięcie całej płytki na poszczególne elementy. Z kolei następuje sprawdzenie tolerancji pojemności, wielkości i stabilności prądu upływu. Prąd upływu kondensatorów zakwalifikowanych jako dobre nie może przekraczać i μA przy napięciu 50 V.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania stabilnych kondensatorów cienkowarstwowych naparowywanych próżniowo o strukturze — warstwa aluminium — warstwa dielektryka — warstwa aluminium — warstwa kontaktowa, z warstwą dielektryka otrzymaną przez naparowanie próżniowe monotlenku krzemu, **znamienny tym**, że proces naparowywania dielektryka jest prowadzony w ściśle określonym obszarze zmienności stosunku liczby molekuł tlenu do liczby molekuł monotlenku krzemu jednocześnie uderzających w podłoże, który wynosi od 8 do 50.

2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że naparowywanie prowadzi się w obecności tlenu lub innego gazu utleniającego, a szybkość naparowywania jest ściśle kontrolowana.

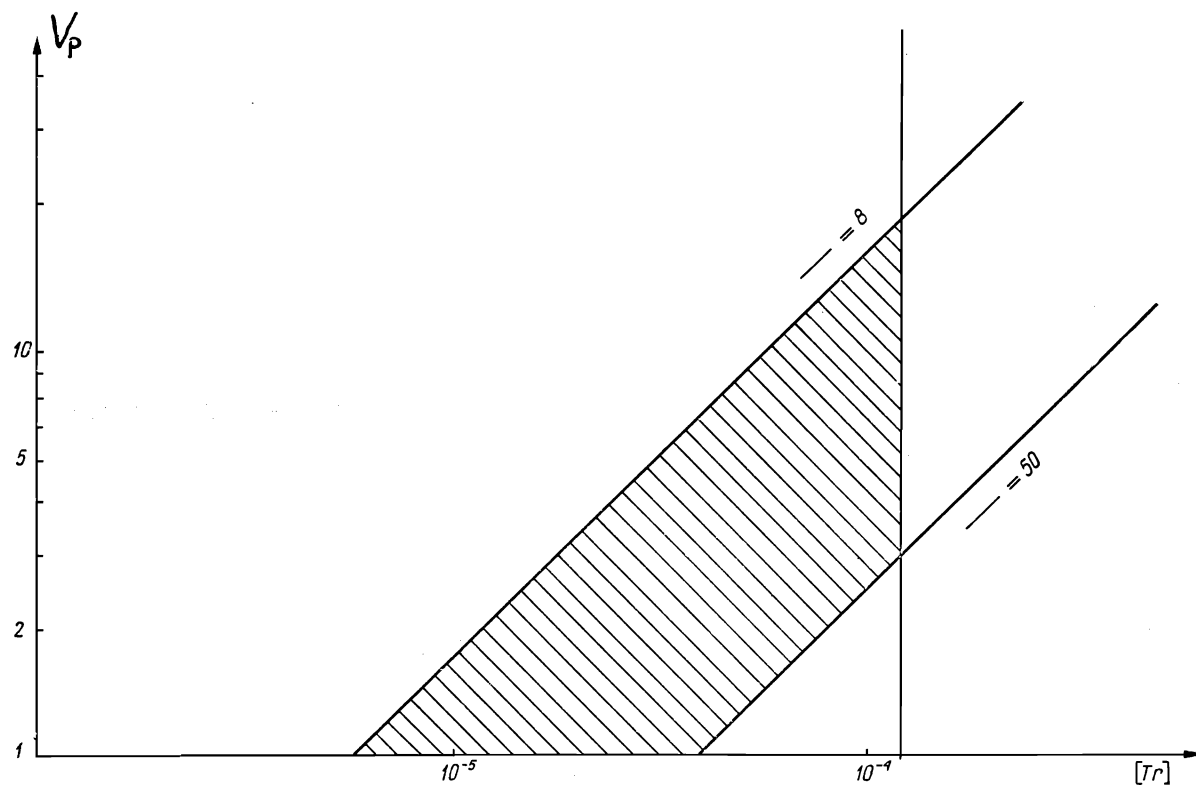


Fig 1

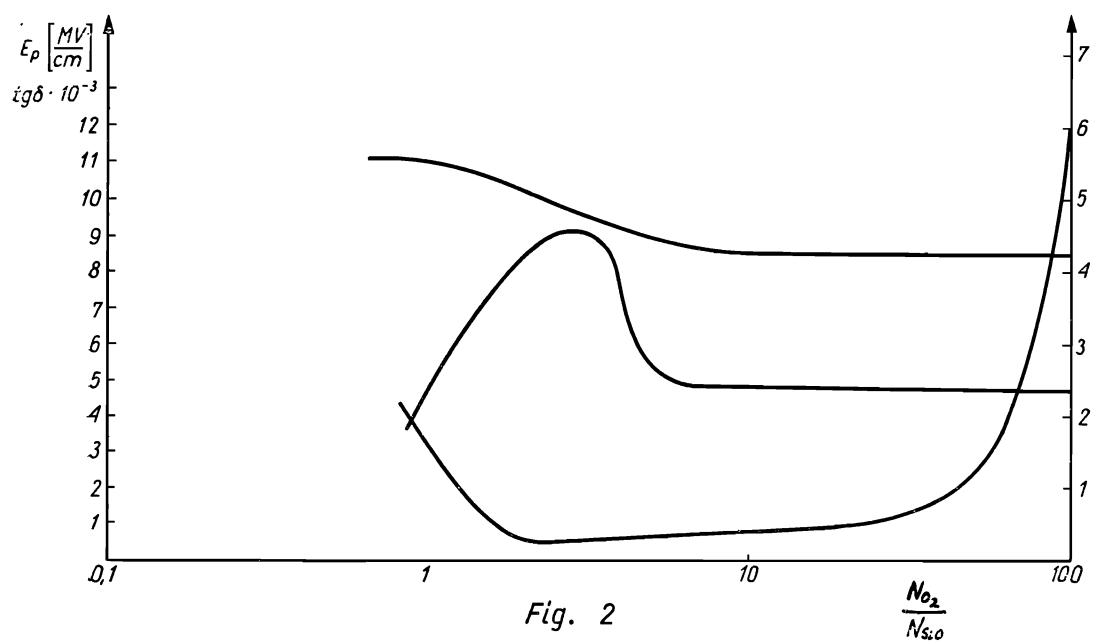


Fig. 2