

Technologia wytwarzania układów scalonych (US) WYK. 17– SMK

Na podstawie: W. Marciniak, Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone, WNT, 1987

1. Historia US

J. Kilby, Texas Instruments, 1958 – przerzutnik technologią mesa, Noyce, Fairchild, poszczególne elementy oddzielone dyfuzyjnymi złączami p-n. J.A. Hoerni – maskująca warstwa SiO₂. Mikroelektronika – dziedzina nauki i techniki zajmująca się zminiaturyzowanymi układami elektronicznymi, realizowanymi w postaci scalonej: układy scalone, układy funkcjonalne.

Układ scalony: układ elektroniczny, którego wszystkie lub część elementów wykonane są nierozłącznie wewnątrz lub na powierzchni wspólnego podłoża; ma strukturę topologiczną (schemat elektryczny).

Przyrząd funkcjonalny: przyrząd realizujący funkcję układową, mający strukturę morfologiczną (np. kryształ kwarcu - LC, dioda Reada – lawinowo-przelotowa, n⁺pip⁺, generator Gunna - TE).

Układy scalone półprzewodnikowe – PUSC - (monolityczne): bipolarne i unipolarne (MOS, MIS), warstwowe - WUSC: cienkowarstwowe - <2 μm, grubowarstwowe - >2 μm i hybrydowe.

- PUSC – elementy czynne i bierne wykonane w monolitycznej płytce półprzewodnika

- WUSC – zawiera elementy bierne w postaci warstw, czynne elementy są dolutowywane

Stopień integracji:

SSI – Small Scale Integration – do 10 komórek elementarnych w jednej strukturze US

MSI – Medium Scale Integration – do 100 komórek

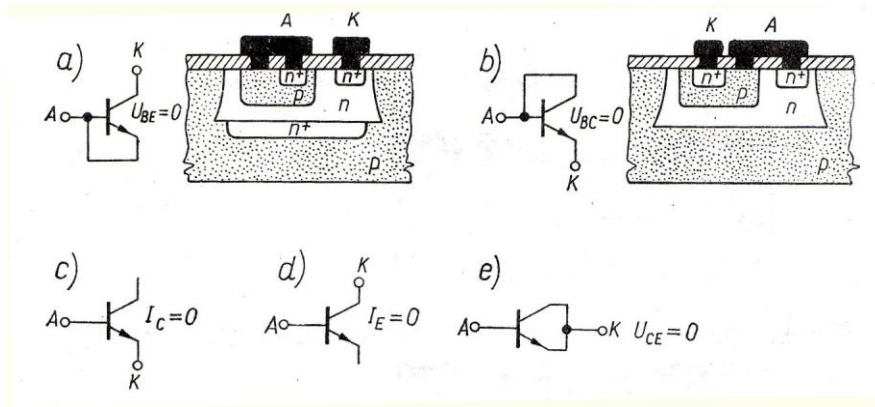
LSI – Large Scale Integration - > 100 komórek

VLSI – Very Large Scale Integration - >100 000 elementów w jednej strukturze

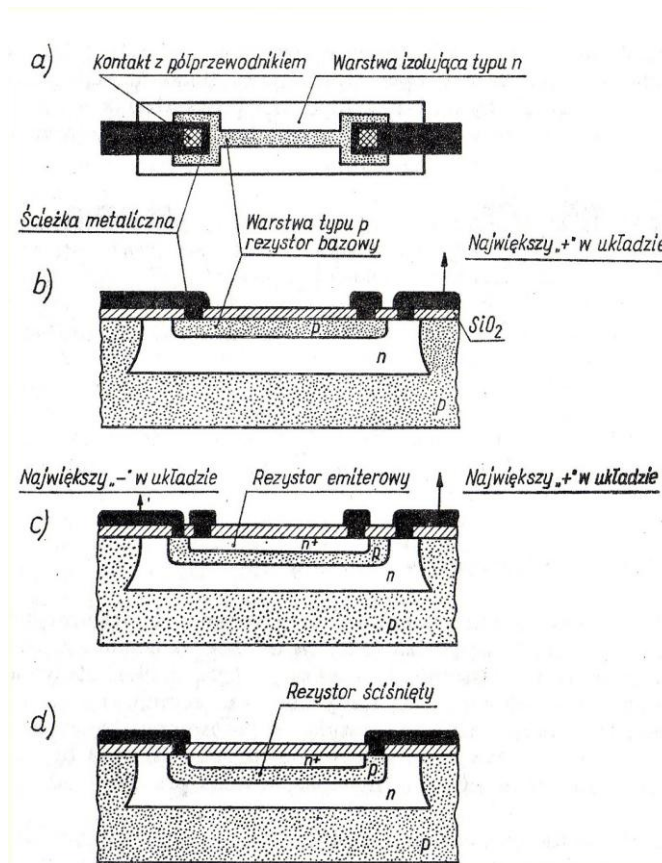
Układy scalone analogowe i cyfrowe.

2. Technologia PUSC

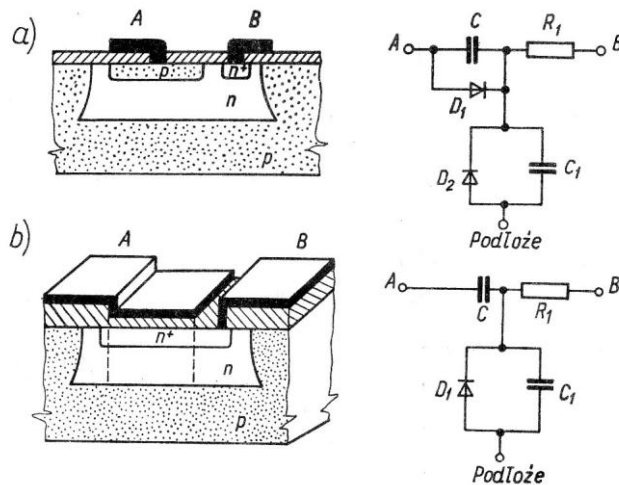
a). PUSC bipolarne



Na podłożu krzemowym technologią epiplanarną. Każdy element w odizolowanej wyspie, połączony z innymi za pomocą ścieżek metalizacji. Każde dwie wyspy razem z podłożem tworzą dwa złącza p-n połączone szeregowo przeciwstawne. Polaryzacja podłoża napięciem ujemnym daje oba złącza spolaryzowane zaporowo – izolacja złączowa (dielektryczna, mieszana). Po testowaniu płytkę krzemową tnie się na mikroplątki rysując ją ostrzem diamentowym lub tnąc laserem. W kolejności mikromontaż: lutowanie do obudowy, termo kompresja – łączenie pól kontaktowych z nóżkami obudowy, hermetyzacja – zalanie w żywicy. Na końcu kontrola parametrów elektrycznych i wykonanie napisów na obudowach.



W tej technologii wykonuje się: **tranzystory monolityczne** (npn) z warstwą zagrzebaną (zmniejsza R_S kolektora), **diody** (wykorzystanie złącza p-n tranzystora): na złączu kolektor-baza (przy emiterze zwartym lub rozwartym z bazą) lub na złączu emiter-baza (przy kolektorze zwartym lub rozwartym z bazą), **rezystory**: warstwy dyfuzyjne, wykonywane jednocześnie z poszczególnymi obszarami tranzystora (warstwa podłoża, warstwa epitaksjalna, obszaru bazy oraz obszaru emitera, **kondensatory** – złącza p-n spolaryzowane zaporowo lub struktury MOS lub MIM



b) PUSC unipolarne

Na podłożu krzemowym technologią epiplanarną. Głównie tranzystory IGFET (MIS), z kanałami wzbogacającym i zubożającym, typu n i p. Prostsza technologia, większa gęstość upakowania, niekonieczne wyspy izolujące, znacznie mniejszy pobór mocy, ale szybkość działania dużo mniejsza. Technologia PMOS (z kanałem wzbogacającym typu p), NMOS (z kanałem wzbogacającym typu n). Inplantacja lokalna w celu wbudowania kanału - otrzymania tranzystora zubożanego. Technologia CMOS, z wyspami izolacyjnymi – dwa komplementarne tranzystory z kanałami typu p i n. Technologia VLSI – jednoczesne proporcjonalne zmiany parametrów geometrycznych tranzystora. Technologia DMOS – double diffused MOS. Technologia VMOS – V groove MOS – w kierunku $\{100\}$ szybkość trawienia 30 razy większa niż w $\{111\}$.

Tranzystory MIS jako elementy pamięci stałej – trwałe magazynowanie ładunku w niektórych strukturach MIS. Tranzystory MNOS – Metal-Nitrid-Oxide-Semiconductor, MAOS – Metal-Alumina-Oxide-Semiconductor lub FAMOS – Floating gate Avalanche-Injection MOS (tranzystor z bramką swobodną). Ładunek zmagazynowany w stanach pułpkowych na granicy warstw $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiO}_2$ pod aluminium elektrodą bramki zmienia się pod wpływem U_{GS} w efekcie tunelowania nośników do lub z półprzewodnika przez cienką (nm) warstwę SiO_2 .

c). WUSC

Układy cienkowarstwowe

Nanoszenie w próżni (naparowywanie cieplne, napyłarka: warstwy aluminium, nichromu, złota i tlenku krzemu lub rozpylanie katodowe: warstwy tantalu) cienkich warstw przewodzących, rezystancyjnych i dielektrycznych na bierne podłoże izolacyjne: rezystory, kondensatory. Tranzystory i diody wytwarza się w oddzielnym procesie i montuje indywidualnie w strukturze układu cienkowarstwowego – budowa hybrydowa.

Układy grubowarstwowe

Nanoszenie warstw przewodzących, rezystancyjnych i dielektrycznych na bierne podłoże izolacyjne metodą sitodruku (Stalowe sita z maską emulsyjną. Pastę o odpowiednim składzie przeciska się przez oczka sita i osadza na podłożu): rezystory, kondensatory. Tranzystory i diody oddzielnie.

Technologia półprzewodnikowa bezkonkurencyjna pod względem stopnia scalenia i gęstości upakowania. PUSC są najtańsze przy produkcji wielkoseryjnej. Ograniczenie asortymentu.

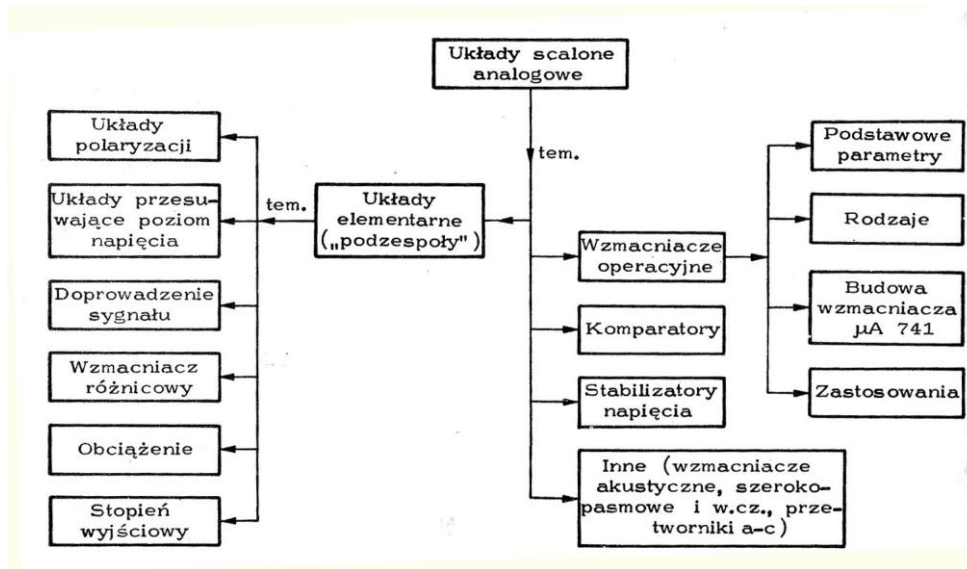
Technologie warstwowe do produkcji niestandardowych układów o niewielkim zapotrzebowaniu. Układy wymagające wysokiej jakości elementów biernych.

Układy grubowarstwowe stosowane są w sprzęcie powszechnego użytku, cienkowarstwowe w sprzęcie profesjonalnym. Układy mikrofalowe w technologii cienkowarstwowej.

Układy scalone hybrydowe przeznaczone do zastosowań profesjonalnych i specjalnych.

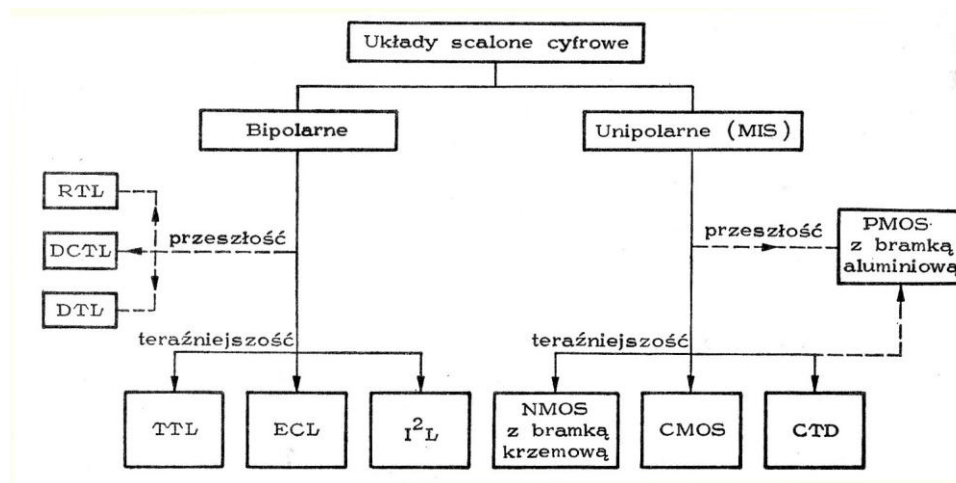
3. USC analogowe

Liniowe, głównie technologią PUSC. Fragmenty USCA: źródła prądowe, napięciowe, obwody polaryzacji, stopnie wejściowe i wyjściowe. USCA: **wzmacniacze operacyjne** (1965) – bardzo duże wzmocnienie (60 dB), możliwość wzmacniania napięć stałych i zmiennych oraz odwrócenie fazy sygnału wy.we, stosowane w maszynach analogowych do dodawania, mnożenia przez wartość stałą, całkowania, różniczkowania; **komparatory** – układy wytwarzające na wyjściu napięcia odpowiadające poziomom logicznym 0 lub 1 w zależności od znaku różnicy napięć na wejściu; **stabilizatory napięcia, wzmacniacze akustyczne, wzmacniacze szerokopasmowe i dla zakresu w.cz., układy analogowo-cyfrowe.**



4. USC cyfrowe

Wykonują operacje na sygnałach cyfrowych, dwójkowych, zawierając dużo powtarzalnych podzespołów.



a). USCC bipolarne – duże komputery (szybkość działania)

RTL – Resistor-Transistor Logic – układy rezystorowo-tranzystorowe,

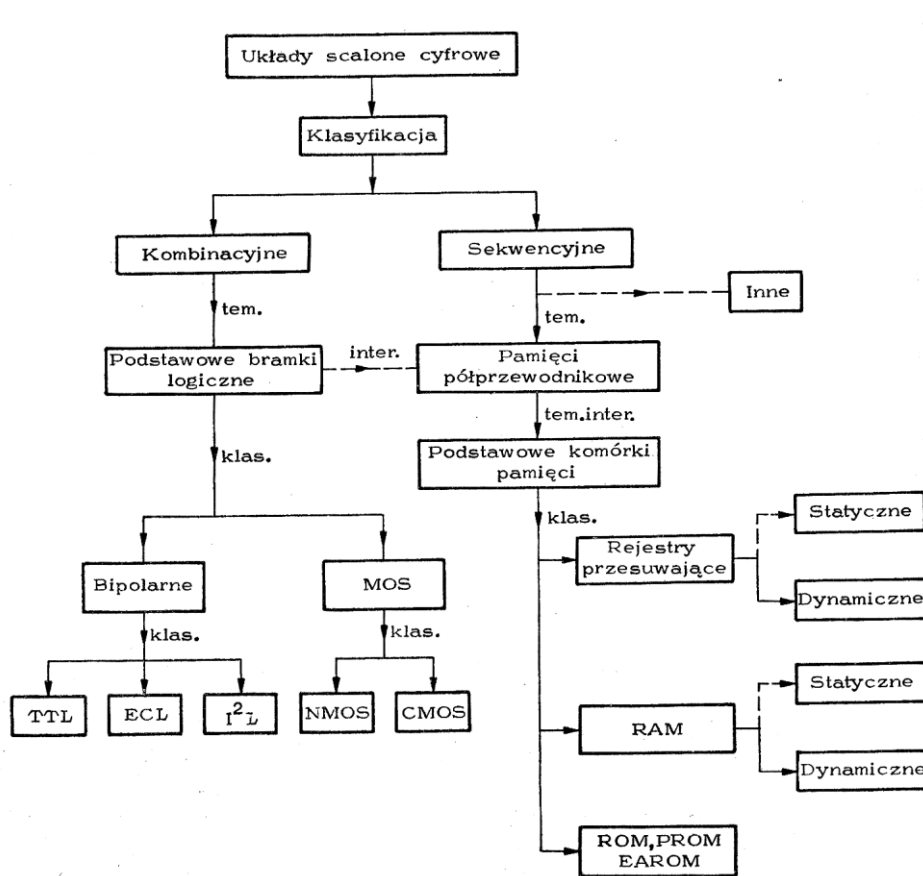
DCTL – Direct-Coupled Transistor Logic – układy z tranzystorami sprzężonymi bezpośrednio,

DTL – Diode-Transistor-Logic – układy diodowo-tranzystorowe,

TTL – Transistor-Transistor Logic – mały i średni stopień scalenia

ECL – Emitter-Coupled Logic – układy z tranzystorami o sprzężonych emiterach, układy bardzo szybkie o małym i średnim stopniu scalenia

I²L – Integrated Injection Logic – układy iniekcyjne



b). USCC unipolarne – kalkulatory, zegarki elektroniczne, przenośny sprzęt powszechnego użytku

PMOS – USCC z tranzystorów z kanałem p (kalkulatory)

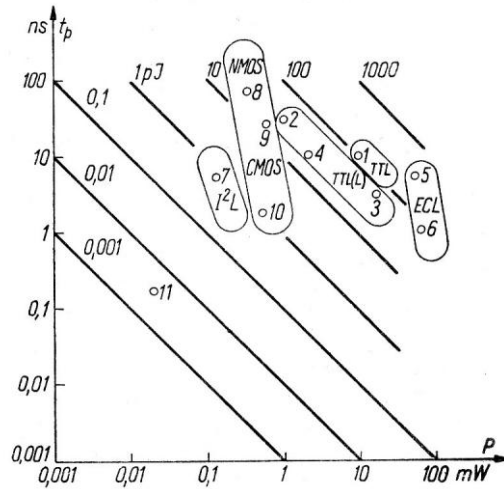
NMOS – USCC z tranzystorów z kanałem n i z bramką krzemową

CMOS – USCC z tranzystorów komplementarnych MOS, mały pobór mocy, duża odporność na zakłócenia,

CTD – Charge-Transfer-Devices – przyrządy z przenoszeniem ładunku, CCD – przetworniki obrazu

Podstawowe układy logiczne (algebra Boole’a, OR, AND, NOT) – układy realizujące funkcje NAND i NOR – bramki logiczne. Bramki logiczne bipolarne oraz MOS. Porównanie bramek

logicznych na podstawie wartości iloczynu czasu propagacji przez straty mocy w pojedynczej bramce. Techniki realizacji układów logicznych od najgorszej do najlepszej: ECL, TTL, MOS, I²L. Największe szybkości działania – ECL. Najmniejszy pobór mocy – MOS oraz I²L, także największe upakowanie i scalenie. Najmniejsze marginesy zakłóceń – MOS.



Układy o małym i średnim stopniu scalenia – TTL. Układy o dużym stopniu scalenia – NMOS. Układy bardzo szybkie – ECL. Układy bardzo odporne na zakłócenia – CMOS

5. Pamięci półprzewodnikowe

Półprzewodnikowy układ scalony, przeznaczony do przyjmowania i wydawania informacji zakodowanej w systemie dwójkowym (pojemność szybkość działania, pobór mocy). Bipolarne, unipolarne. Ulotne, nieulotne. Statyczne i dynamiczne.