

Skalowanie układów scalonych

Technologia mikroelektroniczna

Charakterystyczne parametry

- najmniejszy realizowalny rozmiar (*ang. feature size*),
- liczba bramek (układów) na jednej płytce,
- wydzielana moc,
- maksymalna częstotliwość pracy,
- wymiar płytki (powierzchnia struktury),
- koszty produkcji.



Wzrost stopnia scalenia można uzyskać poprzez :

- zwiększanie powierzchni struktury
 - do tej pory następował powoli
- nowe rozwiązania układów elementarnych
 - od wielu lat nie są wprowadzane
- zmiany reguł projektowania z uwagi na zmniejszanie wymiarów charakterystycznych
 - są głównym czynnikiem wzrostu stopnia scalenia



Zmniejszanie wymiarów
topografii układu scalonego
nazywane jest procesem
skalowania



Modele skalowania

Proporcjonalne zmiany pewnych parametrów pozwalają zachować np. stałe natężenie pola elektrycznego



stopniowa miniaturyzacja przyrządów nie zmienia warunków fizycznych ich pracy



można stosować te same modele opisujące działanie przyrządów



Modele skalowania

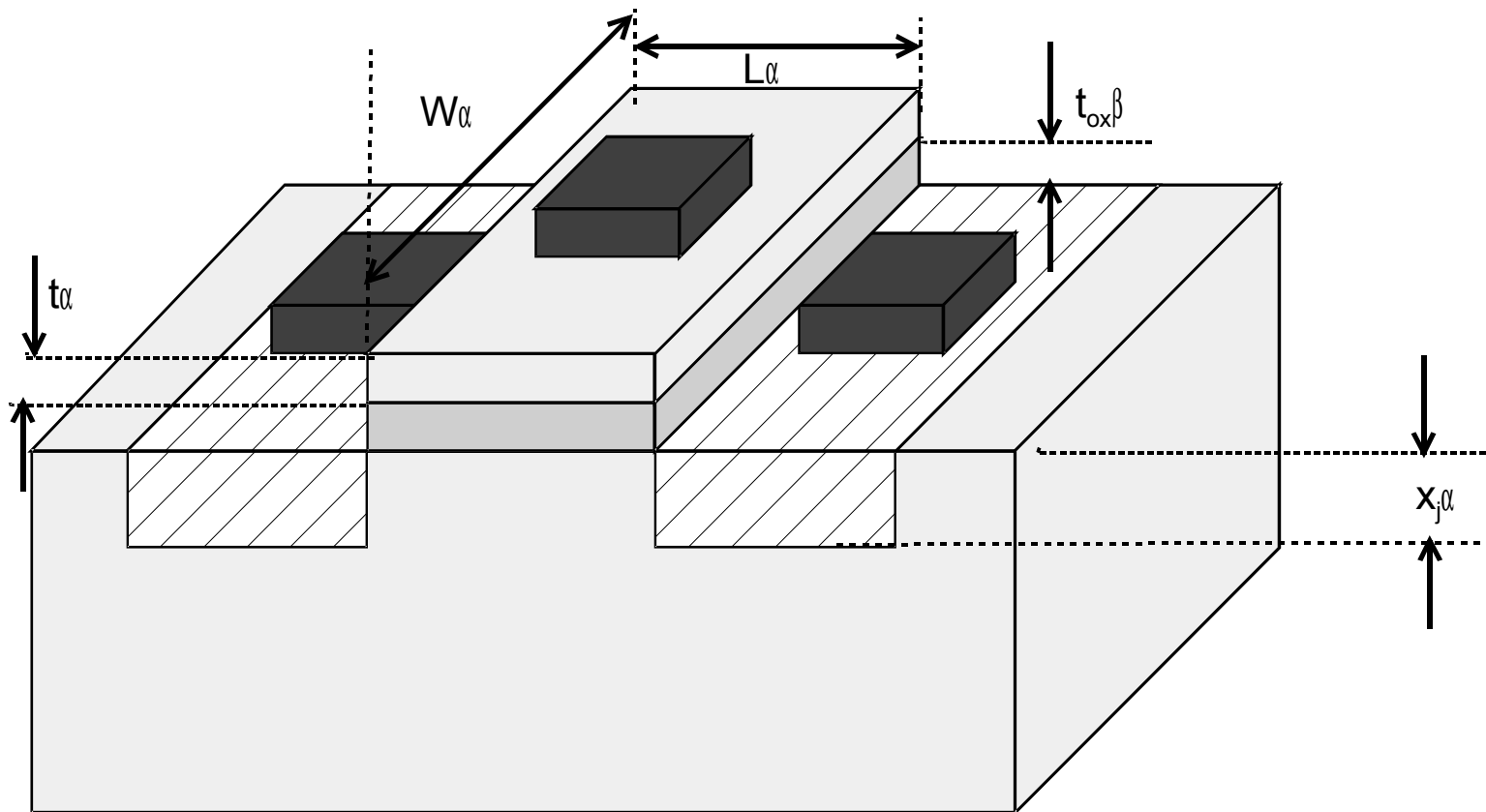
1. Model stałego natężenia pola elektrycznego

Oparty na warunku zachowania stałego pola

- wszystkie wymiary liniowe - poziome i pionowe oraz napięcia są pomnożone przez ten sam współczynnik zwany współczynnikiem skalowania α
- zmiana α razy napięć polaryzujących i $1/\alpha$ razy koncentracji domieszek powoduje zmianę α razy szerokości warstw zubożonych

2. Model stałego napięcia zasilania

Skalowanie tranzystora MOS





Technologia GaAs

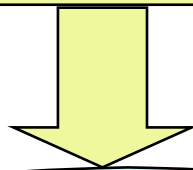
Szybkość i rozmiar przyrządów półprzewodnikowych są ściśle ze sobą związane

ograniczona ruchliwość nośników

240 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ dla dziur
650 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ dla elektronów



Nasycenie prędkości nośników jest zjawiskiem ograniczającym prędkość przyrządów półprzewodnikowych wykonanych w technologii krzemowej



związki III i V oraz II i VI grupy układu okresowego.

arsenek galu (GaAs)

związki III-V

- ◆ fosforek galu
- ◆ azotek galu

pierwiastki IV grupy

- ◆ krzemogerman
- ◆ węgiel krzemu (SiC)



Arsenek galu może być wykorzystany w przypadku układów wymagających bardzo dużej prędkości działania.

Obecnie jest on stosowany głównie

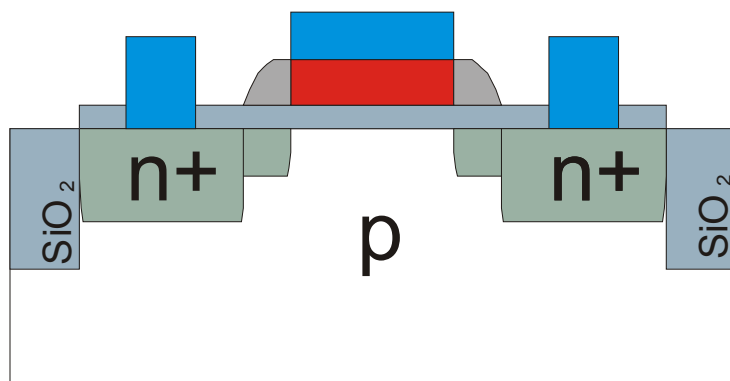
- w układach mikrofalowych
- układach cyfrowych



Zalety GaAs

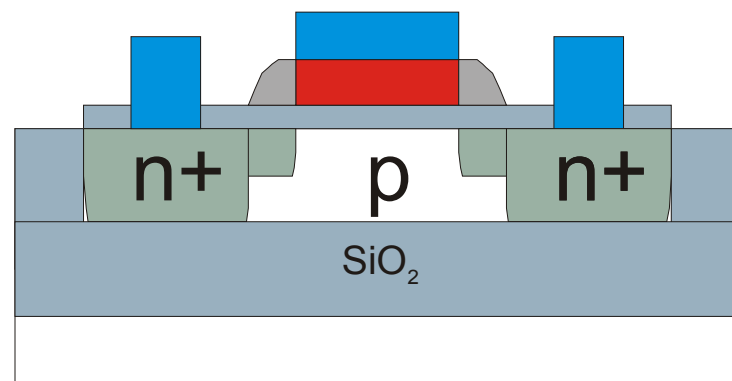
- ◆ duża ruchliwość elektronów
6÷7 razy większa niż w krzemie
- ◆ półizolacyjne podłoże
- ◆ 1.4 raza większa prędkość nasycenia nośników
niż w krzemie
- ◆ dobre własności optoelektryczne
- ◆ odporność na promieniowanie
- ◆ szerszy zakres temperatur pracy
- ◆ małe straty mocy

Technologia Silicon on Insulator (SOI) Struktura



a)

tranzystor NMOS ze
ścianami izolacyjnymi



b)

tranzystor NMOS w technologii SOI



Technologia SOI

Przyrządy półprzewodnikowe wykonuje się w cienkiej warstwie krzemu oddzielonej od podłoża grubą warstwą tlenku zagrzebanego

Pełna izolacja przyrządów od podłoża i od siebie nawzajem

O odległości między nimi decyduje fotolitografia



Zastosowanie technologii SOI

- ◆ urządzenia przenośne, jak telefony komórkowe, w których niskie zużycie energii jest bardzo istotne
- ◆ układy Smart Power ze względu na dobrą izolację
- ◆ układy pamięci RAM ze względu na dużą odporność na promieniowanie.



Technologia węgliku krzemu (SiC)

Graniczna temperatura pracy

- ◆ klasycznych przyrządów krzemowych wynosi ok. 300°C
- ◆ przyrządów MOS-SOI 400°C.

Wszędzie tam, gdzie temperatura pracy przyrządu przekracza te wartości musimy sięgać po GaAs lub węglik krzemu



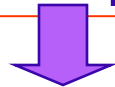
Własności węgliku krzemu (SiC)

- Porównywalna z krzemem ruchliwość elektronów
- dwukrotnie większa prędkość nasycenia nośników
- trzykrotnie większa przewodność cieplna

stanowią podstawę do wytwarzania przyrządów, które mogą pracować przy dużej gęstości mocy i przy dużych częstotliwościach

Własności węgla krzemu (SiC)

- Jeden z najtwardszych znanych materiałów
- Duża stabilność termiczna i chemiczna
- Pola przebicia ~ 10x większe niż w krzemie
- Płytki podłożowe dostępne komercyjnie
- Możliwość wytwarzania wysokiej jakości tlenku SiO_2
- Materiał podłożowy dla przyrządów III/V grupy



- Możliwość pracy w zakresie do 600 °C
- Parametry przyrządów pracujących w układach dużej mocy, wysokiej częstotliwości kilkaset razy lepsze niż krzemowych (teoretycznie)



Technologia azotku galu (GaN)

W technologii azotku galu produkuje się komercyjnie diody świecące (LED).

Technologia ta umożliwia wykonanie tranzystorów mocy pracujących w zakresie mikrofalowym, wytwarzanych na podłożu z węgla krzemu (ze względu na jego wysoką przewodność cieplną).

Technologia azotku galu (GaN)

Zastosowania komercyjne

- diody świecące LED (*light emitting diodes*)
- *GaN based technology*
np. AlInGaP, AlGaN/GaN, AlGaInN

Perspektywy



- Heterozłączone przyrządy mocy AlGaN/GaN pracujące w zakresie mikrofalowym

Technologia krzemogermanu (SiGe)

Si - przerwa energetyczna 1.12 eV

Ge - przerwa energetyczna 0.66 eV

Stop SiGe - przerwa energetyczna

maleje o 7.5 meV na 1% zawartości Ge w Si



Inżynieria szerokości przerwy energetycznej



Technologia krzemogermanu (SiGe)

Tranzystory Si/SiGe HBT mają doskonałe parametry:

- duże wzmocnienie z dobrą liniowością
- niski poziom szumów
- maksymalna częstotliwość pracy do setek GHz

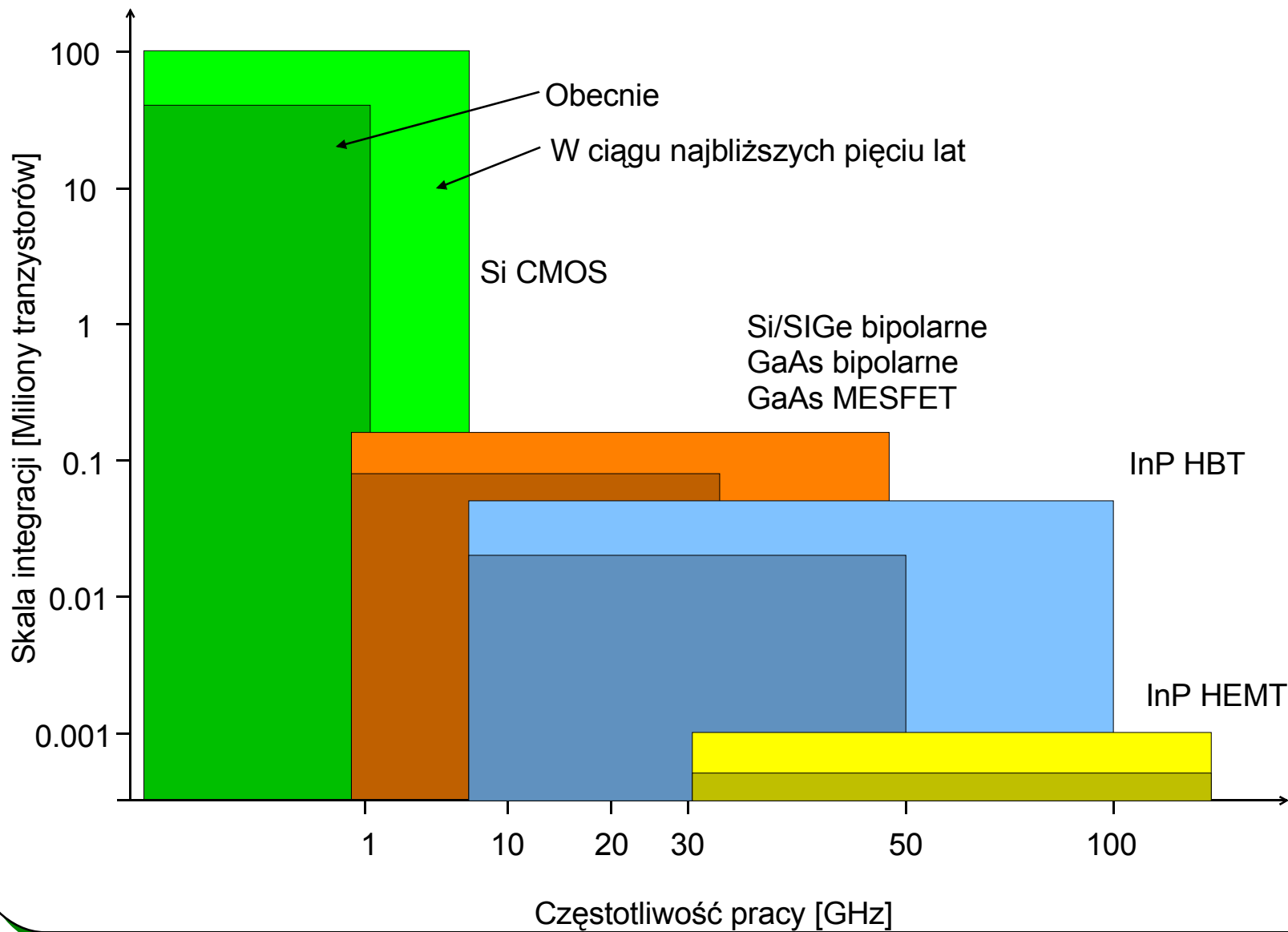
W połączeniu z wysokiej jakości elementami pasywnymi daje to możliwość wykonywania szybkich układów analogowych zastępujących układy GaAs (telefonii komórkowa, sieci bezprzewodowe, GPS).



Technologia fosforu indu (InP)

Zapewnia obecnie najwyższą częstotliwość pracy układów scalonych

Wytwarzane są z niego bardzo szybkie układy elektroniczne i diody laserowe używane m.in.. Do transmisji danych z szybkością setek Gb/s oraz ogniwa słoneczne



Perspektywy

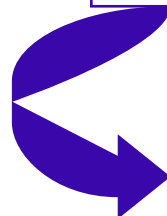
Struktury mieszane

np. SiC+P+GaAs

np. duża moc+duża częstotliwość

SiC+GaN+

C



- ♦ Szerokość przerwy energetycznej 5.5 eV
- ♦ Prąd wsteczny 10^{-89} A (Si - fA)
- ♦ napięcie przebicia 600V (Si – 60V)