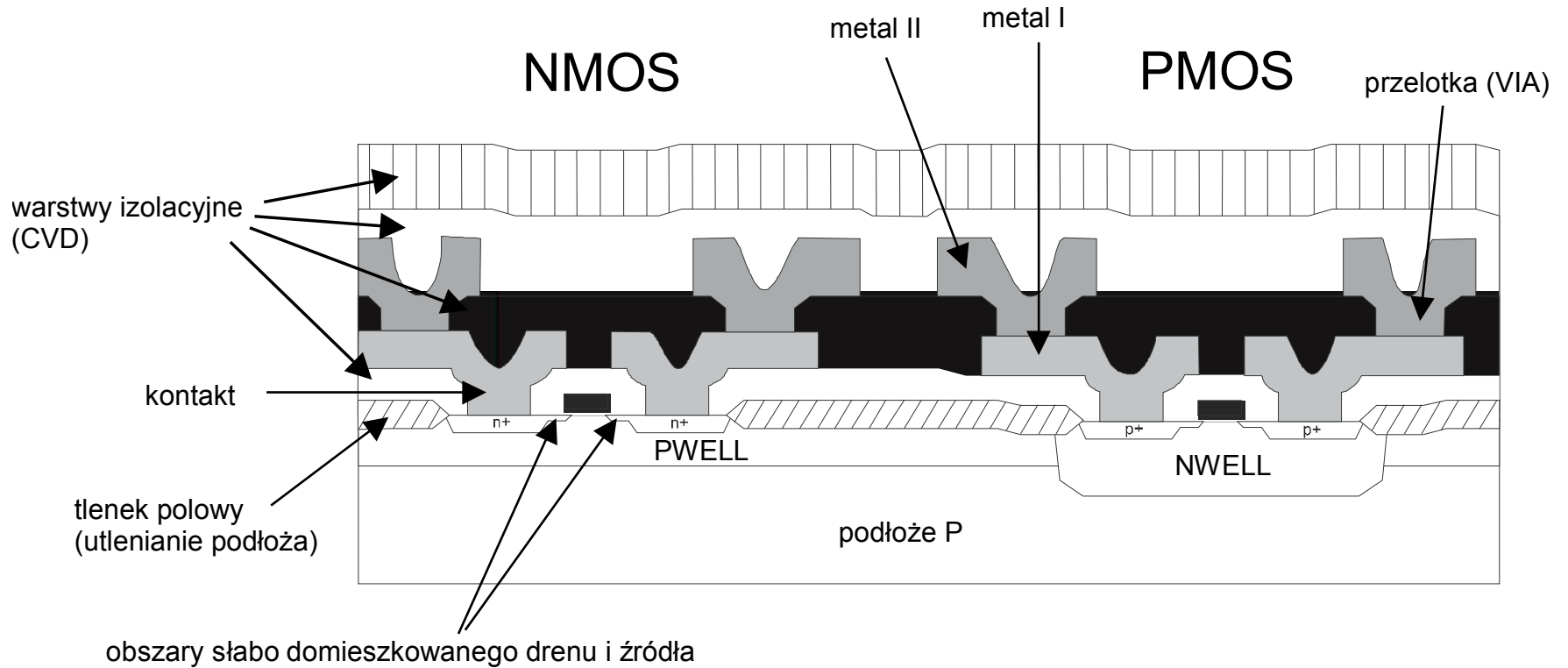
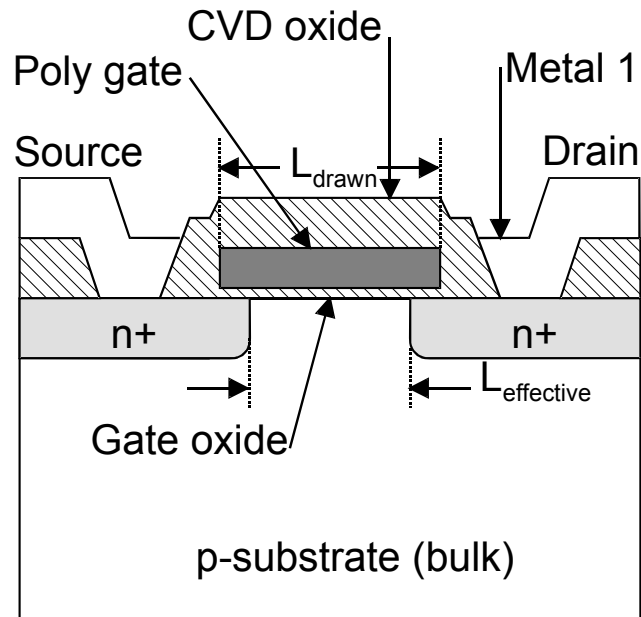


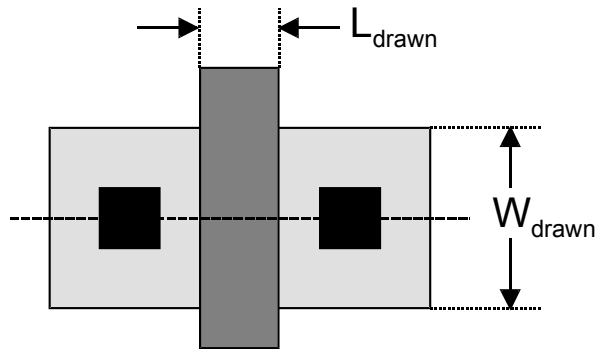
Struktura CMOS



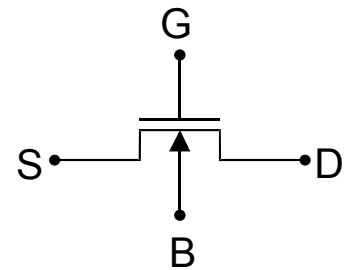
Physical structure



Layout representation

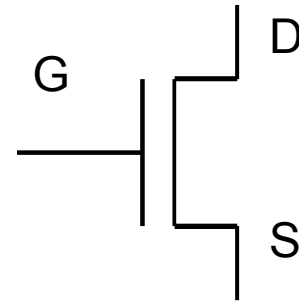
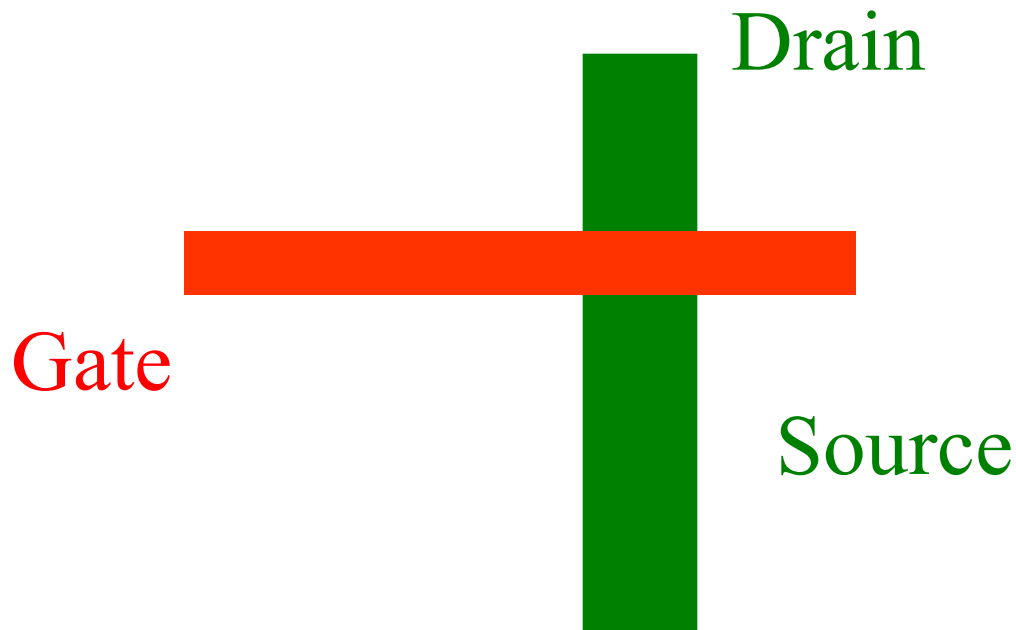


Schematic representation

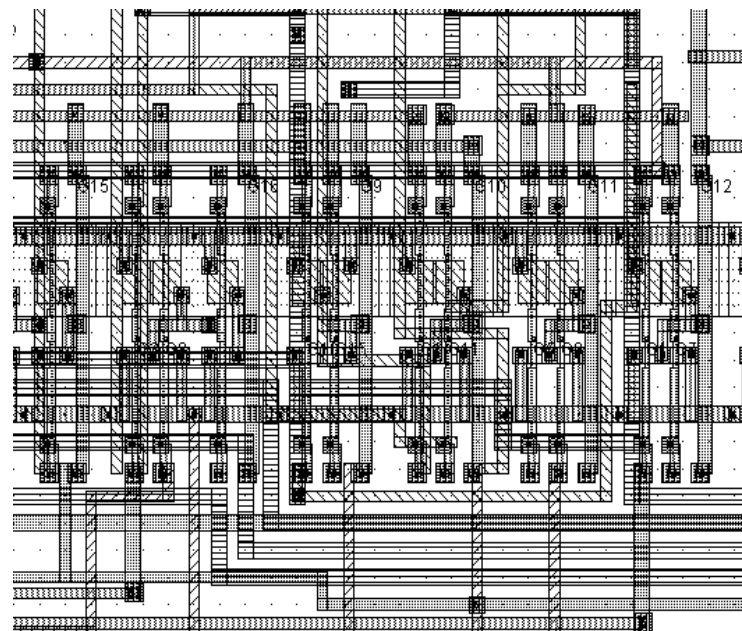
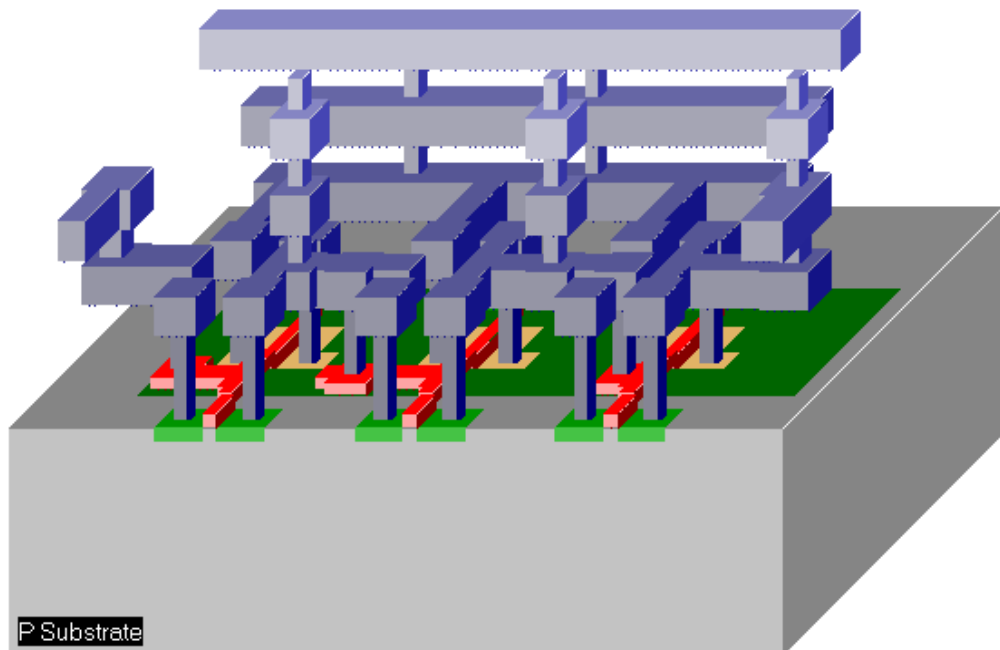


Tranzystor MOS

powstaje w układzie scalonym zawsze gdy nastąpi przecięcie ścieżki polikrzemowej z warstwą dyfuzji



Wytworzone maski stanowią matrycę, która pozwala na powielanie struktury układu na całej powierzchni płytki krzemowej



Technologia krzemowa

Wytwarzanie masek (a,b)

Wytwarzanie płytek krzemowych (c,d)

Wytwarzanie elementów i połączeń (e)

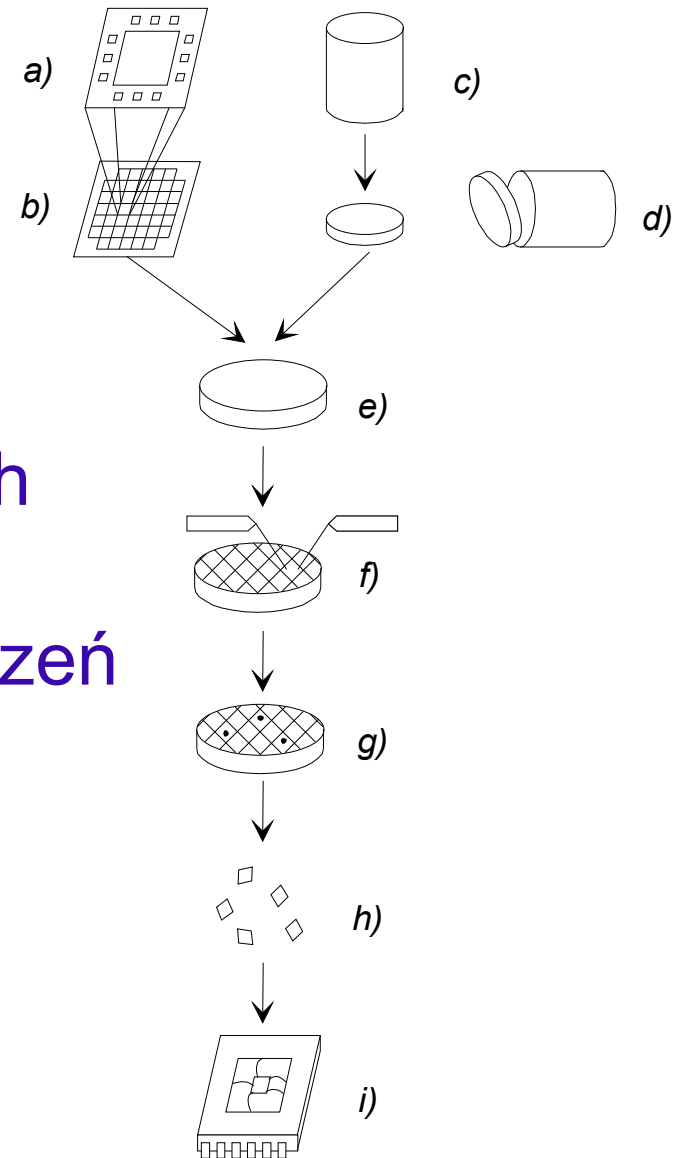
Testowanie ostrzowe (f)

Selekcja płytek (g)

Cięcie płytki (h)

Montaż (i)

Testowanie końcowe



Wytwarzanie płytek krzemowych

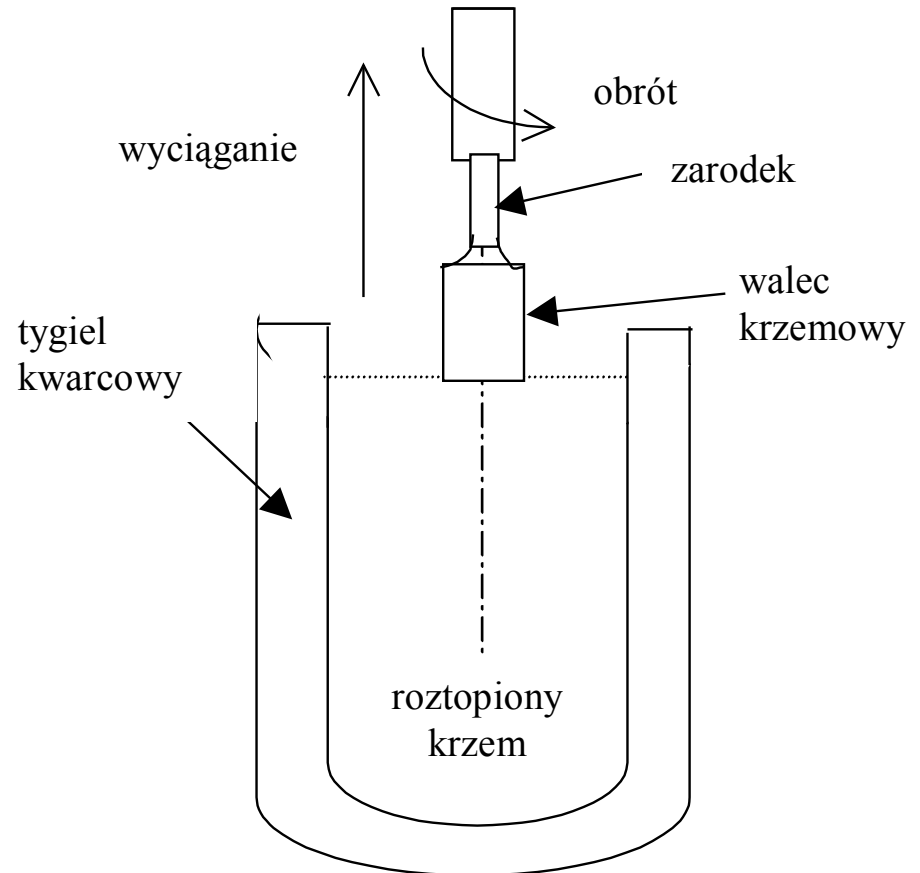
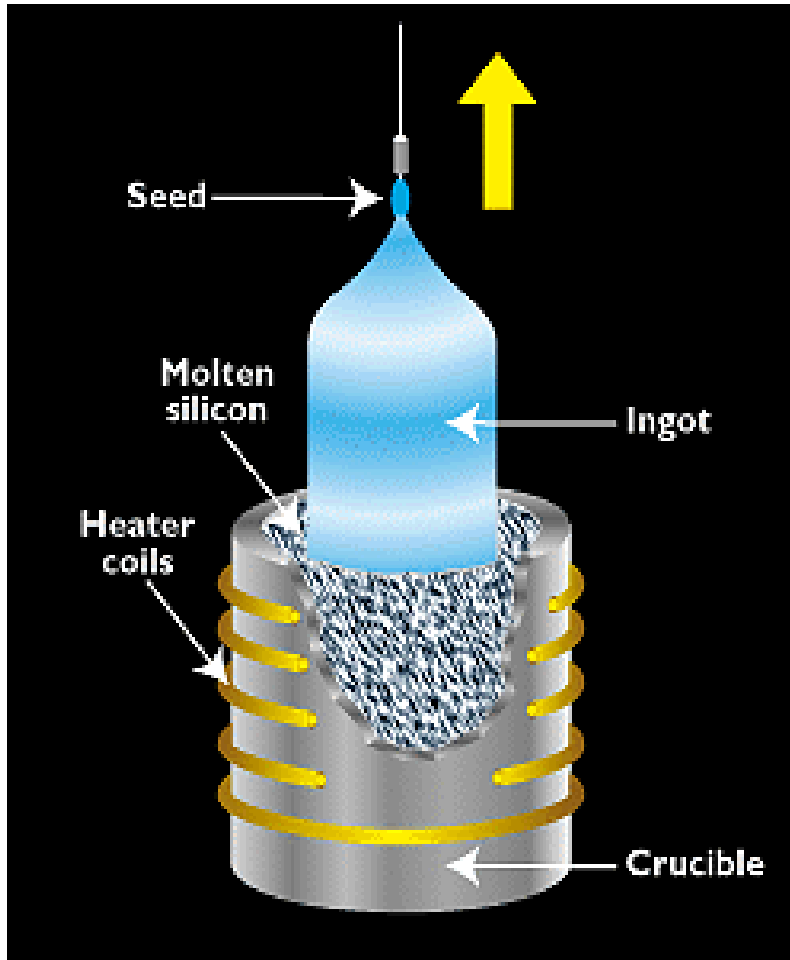
- ◆ Wytworzenie krzemu polikrystalicznego
- ◆ Wytworzenie monokryształu krzemu
- ◆ Cięcie
- ◆ Polerowanie mechaniczne i chemiczne
- ◆ Czyszczenie
- ◆ Kontrola
- ◆ Pakowanie i wysyłka

Czysty krzem

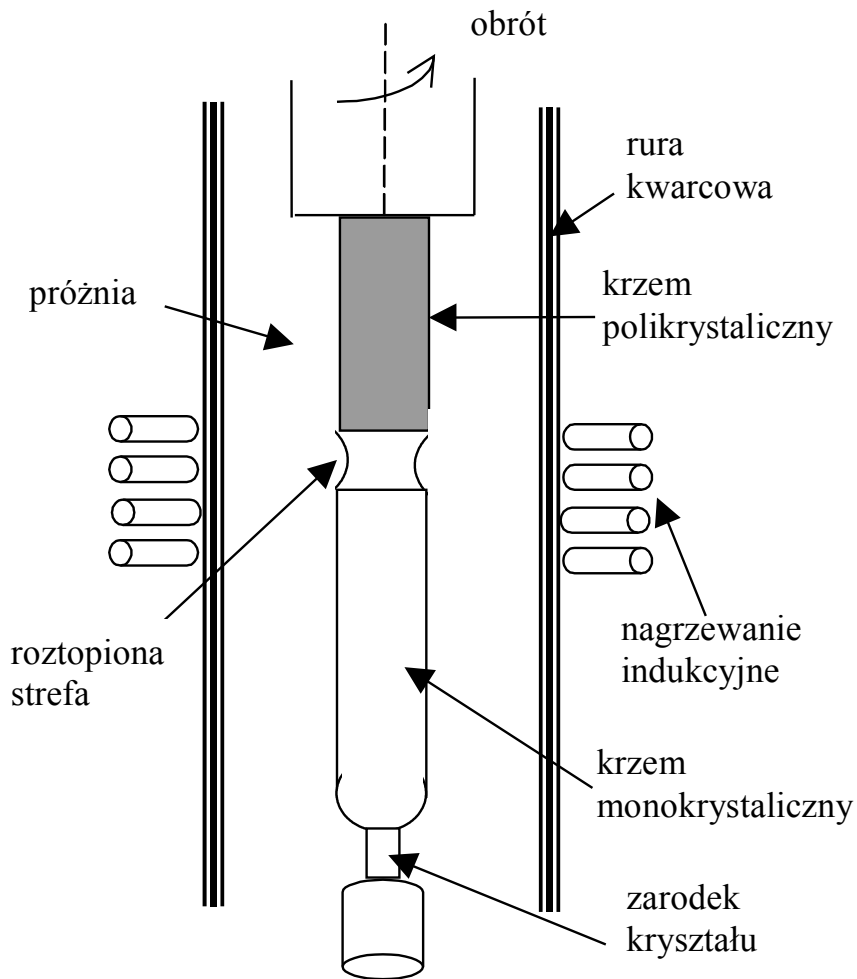


- ◆ koncentracja atomów zanieczyszczeń mniejsza niż 10^{13} at/cm³
- ◆ jeden atom zanieczyszczenia na 10 miliardów atomów krzemu
- ◆ 99.99999999% zawartości krzemu

Metoda Czochralskiego



Wytapianie strefowe



Wytwarzanie elementów i połączeń

- ◆ Zmiana właściwości materiału lub nałożenie nowej warstwy
- ◆ Fotolitografia
- ◆ Trawienie

Zmiana właściwości materiału

- ◆ Domieszkowanie w drodze dyfuzji
- ◆ Domieszkowanie przez implantację jonów
- ◆ Utlenianie podłoża

Domieszkowanie w drodze dyfuzji

Dyfuzja w ciele stałym jest to ruch atomów w sieci krystalicznej na skutek różnej ich koncentracji w różnych obszarach sieci.

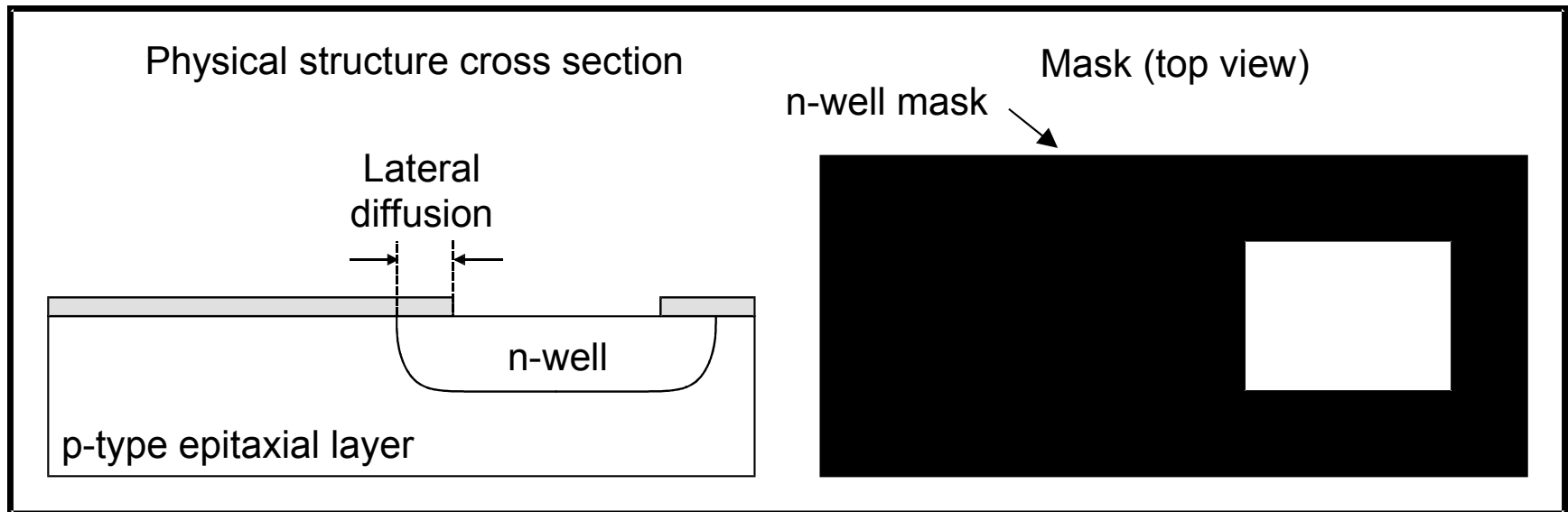
⇒ Temperatura 800 - 1200°C

im temperatura jest większa tym dyfuzja jest szybsza

Domieszkowanie w drodze dyfuzji

Bor, fosfor lub arsen z fazy gazowej

- ◆ Dyfuzja wertykalna i lateralna



Domieszkowanie przez implantację jonów

Polega na "wbijaniu" przyspieszonych w polu elektrycznym jonów domieszki w materiał podłoża

- ◆ Jony domieszek rozpędzone w polu elektrycznym
- ◆ Energia jonów: kilkaset keV
- ◆ Wąski profil domieszkowania
- ◆ Uszkodzenie struktury siatki krystalicznej
- ◆ Konieczność wygrzewania
- ◆ Późniejsza dyfuzja domieszek
- ◆ Duża dokładność dawki

Wytwarzanie warstwy dwutlenku krzemu SiO_2



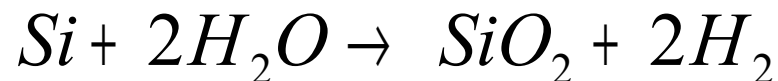
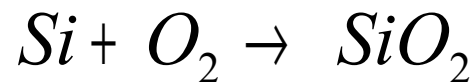
1. Utlenianie



- Termiczne w suchym tlenie
- Termiczne w parze wodnej

Utlenianie podłoża

- ◆ Temperatura 950 - 1150°C
- ◆ Zużywane podłoże (44% grubości tlenku)
- ◆ Szybkość zależy do ciśnienia i temperatury
- ◆ Suche lub mokre:



2. Nakładanie warstwy tlenku

Tlenki pasywujące i zabezpieczające można otrzymać tylko metodą nakładania



Reakcja chemiczna w atmosferze gazowej

Nanoszenie nowych warstw

Metodami osadzania wytwarza się warstwy

- dielektryczne,
- monokrystaliczne,
- polikrystaliczne
- warstwy metali trudno topliwych.

◆ Chemical Vapor Deposition (CVD)

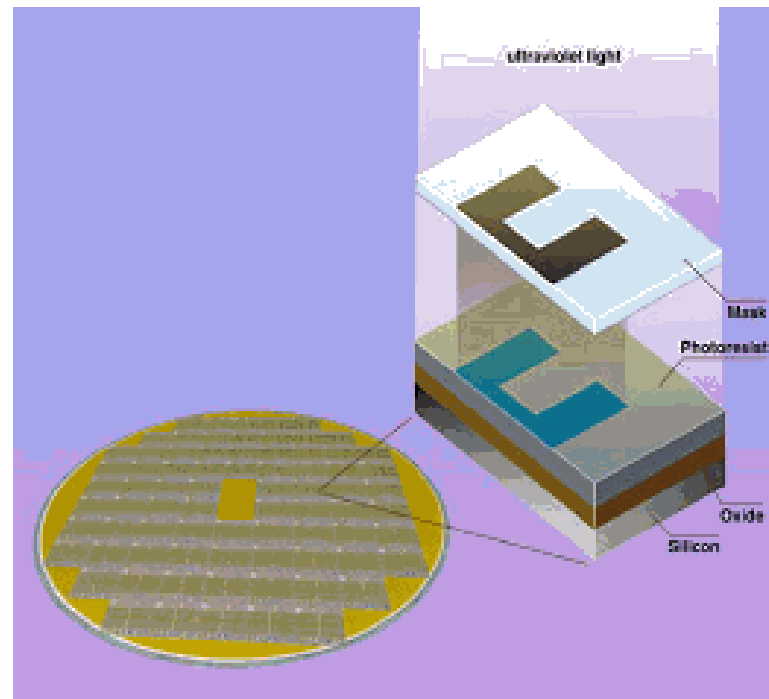
- ◆ Low Pressure CVD
- ◆ Plasma Enhanced CVD

◆ Physical Vapor Deposition (PVD)

- ◆ Evaporation
- ◆ Sputtering

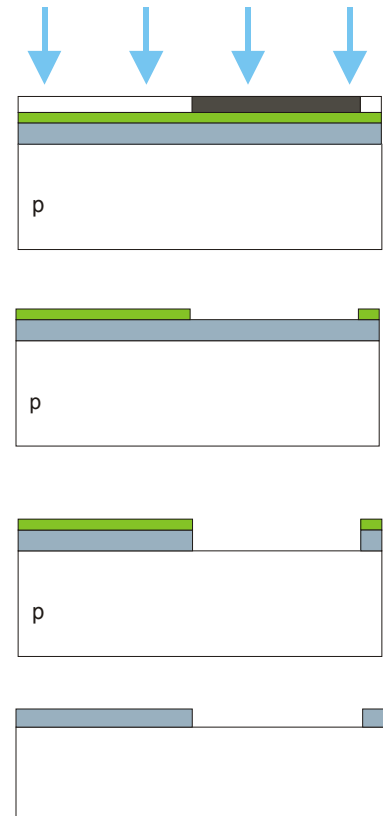
Maskowanie i litografia

polega na «przekopiowaniu» na powierzchni płytki motywu przedstawiającego każdy poziom maski



Fotolitografia (rzeźbienie światłem)

- ◆ Pokrycie płytki krzemowej równomierną warstwą fotorezystu
- ◆ Naświetlenie
- ◆ Rozpuszczenie obszaru naświetlonego lub nienaświetlonego
- ◆ Operacje technologiczne na odkrytych obszarach
- ◆ Usunięcie utwardzonego fotorezystu

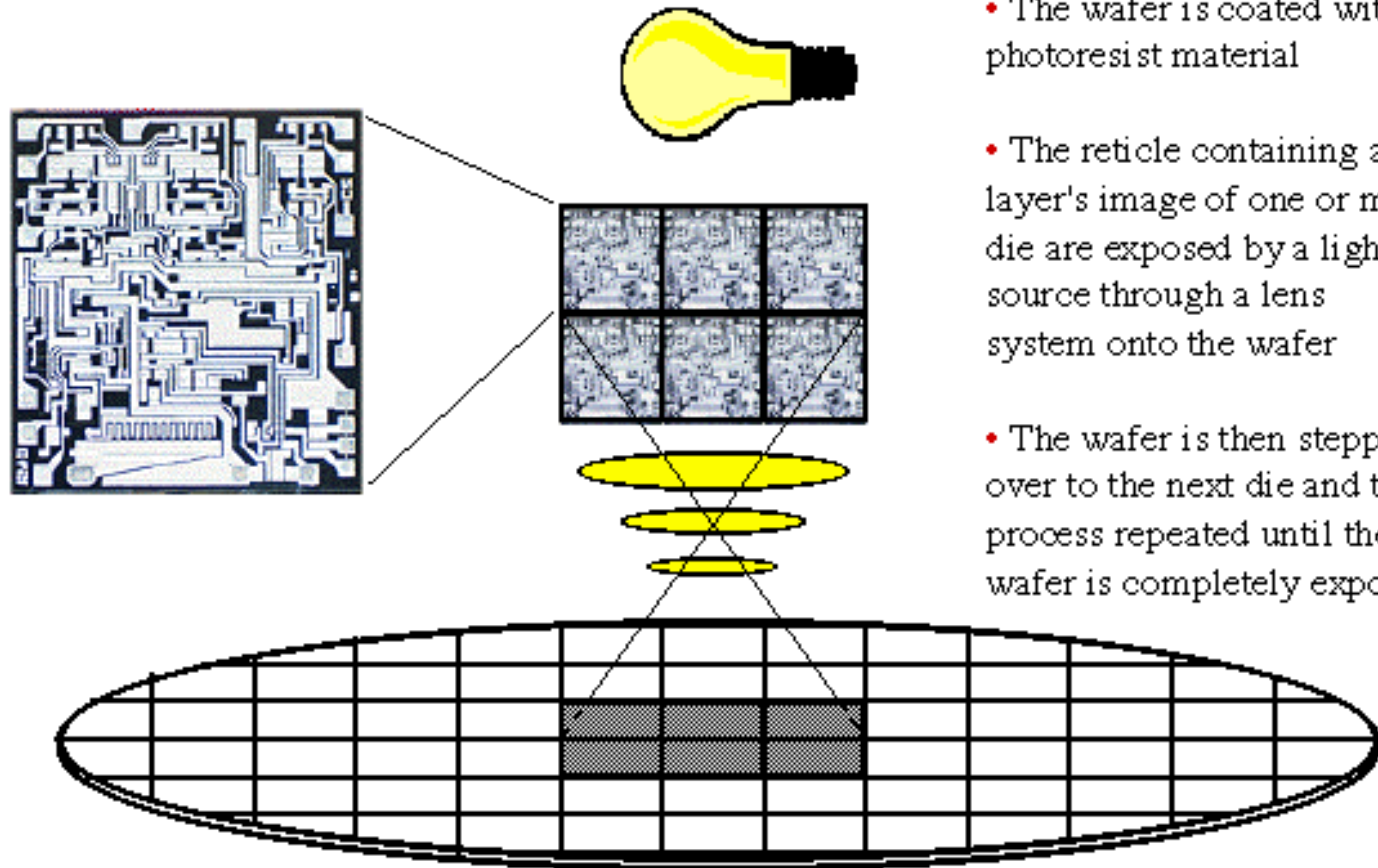


Typy litografii

- Optyczna (praktycznie ultrafiolet)
(0.3- 0.4 μm)
- Rentgenowska (*promienie X o małej energii*)
(1- 100 Angstroem)
- Elektronowa (*strumień elektronów*) (dł. fali dla energii
10keV - 1Angstroem)
- ✱ Jonowa (strumień jonów)



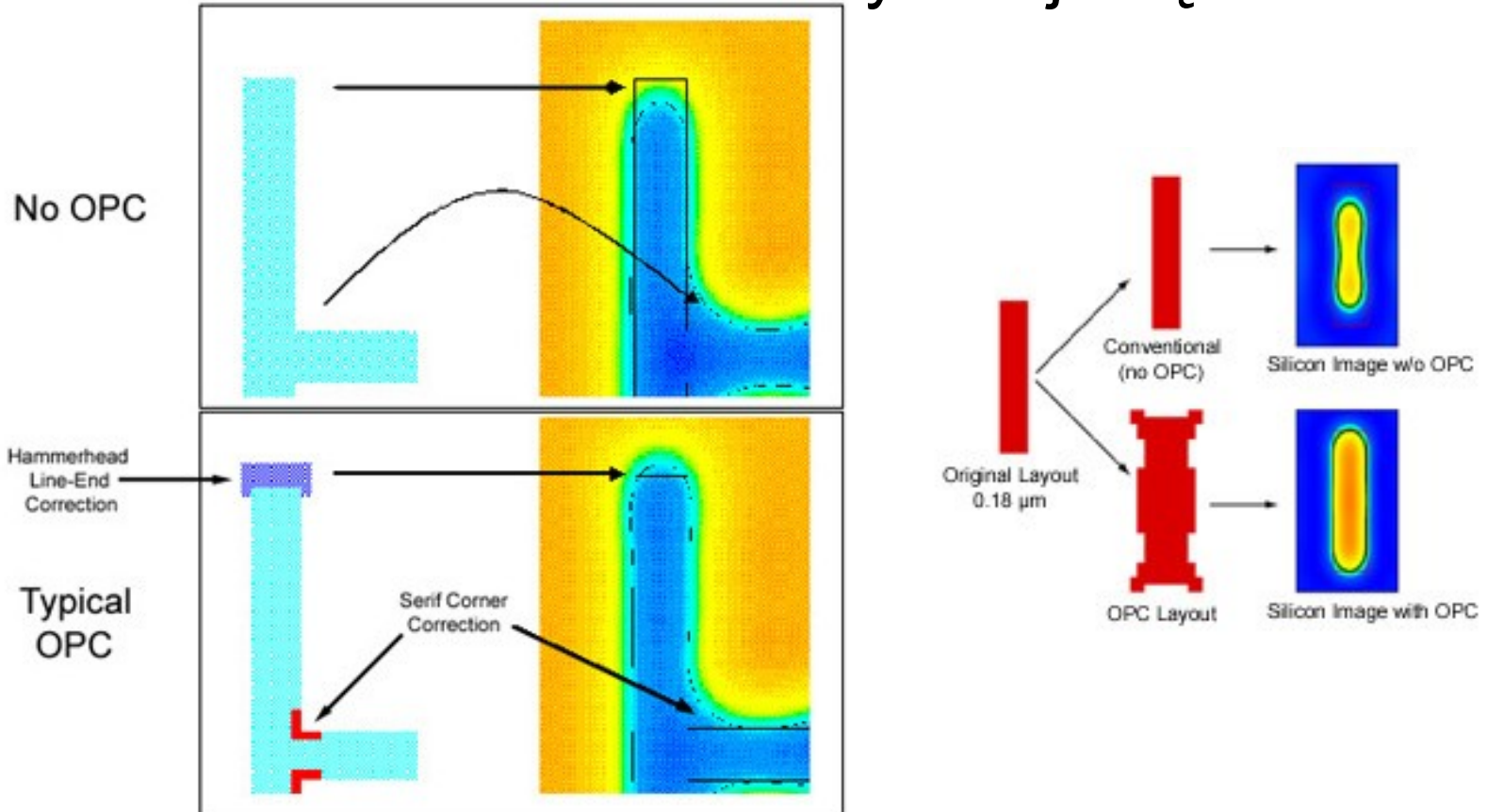
Photolithography Process



- The wafer is coated with photoresist material
- The reticle containing a layer's image of one or more die are exposed by a light source through a lens system onto the wafer
- The wafer is then stepped over to the next die and the process repeated until the wafer is completely exposed

Optical Proximity Correction

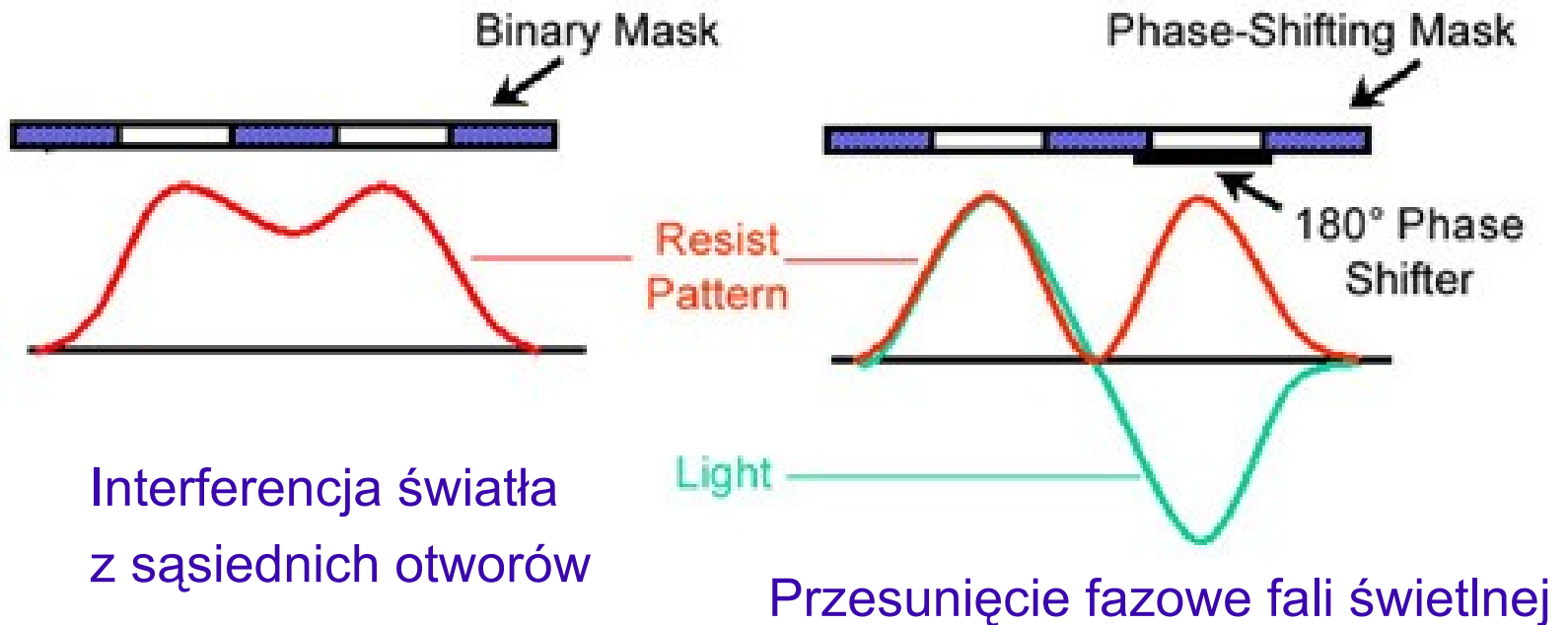
korekcja gęstości optycznej wiązki



Źródło: Numerical Technologies <http://www.numeritech.com>

Maski wielofazowe

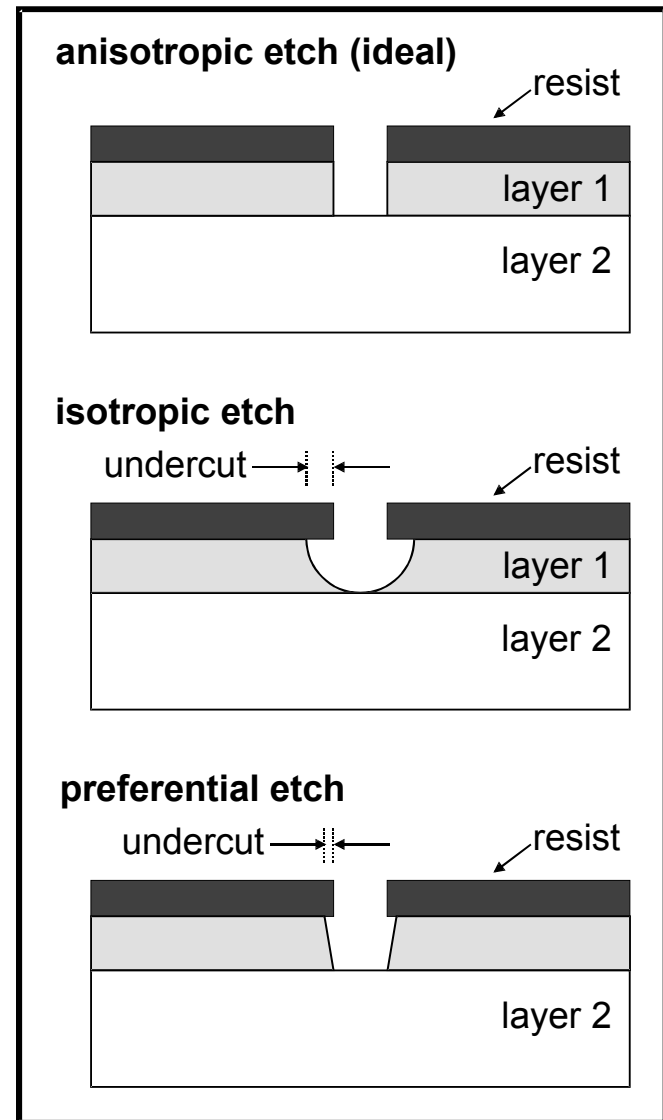
zwiększanie rozdzielczości odwzorowania cd.



Źródło: Numerical Technologies <http://www.numeritech.com>

Trawienie

- ◆ Usuwanie niezabezpieczonego materiału
- ◆ Występuje we wszystkich kierunkach
- ◆ Wytrawianie poziome powoduje powstawanie podtrawień (*under cut*)
- ◆ Uprzywilejowany kierunek minimalizuje podtrawienia



Trawienie - techniki

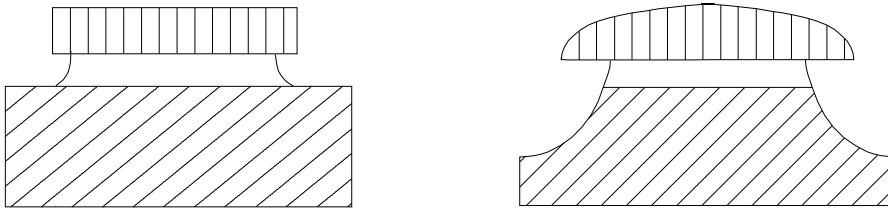
- ◆ Trawienie mokre – użycie odczynników chemicznych do usunięcia zbędnego materiału
- ◆ Trawienie suche lub w plazmie użycie zjonizowanych gazów aktywnych wspomaganych przez wytworzoną plazmą

Zalety trawienia suchego:

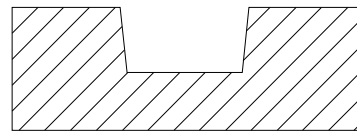
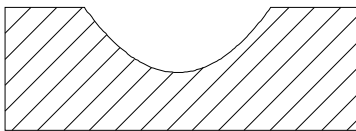
- ◆ Wysoka rozdzielczość
- ◆ Wysoka anizotropia

Parametry trawienia

selektywność - zdolność do wybiórczego trawienia jednego materiału bez szkody dla innych materiałów znajdujących się na tej samej płytce



anizotropowość - znacznie większa szybkość trawienia w jednym, wyróżnionym kierunku



← zapewnia większą wierność w odwzorowywaniu kształtów