



Tehnologije mikrosistema

Prof. dr Biljana Pešić

Prof. dr Dragan Pantić



Silicijum (Si)

Zašto Si?

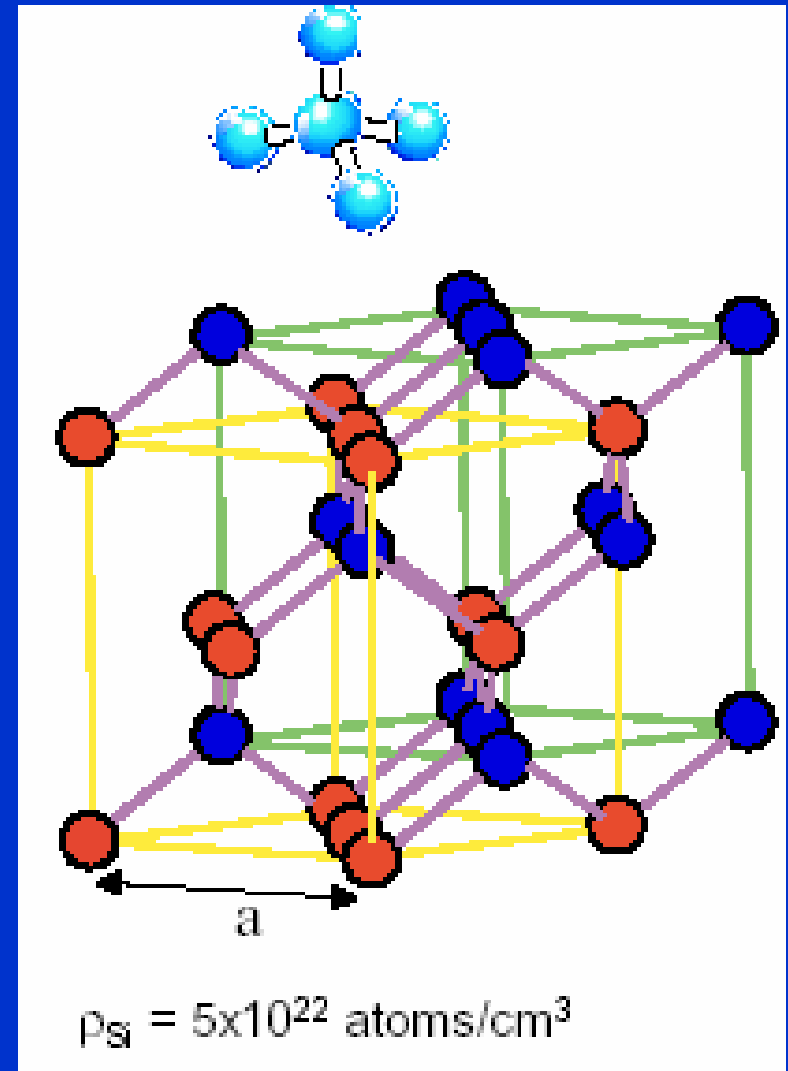
- Osnovni materijal u tehnologiji IK
- Jeftin
- Kompatibilan sa postojećim poluprovodničkim tehnologijama (laka integracija)
- Pogodan za hibridne strukture

Vrste: monokristalni, polikristalni, amorfni



Kristalna struktura Si

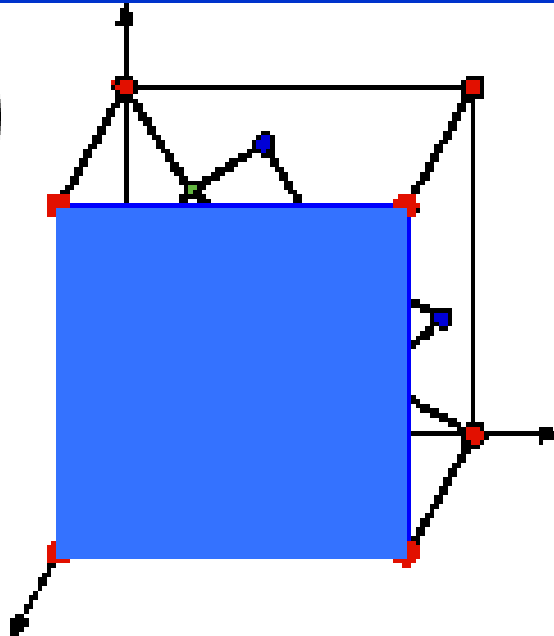
- **Valentnost 4**
 - svaki atom Si vezan je sa 4 susedna atoma u tetragonalnoj konfiguraciji
 - **Kristalna rešetka tipa dijamanta**
(PC kubna rešetka sa 4 unutrašnja atoma)
 - konstanta rešetke: $a=0.543 \text{ nm}$
 - gustina atoma:
 - 4 atoma unutar kocke
 - 6 atoma na svakoj strani kocke
(1/2 svakog atoma je unutar kocke)
 - 8 atoma u rogljevima kocke
(1/8 svakog atoma je unutar kocke)
- Ukupno 8 atoma po kocki: gustina atoma $8/a^3$





Kristalne ravni u Si

• (100)



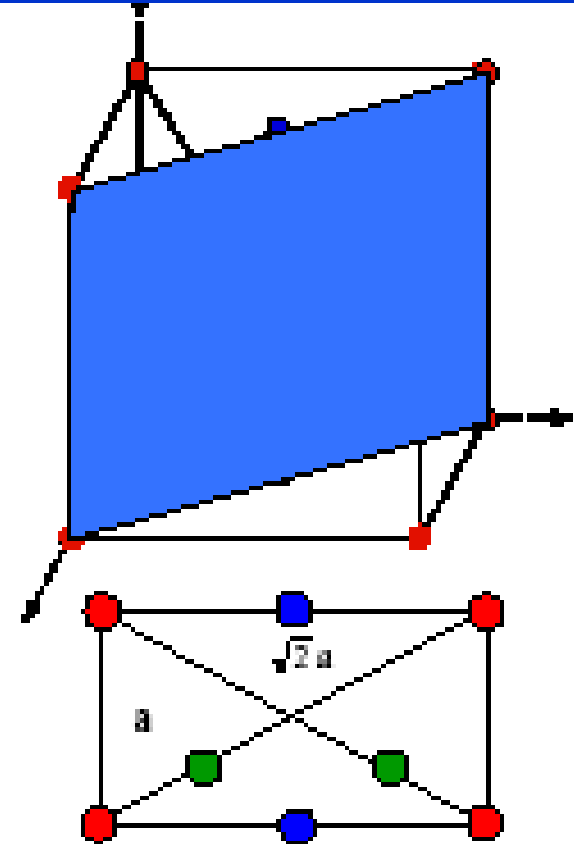
surface atomic density

$$\rho_{100}^{\text{surface}} = \frac{(1 \text{ atom} + 4 \cdot [\frac{1}{4} \text{ atom}])}{a^2}$$

silicon:

$$\rho_{100} = 6.8 \times 10^{14} \text{ atoms / cm}^2$$

• (110)

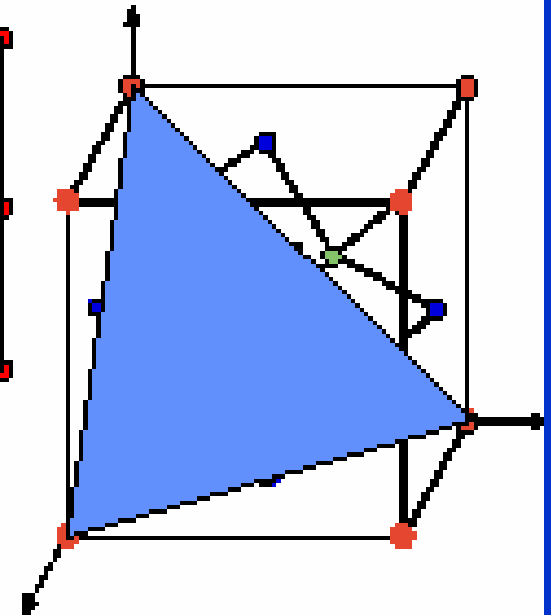
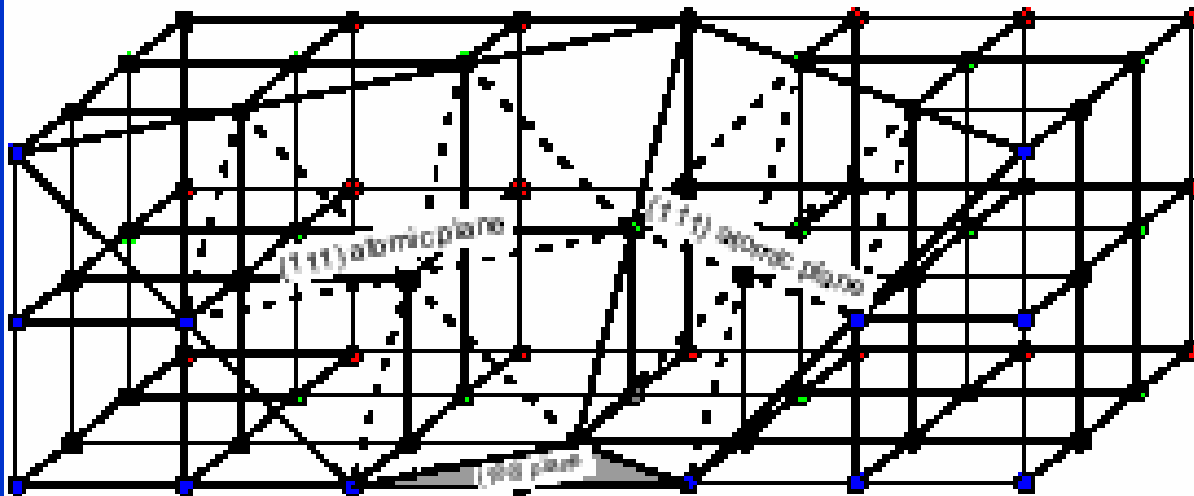


$$\rho_{110}^{\text{surface}} = \frac{(2 \text{ atoms} + 4 \cdot [\frac{1}{4} \text{ atom}] + 2 \cdot [\frac{1}{2} \text{ atom}])}{\sqrt{2} a \cdot a}$$

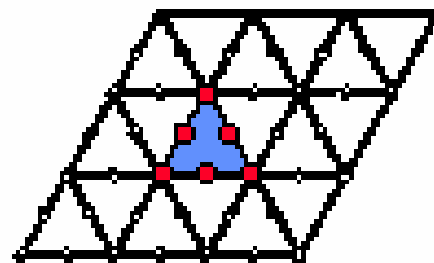


Kristalne ravni u Si

- (111) planes etch the slowest, tend to be cleavage planes



$$\rho_{111}^{\text{surface}} = \frac{(3 \cdot \left[\frac{1}{2} \text{ atom} \right] + 3 \cdot \left[\frac{1}{6} \text{ atom} \right])}{\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot a^2}$$



- silicon:
 $7.8 \times 10^{14} \text{ atoms / cm}^2$
- surface atomic density somewhat higher than (100)



Dobijanje Si

- **Tačke topljenja**

- Si: 1420°C
- Kvarc (SiO₂): 1732°C

- **Si metalurške čistoće**

- Redukcija SiO₂ u peći (T>1780°C)



Koncentracija nečistoća

(1ppm=5x10¹⁶ cm³)

- Al: 1600 ppm
- B: 40 ppm
- Fe: 2000 ppm
- P: 30 ppm

- **Prečišćavanje u gasovitoj fazi**

- T~ 600°C
- $\text{Si} + 3\text{HCl} = \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 + \text{toplota}$
 - SiHCl₃ (trihlorsilan) tečan na sobnoj T, dalje prečišćavanje frakcionom destilacijom

- **Si elektronske čistoće**

- Redukcija vodonikom



Koncentracija nečistoća

(1ppb=5x10¹³ cm³)

- Al: ispod detekcije
- B: < 1 ppb
- Fe: 4 ppm
- P: < 2 ppb

Polikristalni Si



Rast monokristala Si metodom Czochralski

Monokristalna klica

Monokristalni Si u vidu ingota

Kvarena posuda

Komora sa vodenim hladjenjem

Zaštitnik toplote

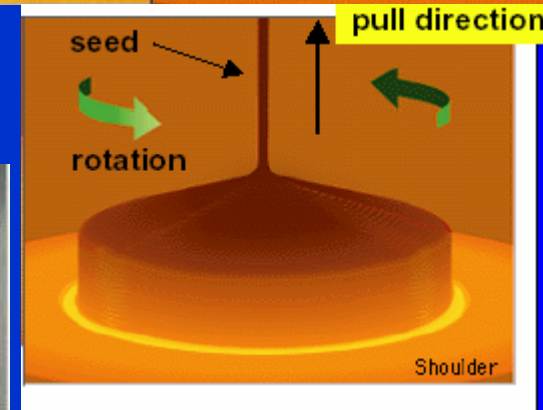
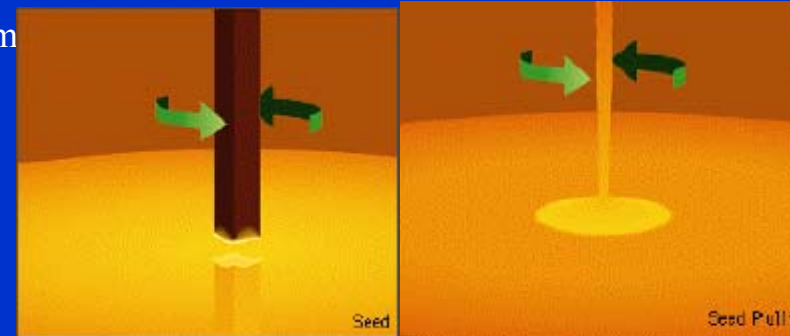
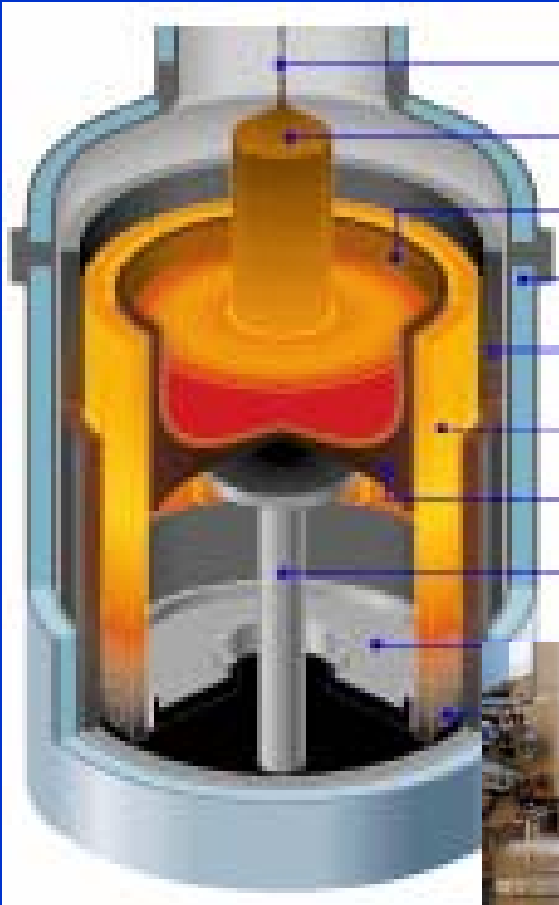
Grejač

Grafitna posuda

Držać posude

Kontrola dijametra monokristala

- Kritičan faktor: protok toplote od tečne ka čvrstoj fazi
- Balans brzine očvršćavanja, brzine izvlačenja, temperaturnog gradijenta

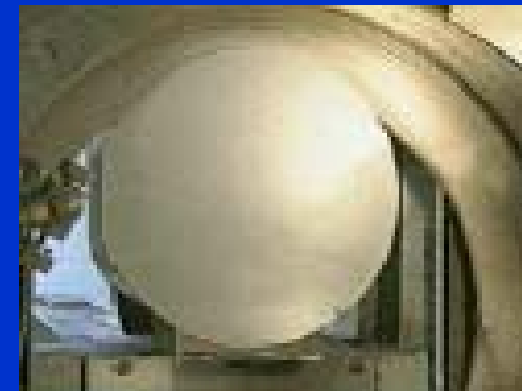


Ingot monokristalnog Si



Sečenje ingota i priprema pločica

- **Boule forming**, merenje orijentacije
- Sečenje pločica
- Lapovanje pločica
 - **Grindovanje** pločica sa obe strane do glatkoće 2-3 μm
- Nagrizanje pločica
 - Hemijsko nagrizanje da bi se uklonio oštećeni povrćinski sloj
- Poliranje pločica
 - Hemo-mehaničko poliranje, SiO_2/NaOH **slurry**
- Čišćenje i inspekcija pločica





Identifikacija pločica

