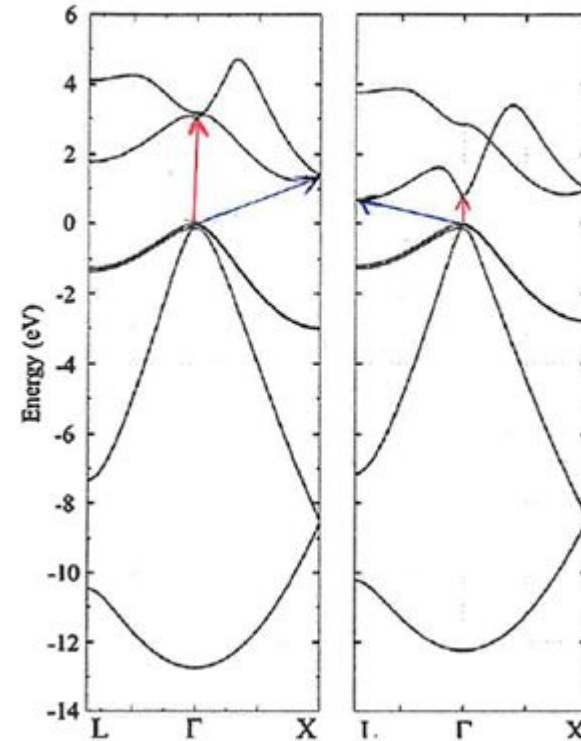


Manipuliranje energijskim procjepom poluvodiča primjenom posmičnog naprezanja

Ruža Domić

Poluvodiči

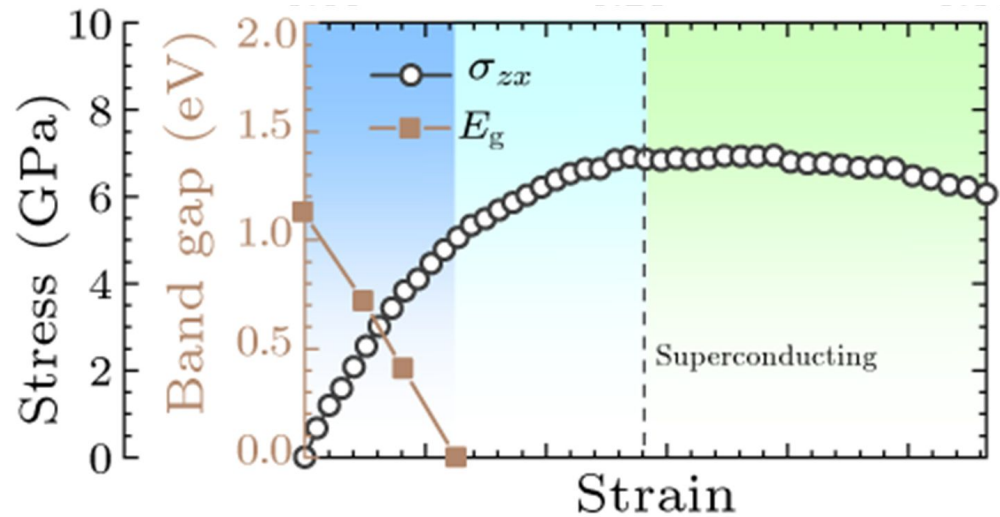
- moderne tehnologije - mikroelektronika, fotonika
- energijski procjep - pojas zabranjenih energija gdje nema nositelja naboja (1-4eV)
- silicij (1.12 eV, indirektni), germanij (0.67 eV, indirektni, 0.84 eV, direktni)
- indij antimonid (0.17 eV, direktni)
- dijamantna rešetka, tetraedarska struktura



[1] Filipe Oliveira. Photonic integrated circuit (PIC) devices for inter- and intra-chip optical communication using GeSn alloy layers grown on Silicon substrates. PhD thesis, University of Minho, 2011.

Teorija

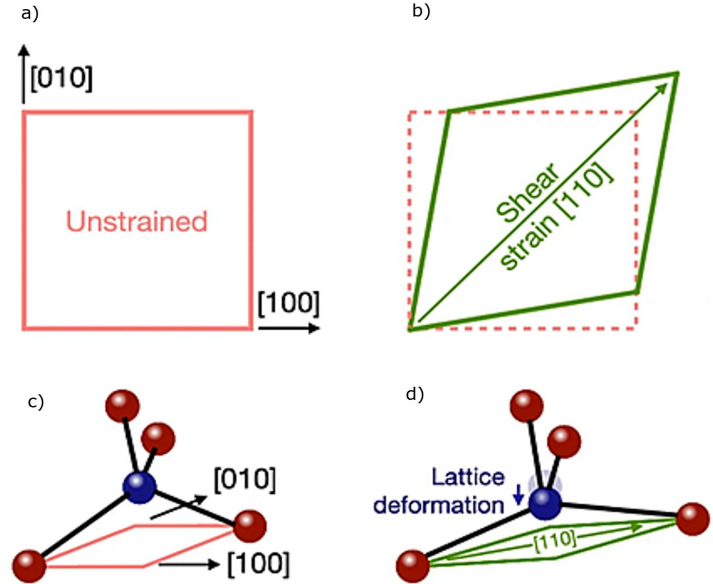
- teorija funkcionala gustoće
- dijamant, silicij karbid
- mehanizam metalizacije i zatvaranja procjepa - fazni dijagram silicija



[2] Chang Liu, Xianqi Song, Quan Li, Yanming Ma, Changfeng Chen. Chin. Phys. Lett., 30:086301, 2021.

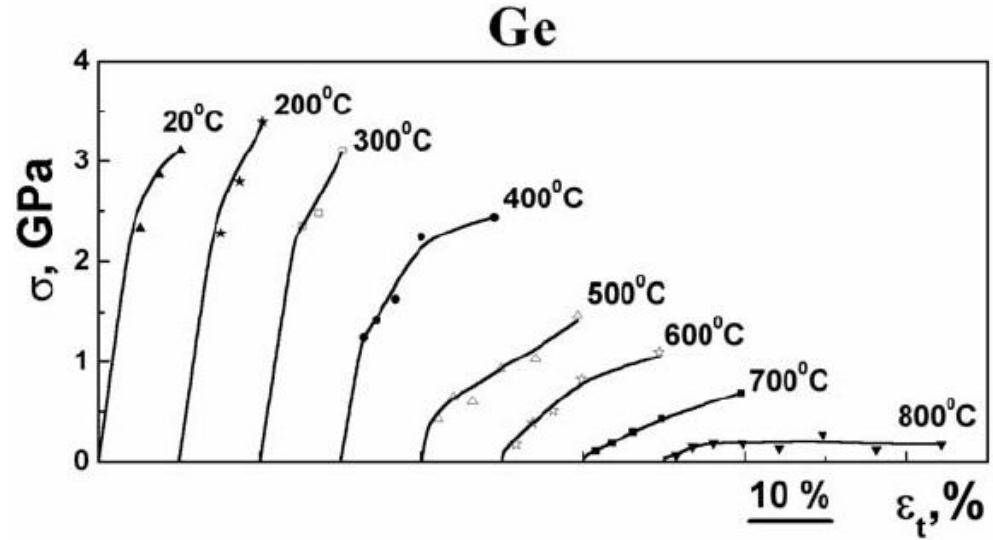
Simetrijska svojstva i tenzor naprezanja

- Millerovi indeksi: $[abc]$ smjer, (abc) ravnina
- $[111]$ u germaniju, $[110]$ u siliciju, germaniju i indij antimonidu
- tenzor naprezanja - simetrični tenzor ranga 2
- 3 normalne, 6 tangencijalnih (posmičnih) komponenti)
- $[111]$ - poklapa se s glavnim osima - nema posmične komponente
- $[110]$ - posmična komponenta u smjerovima okomitim na smjer $[110]$



Dijagram naprezanja

- granica elastičnosti
- granica razvlačenja
- granica proporcionalnosti
- temperaturna ovisnost



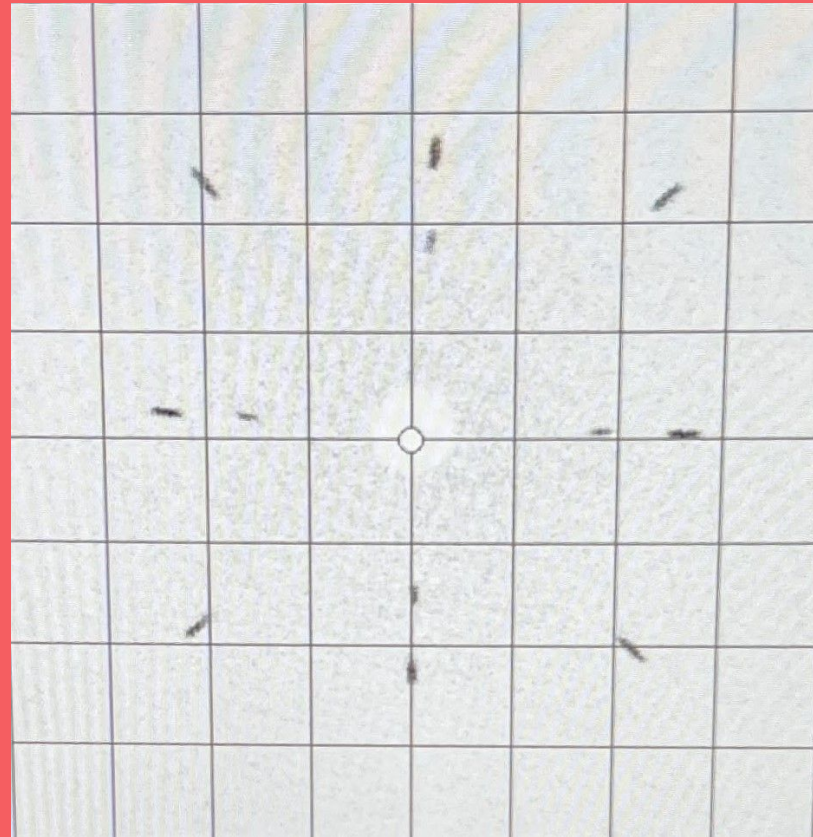
[4] Yu. V. Milman, I. V. Gridneva, A. A. Golubenko. Science of Sintering, 2007.

Uzorci



Laueova difrakcija

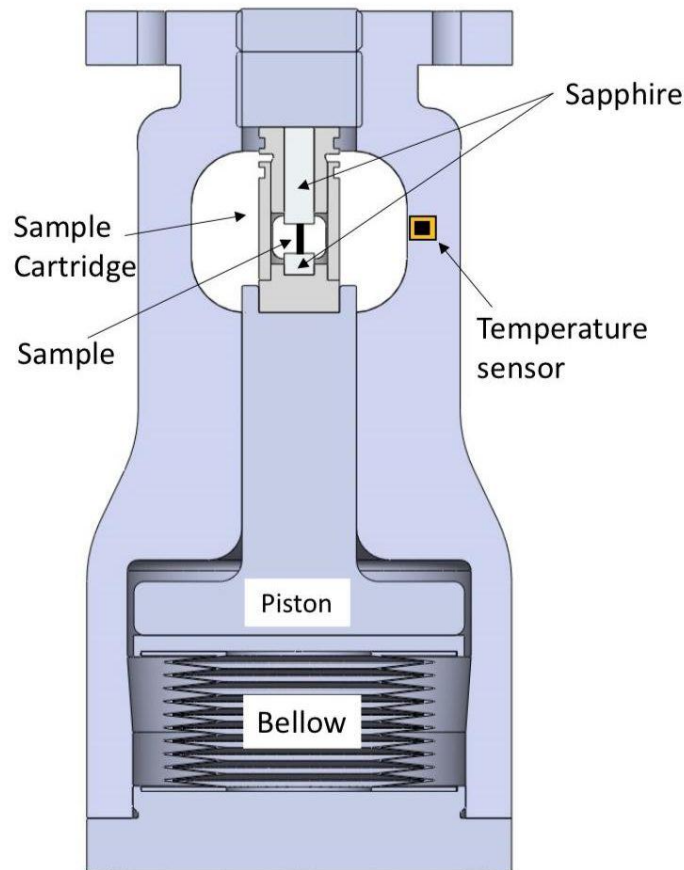
orijentacija kristalografskih
smjerova



Tlačna ćelija

- plinski rezervoar
- mijehovi
- keremički nakovnji
(volframov karbid, safir)
- reguliranje tlaka: *LabView*

[5]A. Najev, S. Hameed, D. Gautreau, Z. Wang, J. Joe, M. Požek, T. Birol, R. M. Fernandes, M. Greven, D. Pelc, Phys. Rev. Lett. 128, 167201 (2022).



Pretpostavke i eksperimentalna ograničenja

- prisustvo posmične komponentne utječe na brzinu smanjivanja procjepa
- procjep se smanjuje brže u materijalima u kojima je u početku manji
- dimenzije uzorka
- poliranje i fiksiranje
- postizanje visokog tlaka
- direktno mjerenje energijskog procjepa

Rezultati

- funkcija prilagodbe

$$a - bx^c$$

- silicij: jednadžba diode i linearna veza propusnog napona i energijskog procjeka pri standardnim uvjetima

$$V_f \approx n \frac{E_g}{q}$$

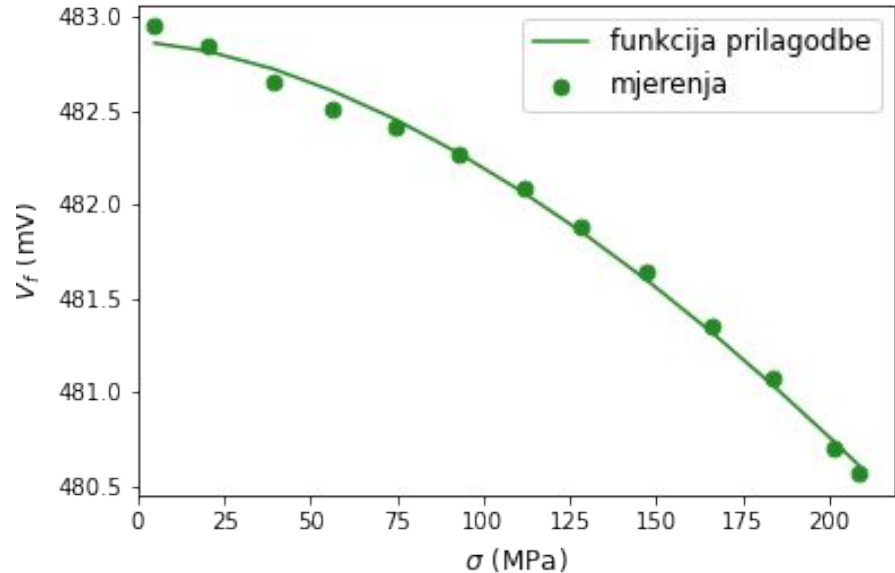
- germanij: veza otpornosti i energijskog procjeka intrinzičnih poluvodiča

$$\rho \propto e^{\frac{E_g}{2k_B T}}$$

- indij antimonid: izuzeto iz analize

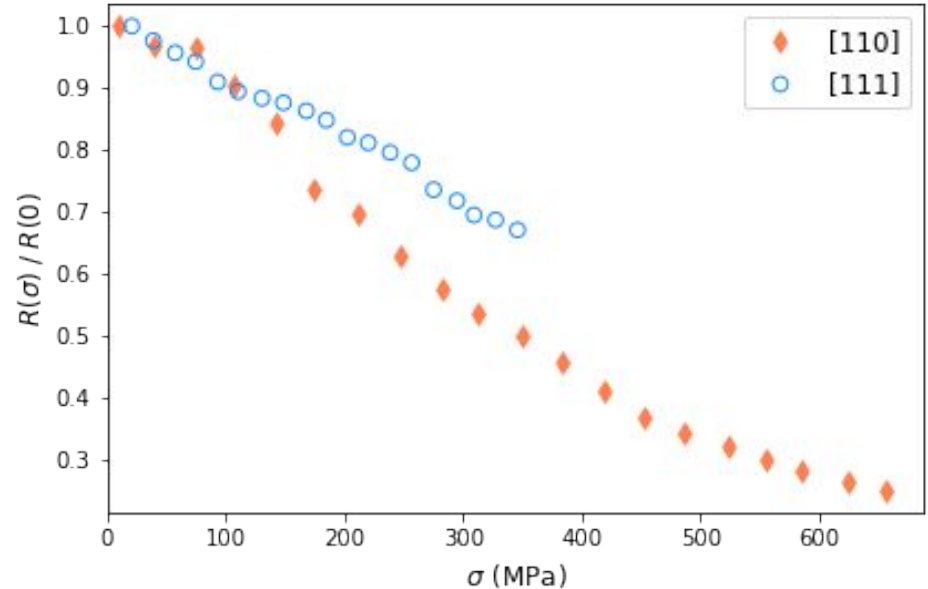
Silicij

- naprezanje: 200 MPa
- mala promjena
propusnog napona
(0.5%)



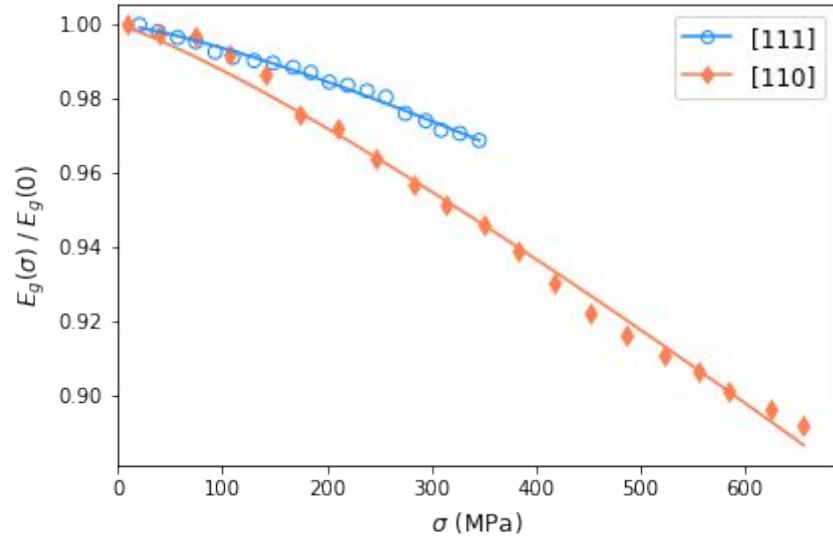
Germanij

- ovisnost svojstava i odgovora materijala na naprezanje o kristalografskom smjeru
- naprezanje do 600 MPa
- pad otpora za 33% u smjeru [111] i 75% u smjeru [110]



Germanij

- smanjenje energijskog procjeka za 2.6% u smjeru [111] i 8.6% u smjeru [110]
- zatvaranje energijskog procjeka pri naprezanju od 4.5GPa
- mehanička ograničenja?



Zaključak

- prvi put eksperimentalno potvrđene teorijske pretpostavke
- rezultati u skladu s teorijom
- modifikacija svojstava naprezanjem - tehnološki značaj

Hvala na pozornosti!