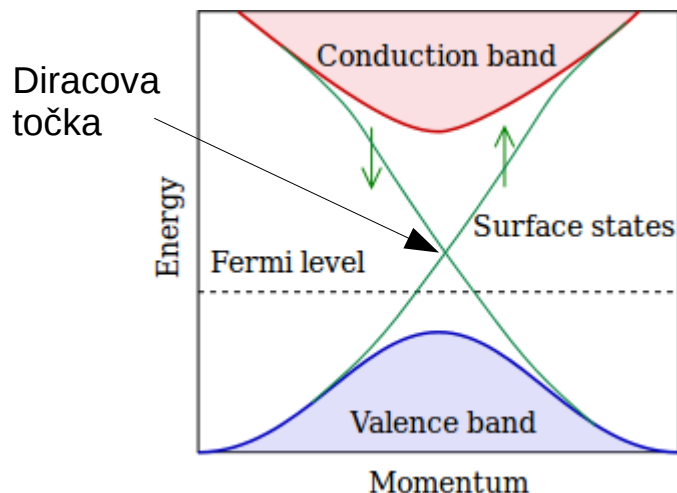


Sinteza monokristala topološkog izolatora modificiranom Bridgman metodom

Toni Marković
mentor: doc. dr. sc. Mario Novak
1.2.2016.

O topološkim izolatorima (TI)

- kvantni materijali sa izolatorskom unutrašnjosti i vodljivim rubom (2D) tj. površinom (3D)
- Vrpce u topološkom izolatoru izgledaju poput vrpce u običnom izolatoru.
- Fazni prijelaz - spontani lom simetrije (Landau)



Slika 1: Shematski prikaz vrpce u topološkom izolatoru. Prikazana je i disperzija površinskih stanja.

- **Jesu li svi izolatori ekvivalentni?**

Topološka invarijanta

➤ Veličina koja je ista za sve topološki ekvivalentne materijale

➤ Svi obični izolatori međusobno topološki ekvivalentni, (vakuum)

➤ Najjednostavniji topološki netrivialan efekt: cjelobrojni kvantni Hall efekt IQHE

$$\sigma_{xy} = n \frac{e^2}{h}$$

Berryeva faza

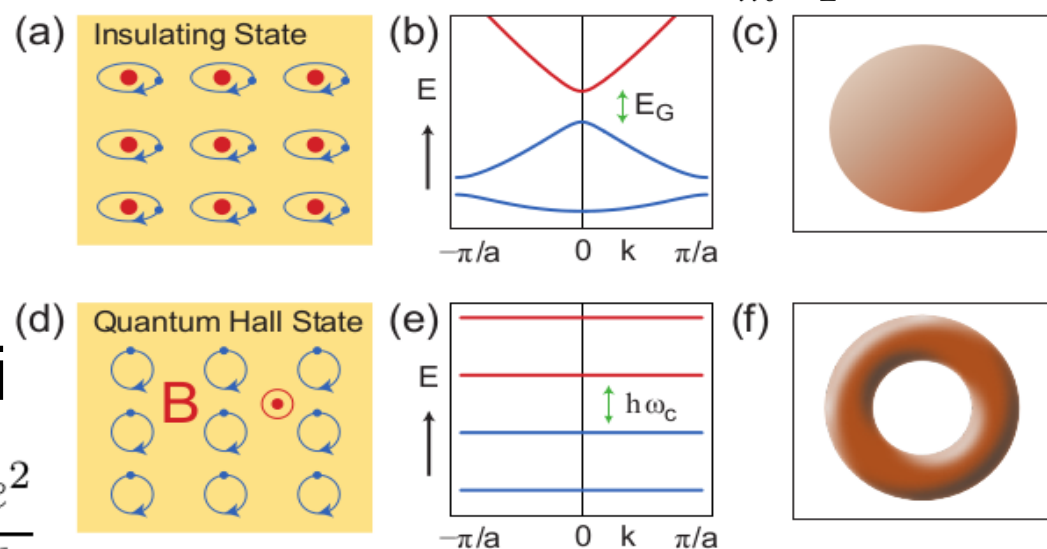
$$A_m = i \langle u_m | \nabla_k | u_m \rangle; \quad F_m = \nabla \times A_m$$

Fluks Berryeve faze

Chernov broj

$$n_m = \int_{B.Z.} d^2k F_m; \quad n = \sum_{m=1}^N n_m$$

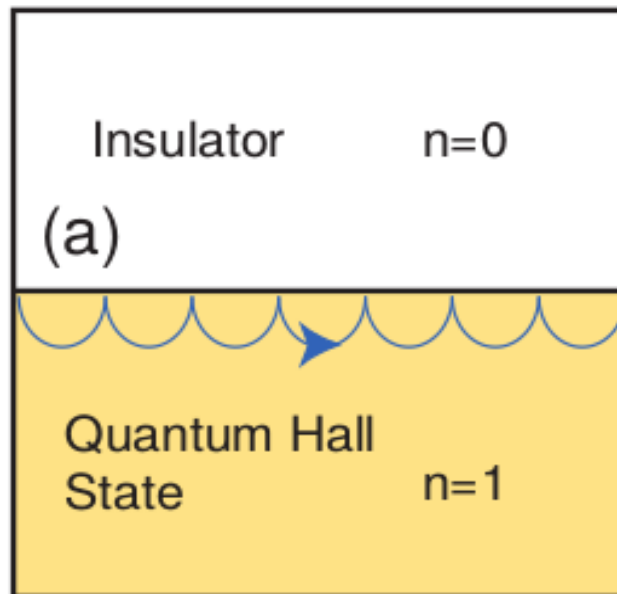
oznaka vrpce



Slika 2: Obični izolator vs. IQHE materijal

Površinska stanja

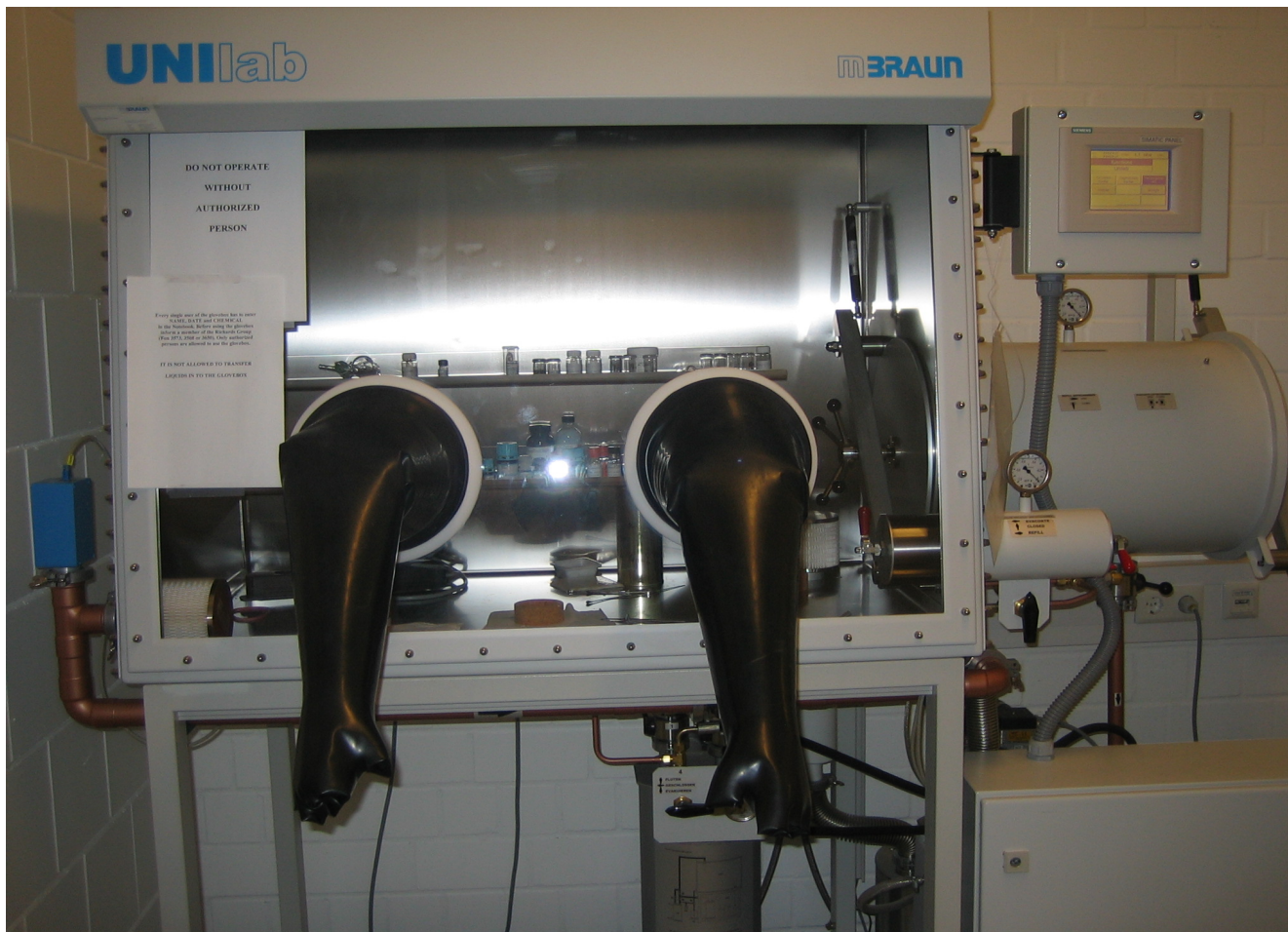
- Na granici između različitih topologija dolazi do zatvaranja energijskog procjepa



Slika 3: Nastajanje vodljivih površinskih stanja, IQHE

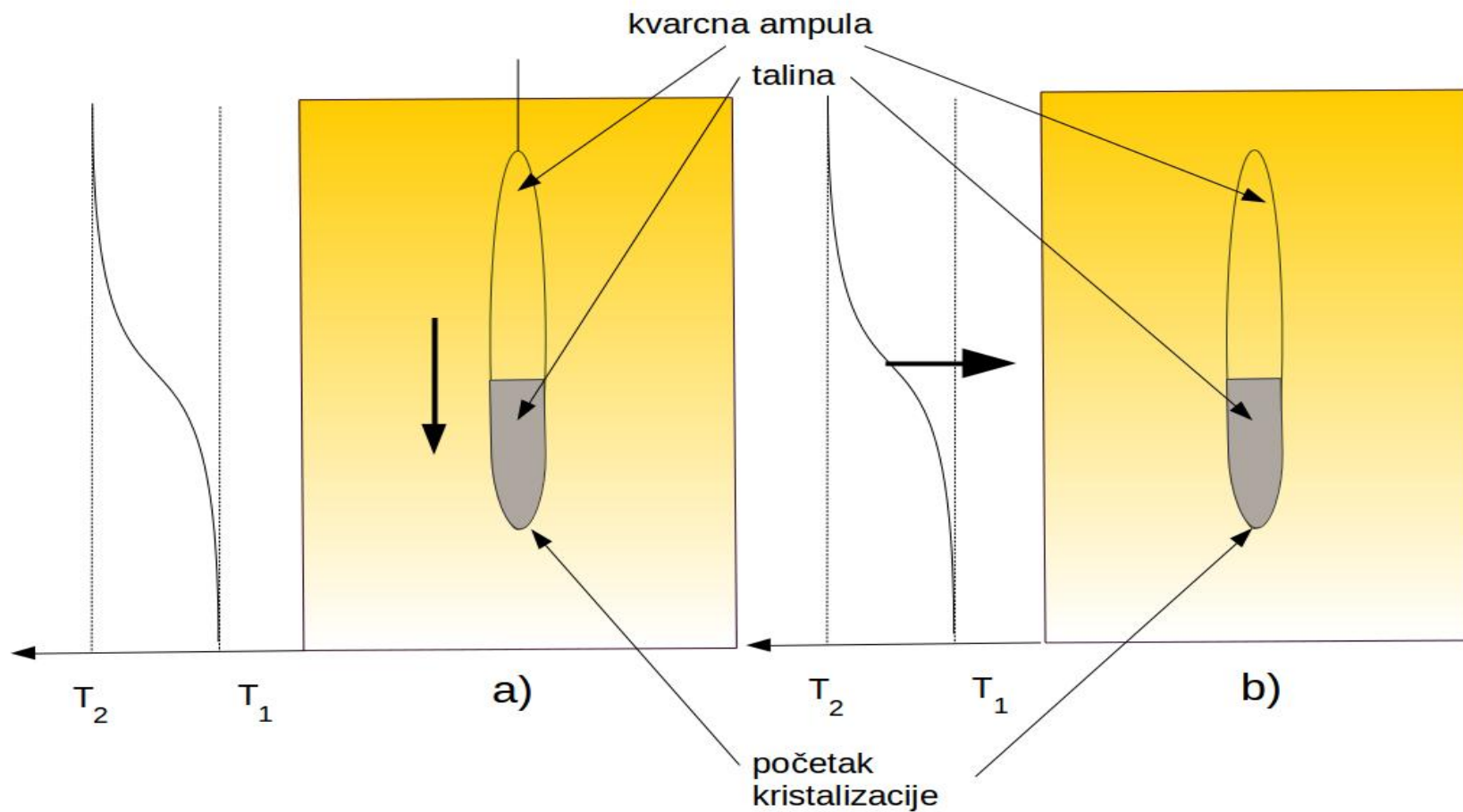
- Eksperimentalno:
 - prvi 3D TI: Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3
 - $Bi - Sb$, $Se - Te - S$
 - Potraga za dobrim materijalom za proučavanje
 - Primjena: računalne memorije

Priprema za sintezu



Slika 4: Glovebox korišten za stavljanje materijala u s jedne strane zataljene kvarcne cjevčice. Unutar gloveboxa je atmosfera argona s blagim nadtlakom u odnosu na atmosferski tlak.

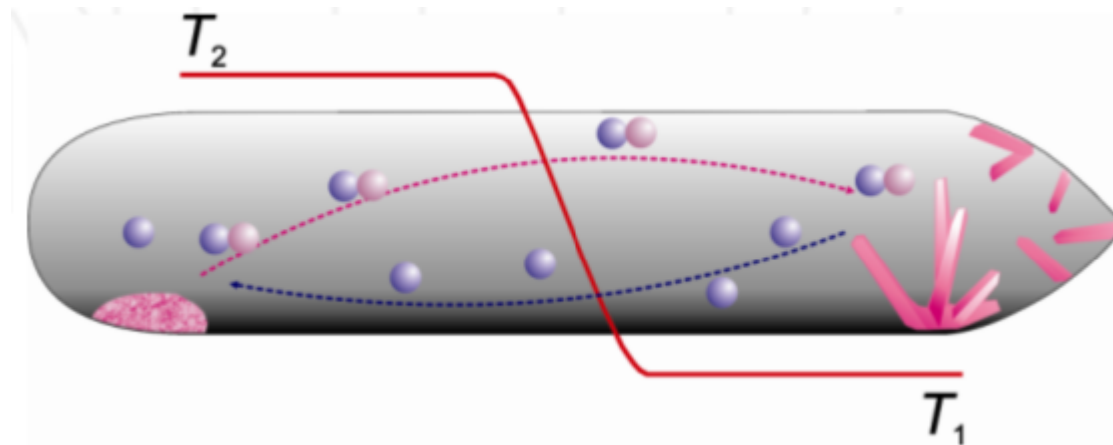
Sinteza BiSbTeSe_2 i BiSbTe_2S



Slika 5:
Bridgman a) i
modificirana
Bridgman b)
metoda za
sintezu
monokristala

Sinteza $ZrSiS$

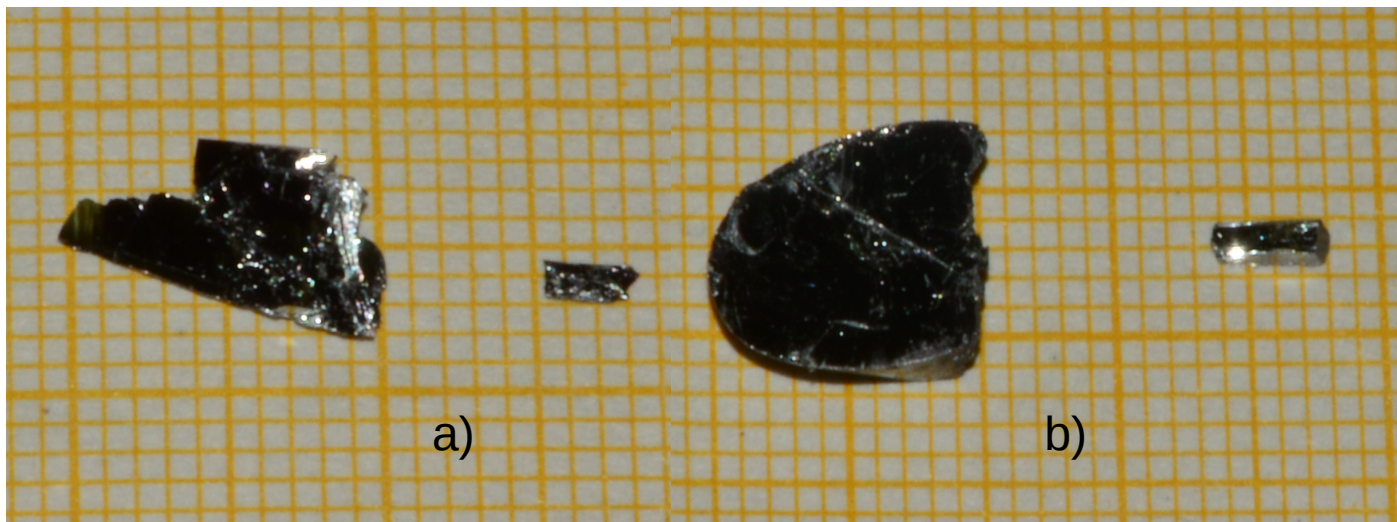
- Chemical Vapour Transport uz I_2 kao transportni plin



Slika 6: Chemical Vapour Transport (CVT) metoda korištena za sintezu $ZrSiS$

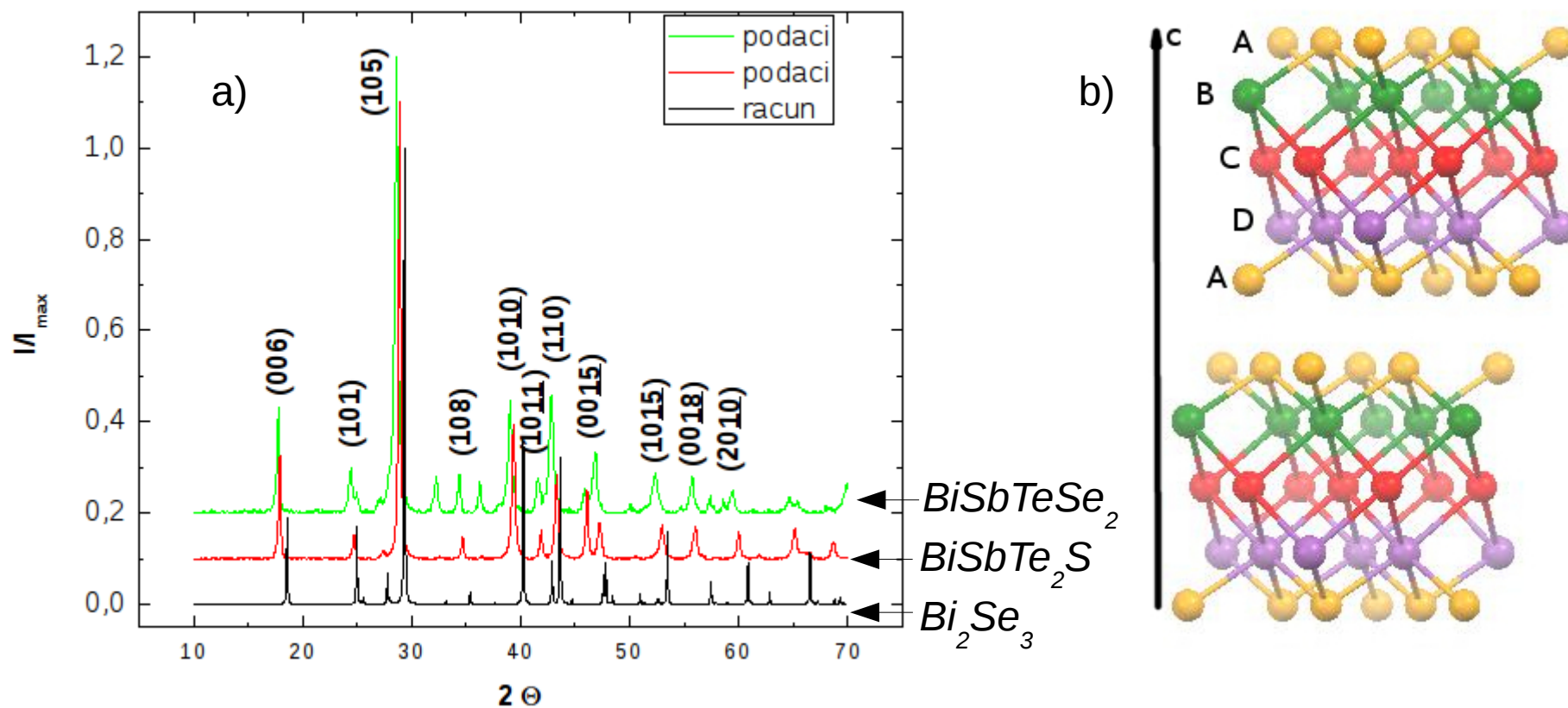
Rezultati sinteze

- presitni monokristali $ZrSiS$, razlog: preniska temperatura, preniska koncentracija I_2 , sinteza ponovljena
- veliki monokristali $BiSbTeSe_2$ i $BiSbTe_2S$ kalaju se okomito na c kristalografsku os



Slika 7: komadi materijala dobivenog sintezom a) $BiSbTeSe_2$ i b) $BiSbTe_2S$, prikazani su i oblikovani uzorci za transportno mjerenje

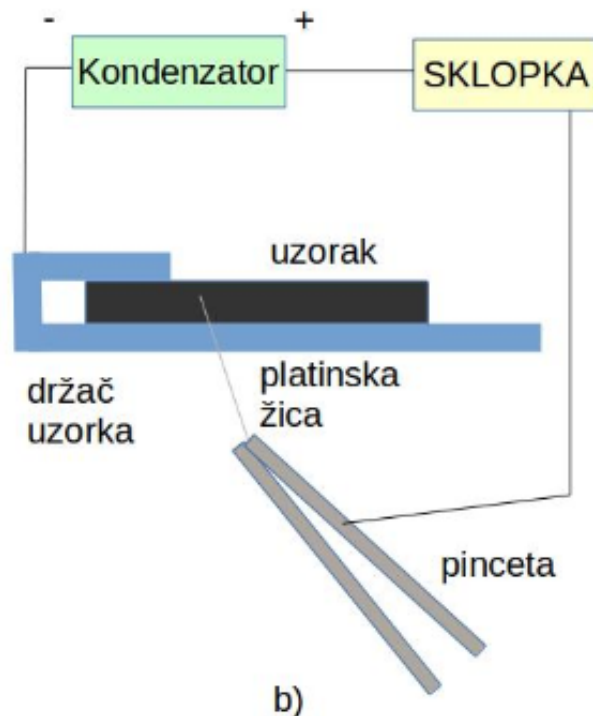
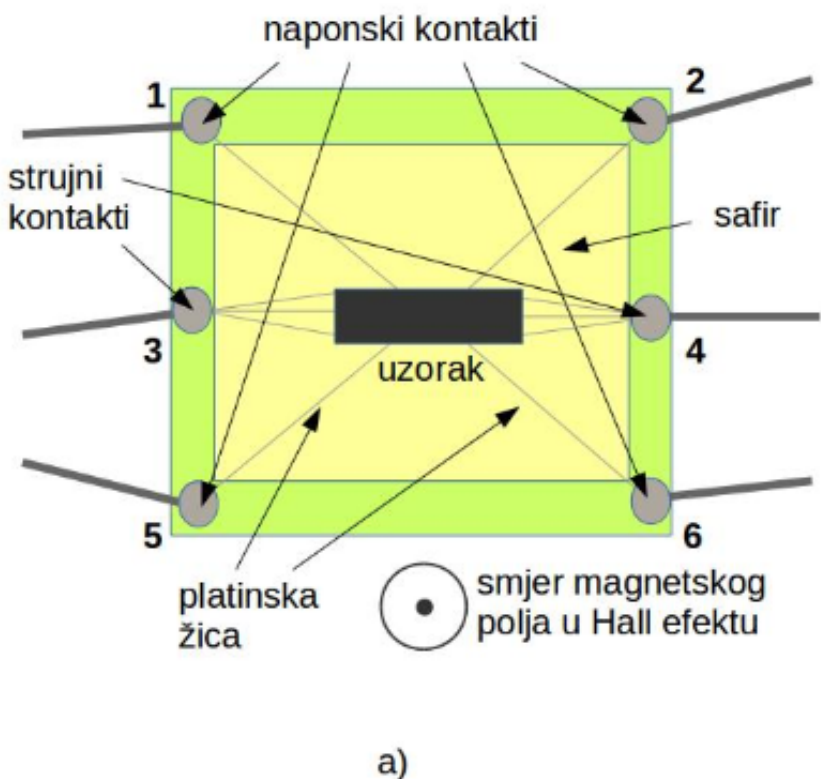
Utvrdjivanje strukture difrakcijom X-zraka na prahu



Slika 8: a) Rezultati mjerenja renevske difrakcije $BiSbTeSe_2$ i za $BiSbTe_2S$ i izračun za Bi_2Se_3 .

b) Za $BiSbTeSe_2$ A = Se, B = Bi, C = Te, D = Sb. Za $BiSbTe_2S$ A = Te, B = Bi, C = S, D = Sb. Za Bi_2Se_3 A = C = Se, B = D = Bi.

Transportna mjerenja i mjerenje Hallove konstante



Hallov napon U_H u ovisnosti o magnetskom polju B

$$U_H = \frac{R_H}{t} IB + RI$$

Hallova konstanta

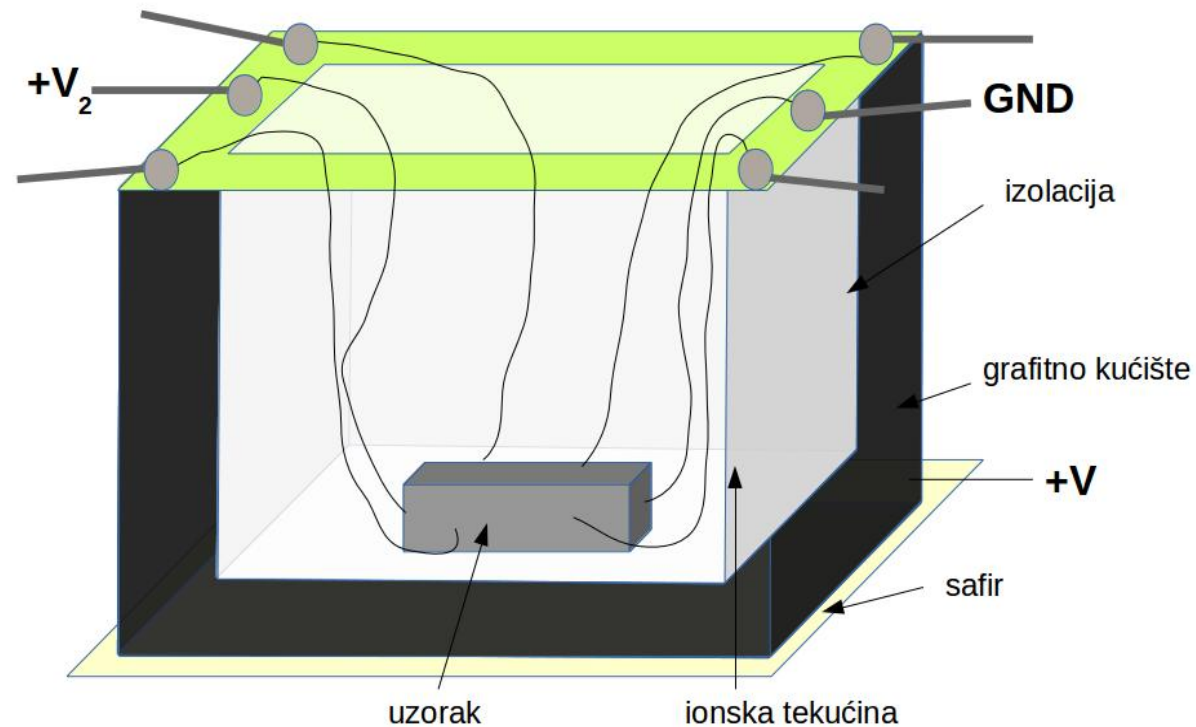
$$R_H = \frac{1}{ne}$$

koncentracija većinskih nosioca naboja

naboj

Slika 9: a) Držač uzorka za transportna mjerenja, mjerenja Hallove konstante i Ionic-Liquid Gatinga. b) Postavljanje kontakata spot-welding tehnikom.

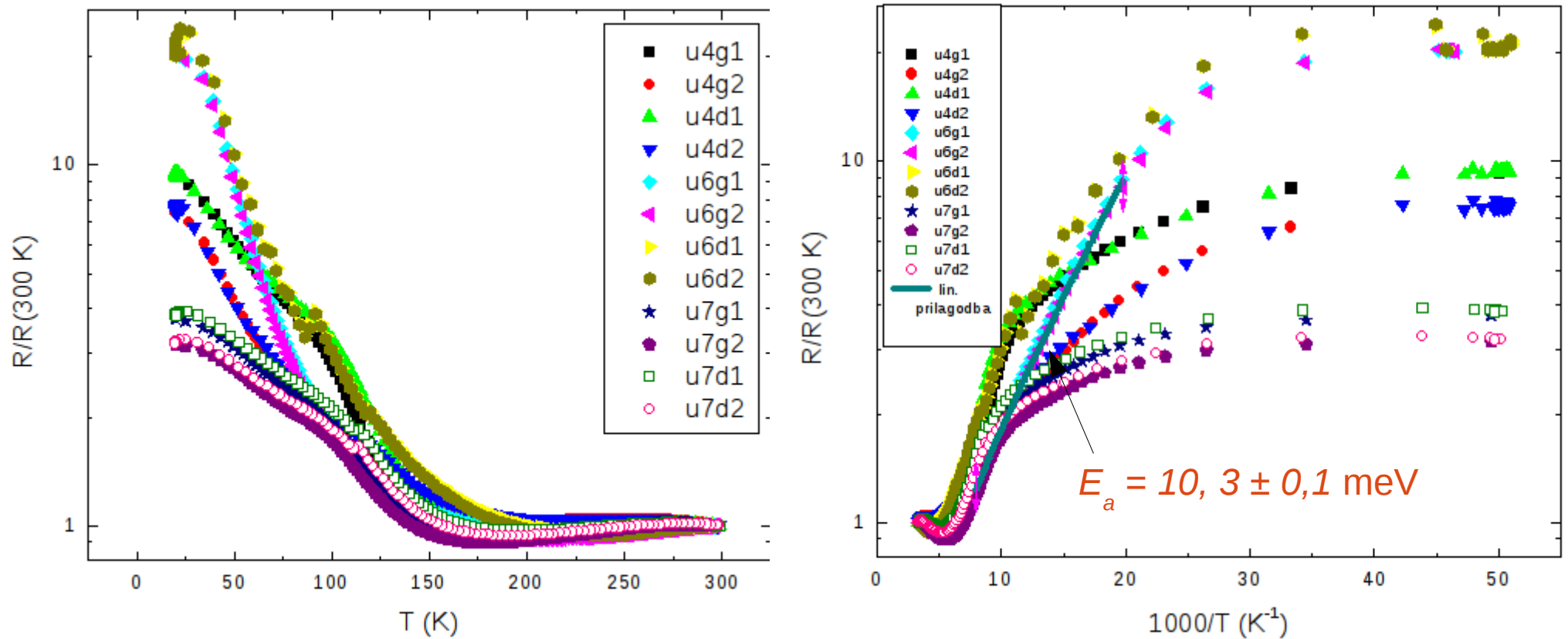
Izrada nosača za Ionic-Liquid Gating (ILG)



Slika 10: Postav za ILG mjerenje.

Rezultati

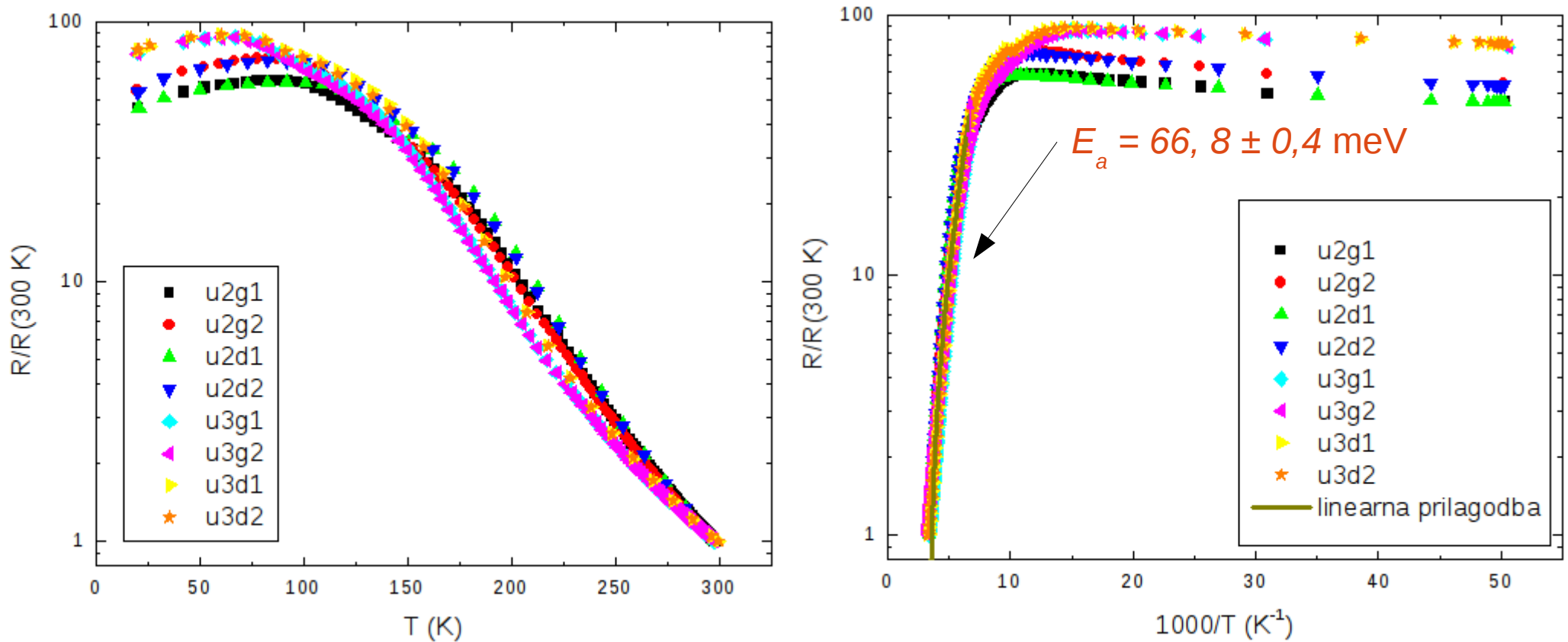
- mjerenje otpora u $a - b$ kristalnoj ravnini



Slika 11: Mjerenje otpora četverokontaktnom metodom za tri različita uzorka $BiSbTeSe_2$

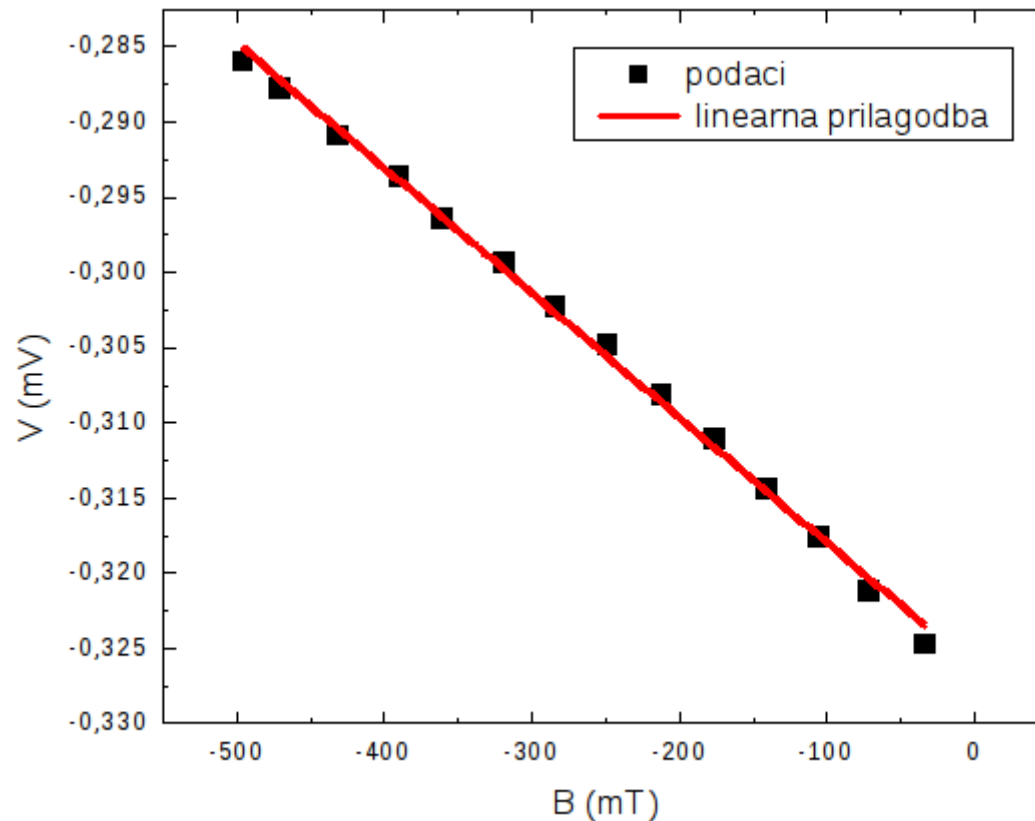
Rezultati

- mjerenje otpora u $a - b$ kristalnoj ravnini



Slika 12: Mjerenje otpora četverkontaktnom metodom za tri različita uzorka $BiSbTe_2S$

Rezultat Hallova konstanta



$n = (4.8 \pm 0.1) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
većinski nosioci
naboja su: **elektroni**

Slika 13: Mjerenje Hallova napona četverkontaktnom metodom za uzorak BiSbTe_2S .

Zaključak

- uspješno su sintetizirani dovoljno veliki monokristali TI za transportna mjerenja
- difrakcijom x-zraka na prahu određena im je struktura
- uzorci $BiSbTeSe_2$ su pokazali povećanje otpora za red veličine, a $BiSbTe_2S$ za dva reda veličine
- uočen doprinos vodljive površine kod $BiSbTe_2S$ koji počinje na temperaturama nižim od 120K
- mjerenjem Hallova koeficijenta utvrđeni elektroni kao većinski nosioci sa koncentracijom reda veličine 10^{17} cm^{-3}
- izrađen nosač za ILG i ponovljena CVT sinteza $ZrSiS$

Literatura

- 1) Y. Ando Topological insulators, arXiv:1304.5693v3, (2013)
- 2) M. Z. Hasan, C. L. Kane Topological insulators, arXiv:1002.3895v2, (2010)
- 3) N. W. Ashcroft, N. D. Mermin Solid state physics, SCP (1976)
- 4) I.R. Fisher et al. Principles of crystal growth of intermetallic...Philosophical Magazine, 92:19-21, 2401-2435 (2012)
- 5) Binnewies et al. Chemical Vapour Transport Reactions, de Gruyter (2012)
- 6) Schmidt et al. Chemical Vapor Transport Reactions—Methods, Materials, Modeling, <http://dx.doi.org/10.5772/55547>
- 7) Z. Ren et al. Optimizing the $\text{Bi}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Te}_3 - \text{ySe}_y$ solid solutions..., arXiv:1110.1788v1, (2011)
- 8) S. K. Kushwaha et al. Sn-doped $\text{Bi}_{1.1}\text{Sb}_{0.9}\text{Te}_2\text{S}$, a bulk topological insulator with ideal properties (2015)
- 9) L. M. Schoop et al. Dirac Cone Protected by Non-Symmorphic Symmetry and 3D Dirac Line Node in ZrSiS , arXiv:1509.00861v1, (2015)

Hvala na pažnji!