



Institut za fiziku



Optička svojstva jednoslojnog i dvoslojnog MoS_2

Valentino Jadriško

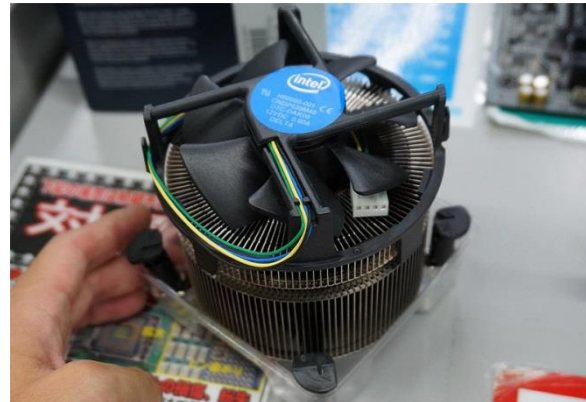
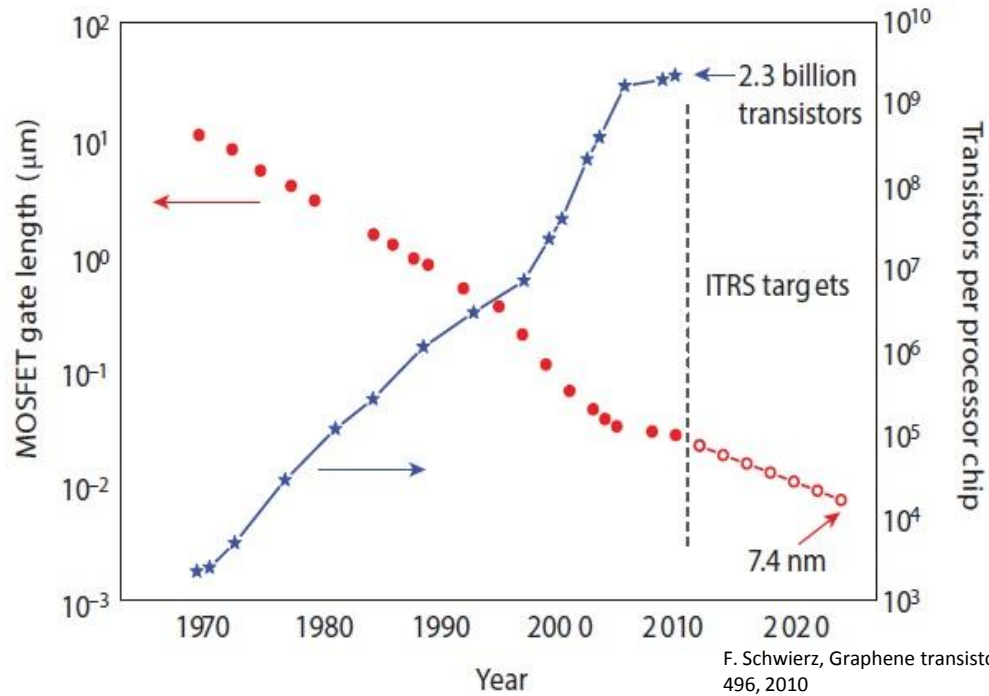
Mentor: Nataša Vujičić, IFS

Siječanj 2017

Sadržaj

- Motivacija
- 2D i TMD materijali
- MoS₂
- Eksperimentalni postav
- Rezultati
- Sažetak

Motivacija

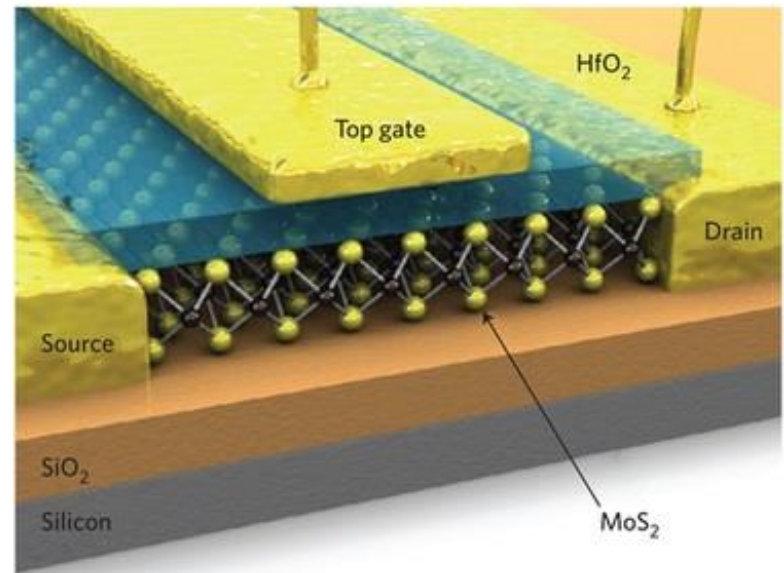


Motivacija

- Problemi u tranzistorskoj tehnologiji:
 - Smanjivanje proizvodnih procesa
 - Gubitak energije kroz toplinu
- Potreban on/off omjer struje:
 - Za stolna računala 10^4
 - Za mobitele i tablete 10^6
- Prirodna duljina

$$\lambda = \sqrt{\frac{\epsilon_{ch}}{\epsilon_{ox}} d_{ox} d_{ch}}$$

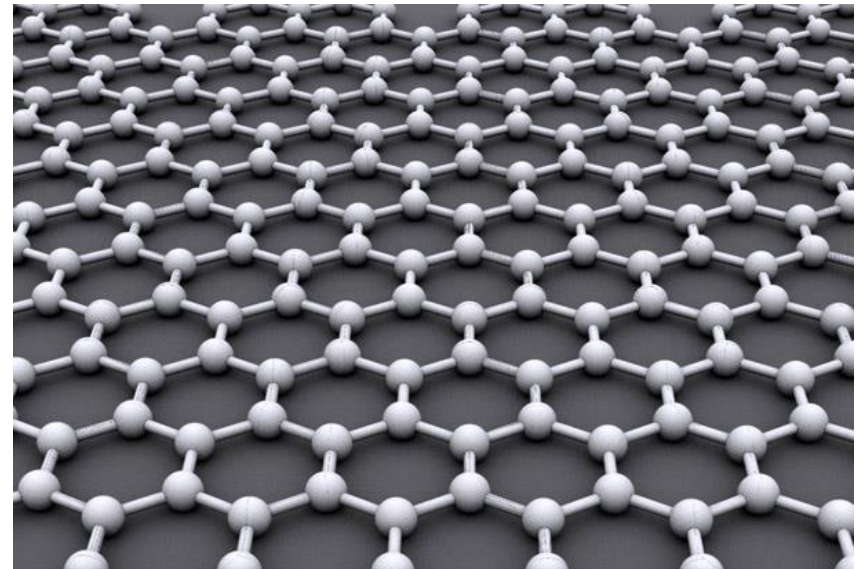
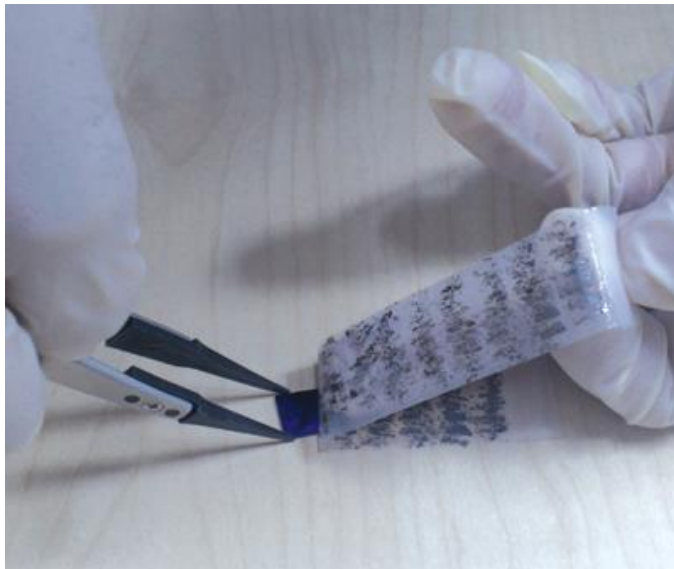
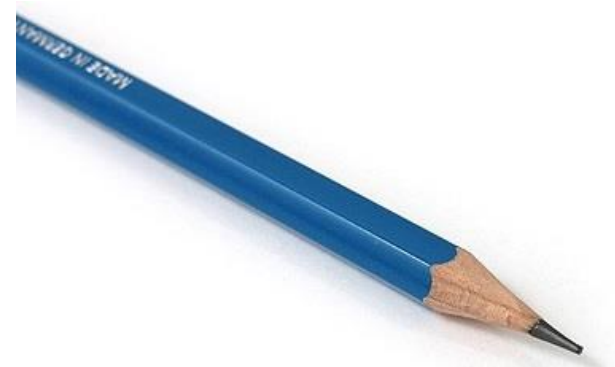
- $L \geq 3\lambda$



2D materijali

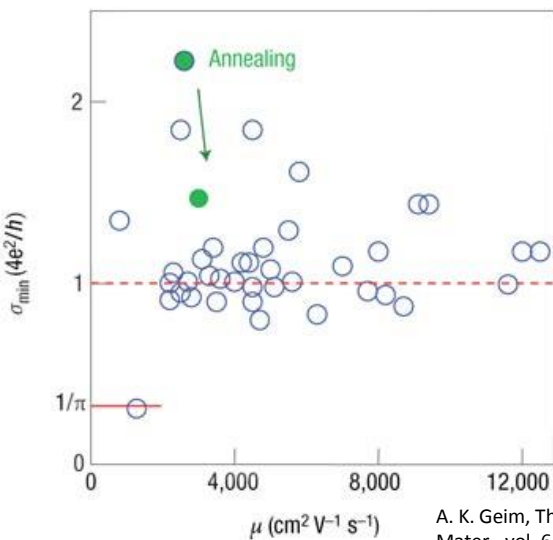
Grafen:

- Prvi 2D materijal
- Dobiven eksfolijacijom iz grafita



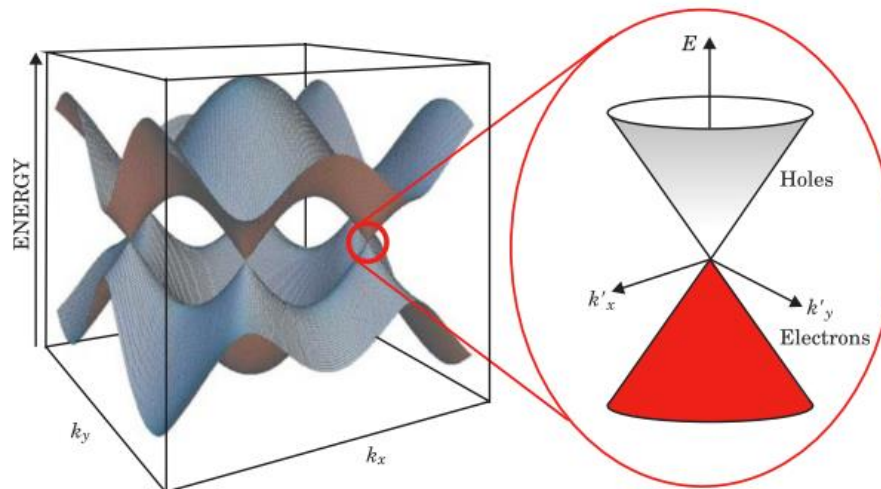
Grafen- svojstva

Velika mobilnost



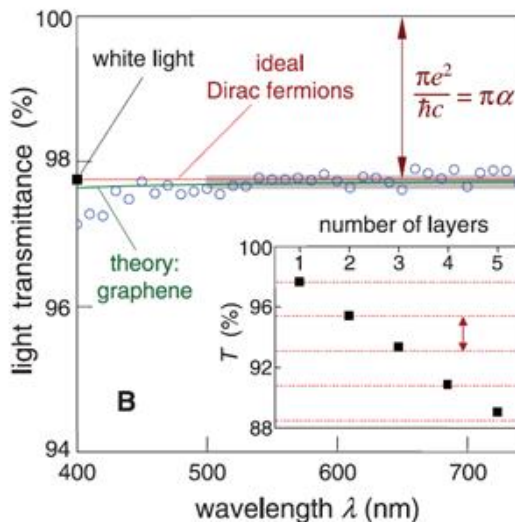
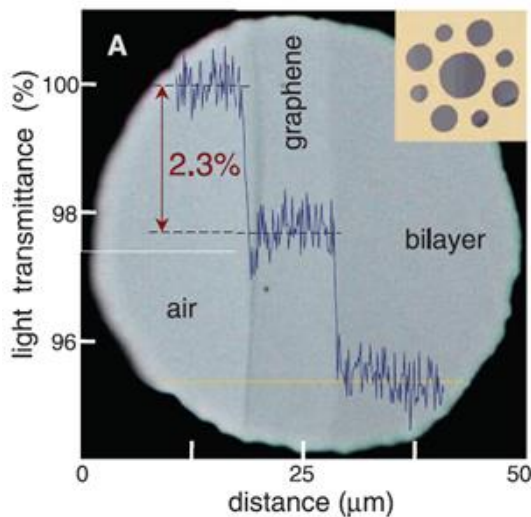
A. K. Geim, The rise of graphene, Nature Mater., vol. 6, 2007. 1.1.1

Odsustvo energetskega procjepa

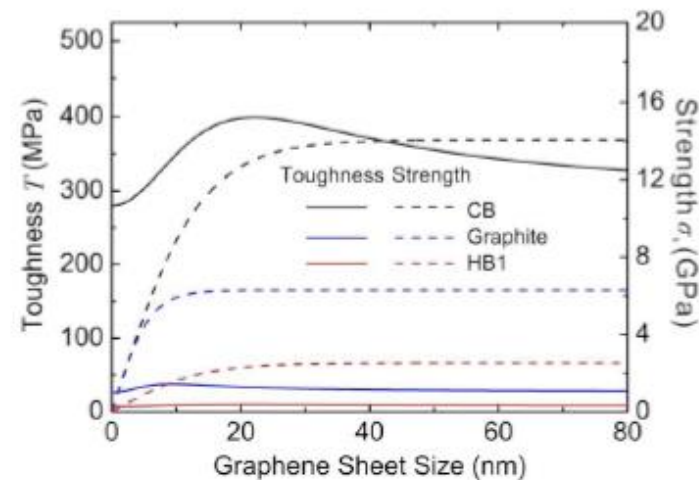


„Electronic transport in two-dimensional graphene“, S. Das Sarma, S. Adam, E. H. Hwang, and Enrico Rossi Rev. Mod. Phys. 83, 407, 16 May 2011

Konstantna apsorpcija u cijelom EM spektru (2.3%)

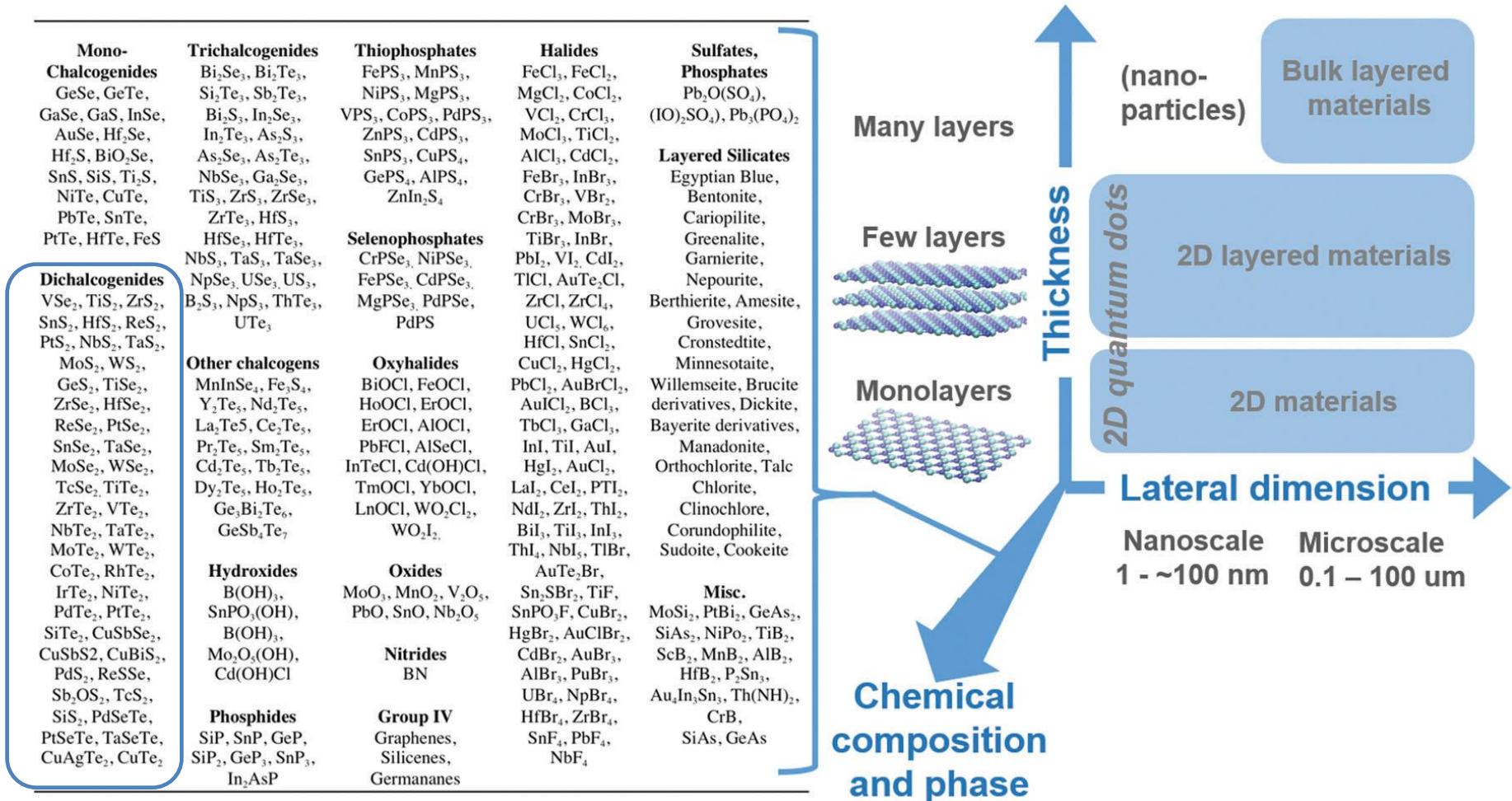


Čvrstoća



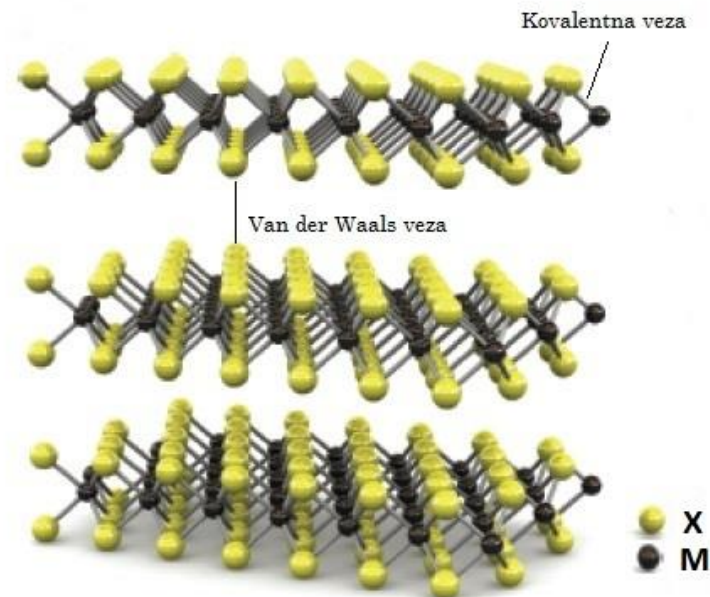
2D materijali

Nova generacija 2D materijala nakon grafena



TMD (eng. Transition metal dichalcogenides)

- Slojeviti van der Waals materijali
- Formula MX_2
- M je prijelazni metal: Mo, W, Ta, Nb, Ti, Re
- X je halkogenid: S, Se, Te



Električna svojstva	Materijal
Poluvodič	MoS₂ , MoSe ₂ , WS ₂ , WSe ₂ , MoTe ₂ , WTe ₂
Polumetal	TiS ₂ , TiSe ₂ ,
Metal, CDW, supravodič	NbSe ₂ , NbS ₂ , NbTe ₂ , TaS ₂ , TaSe ₂ , TaTe ₂

MoS₂

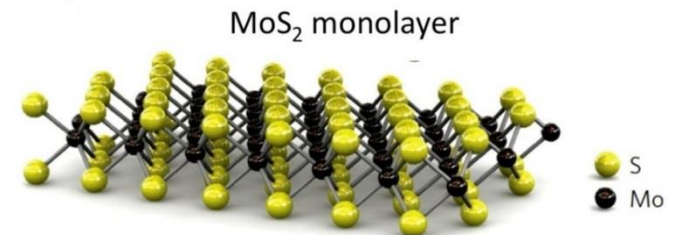


- Cjeloviti oblik:

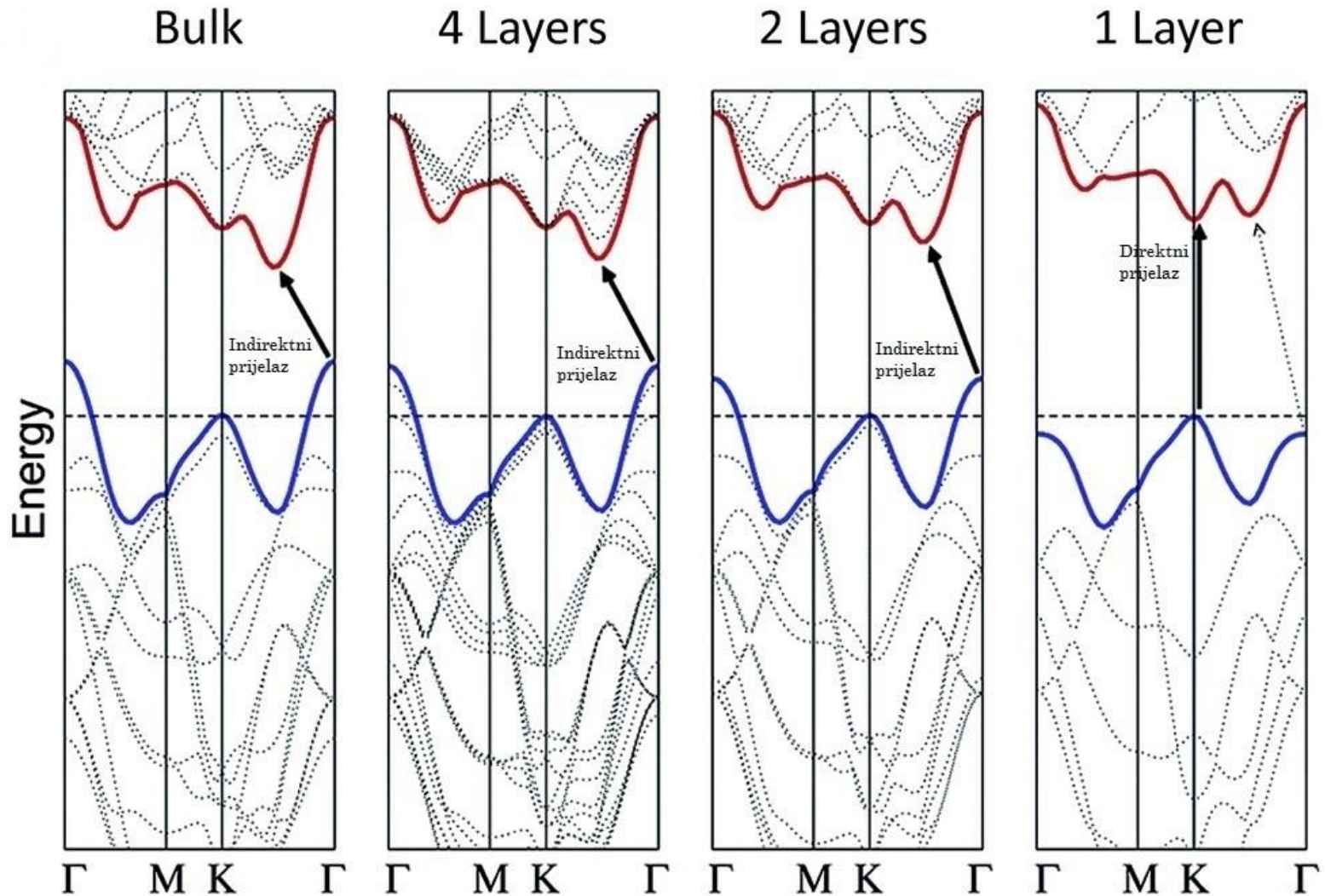
- Dijamagnetični poluvodič
- Indirektni procjep 1.2 eV
- Lubrikant
- Pronalazi se diljem svijeta u rudi molibdenit

- 2D oblik:

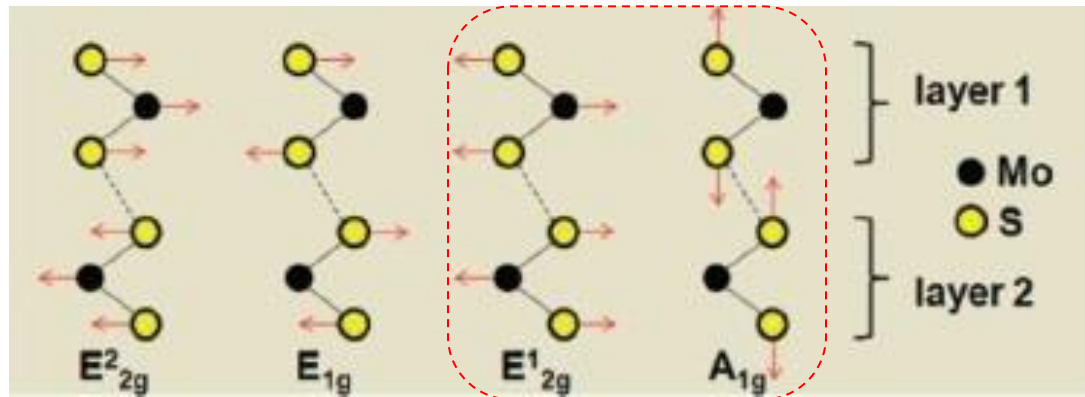
- Jednoslojan MoS₂ :
 - » Direktni procjep 1.9 eV u vidljivom dijelu EM spektra
- Dvoslojan MoS₂:
 - » Indirektni procjep
- Primjena u elektronici i optoelektronici



Elektronska struktura MoS₂



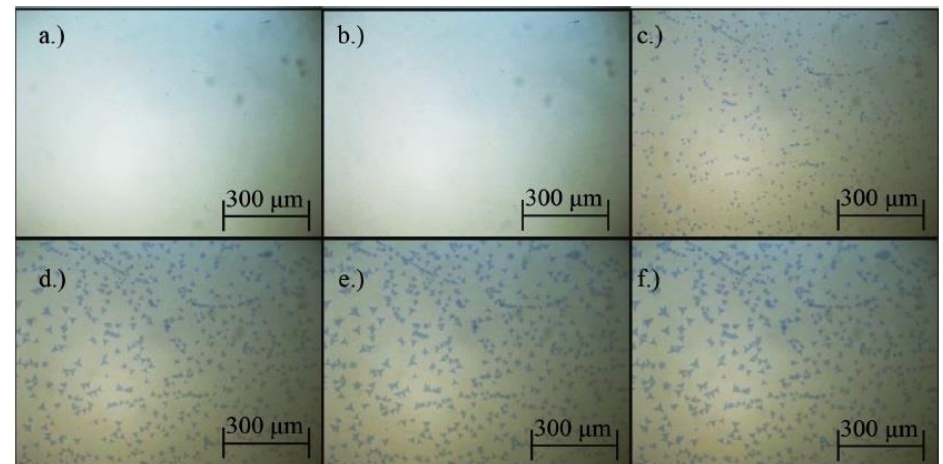
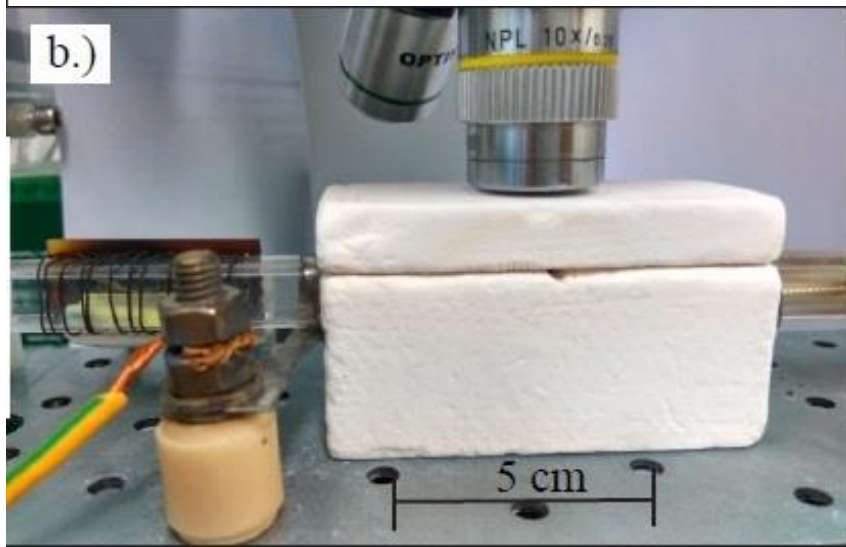
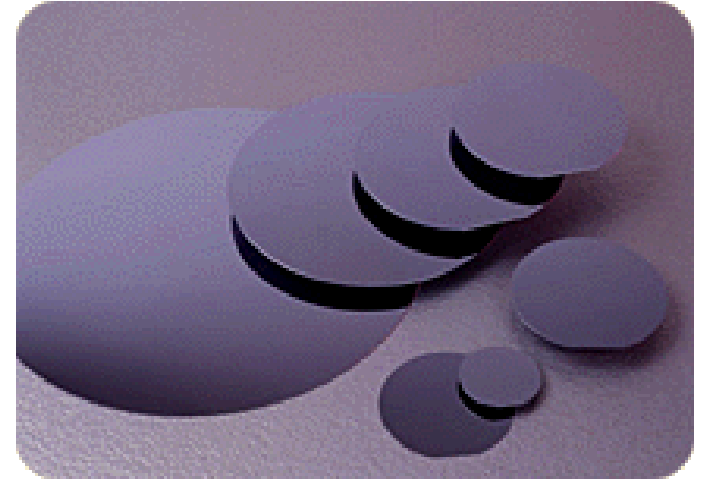
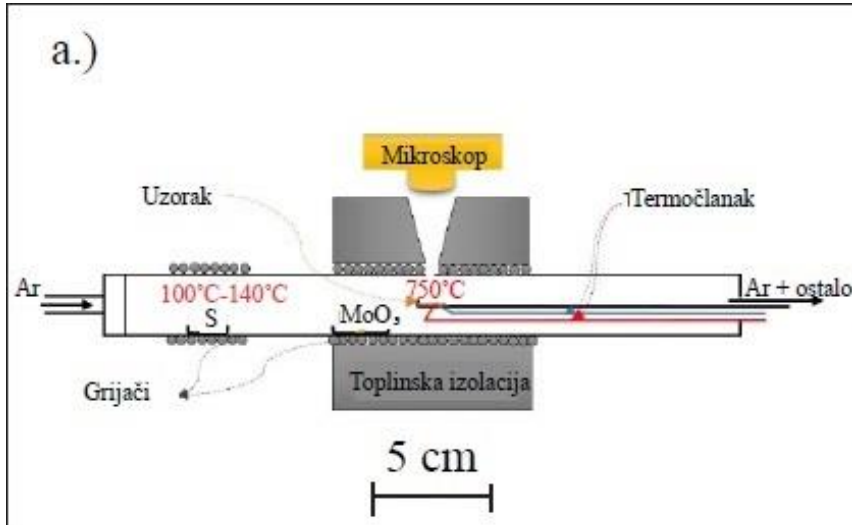
Raman aktivni modovi MoS₂



- E_{2g}² optičke vibracije susjednih S-Mo-S slojeva u protufazi
- E_{1g} optičke vibracije S atoma u ravnini, u protufazi
- E_{2g}¹ optičke vibracije susjednih Mo i S atoma u ravnini, u protufazi
- A_{1g} optičke vibracije S atoma izvan ravnine, u protufazi

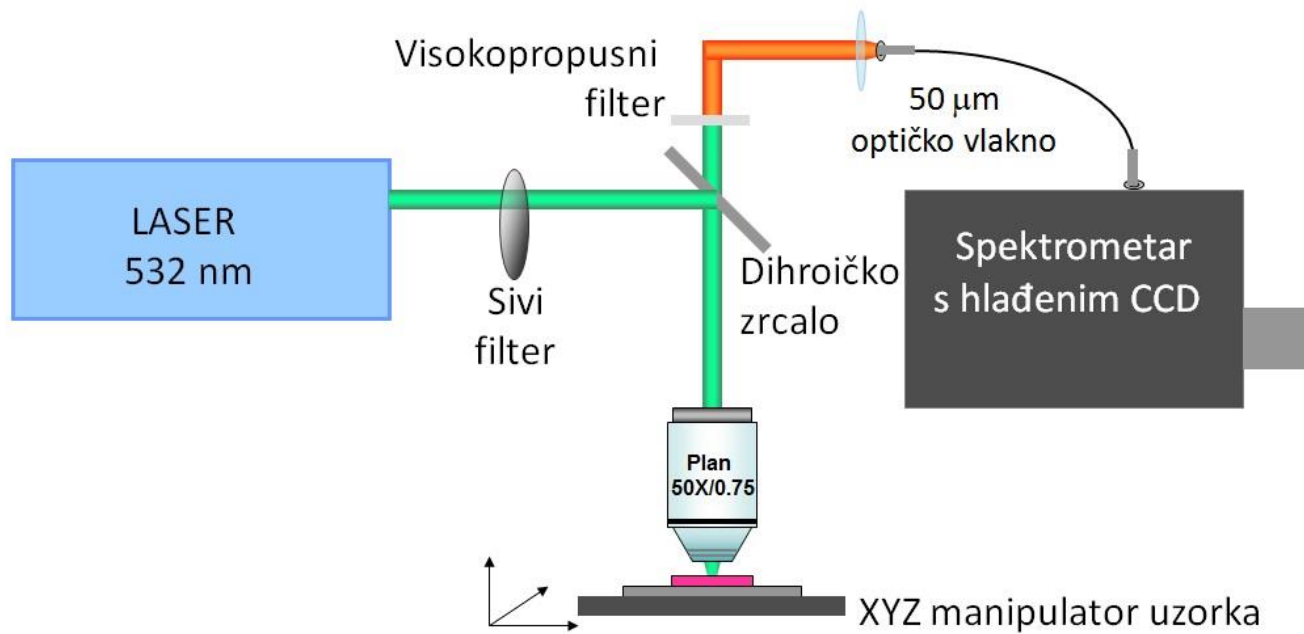
Eksperimentalni postav

- Priprema uzoraka:
 - CVD (eng. Chemical vapor deposition)
 - Podloga SiO_2/Si wafer

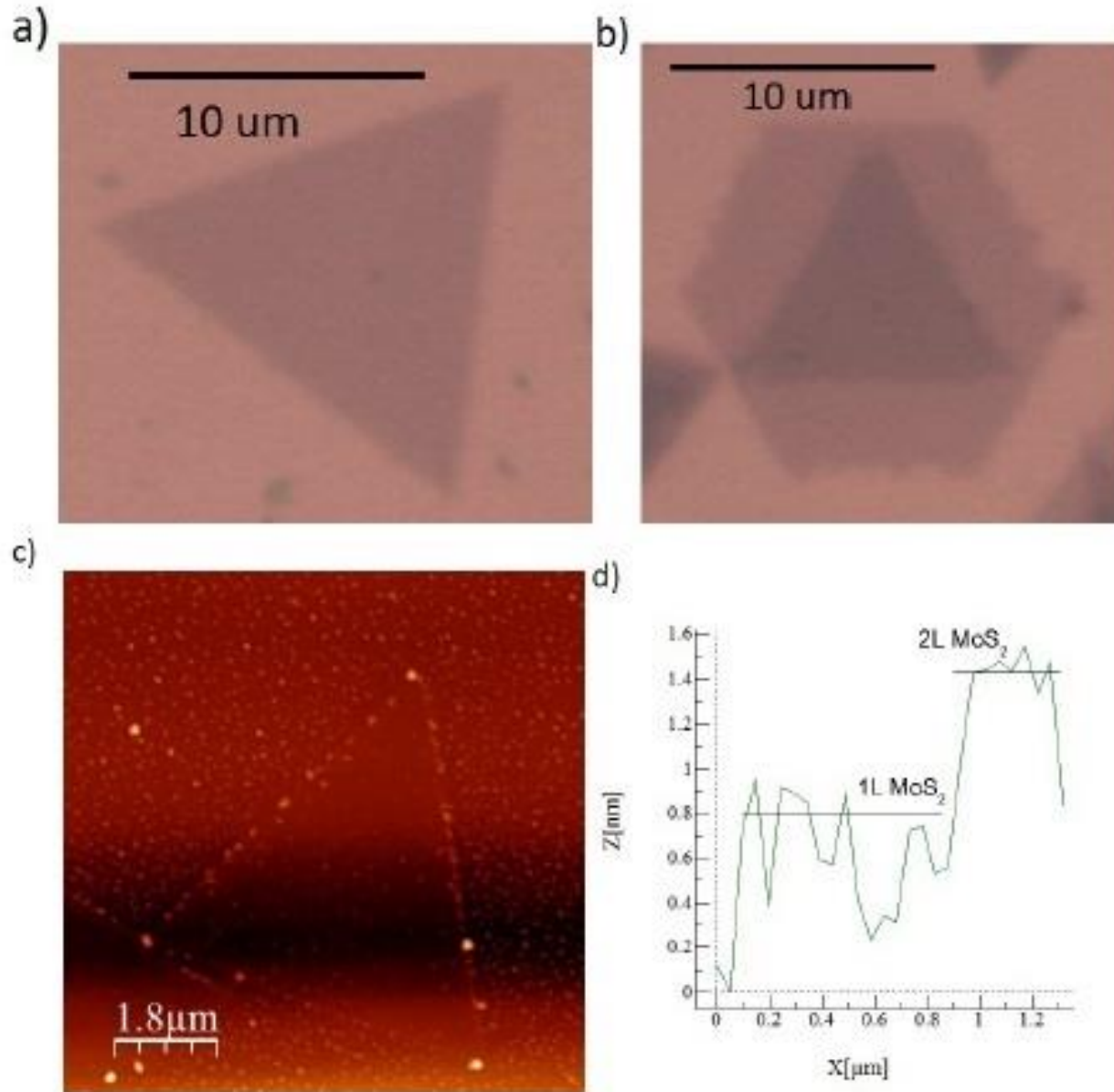


Eksperimentalni postav

- Optički postav Raman spektrometra:
 - Konfokalni mikroskop
 - Kućne izrade



AFM karakterizacija



Ekscitoni

- Vezana stanja par šupljina elektron:

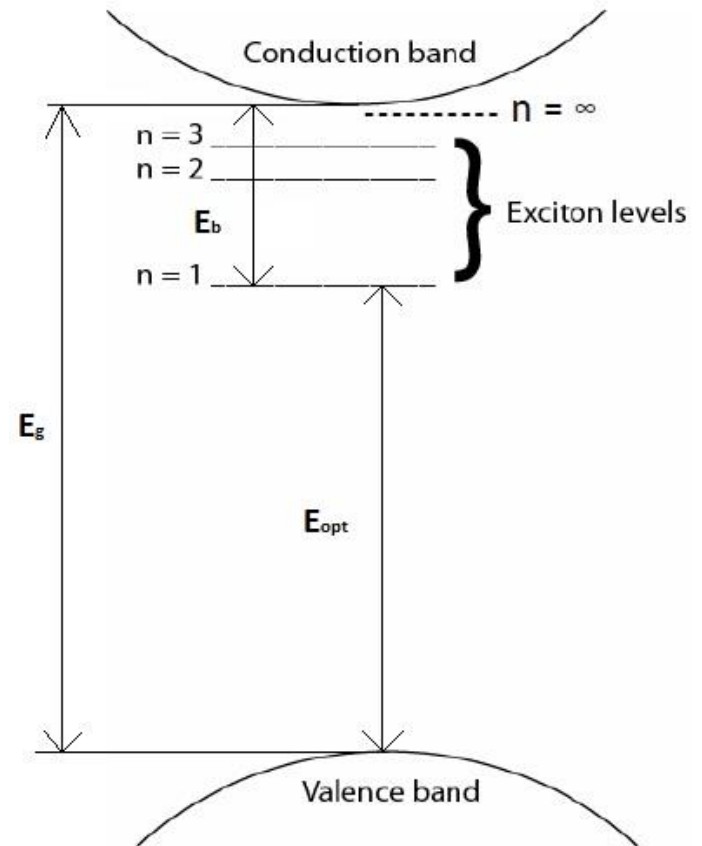
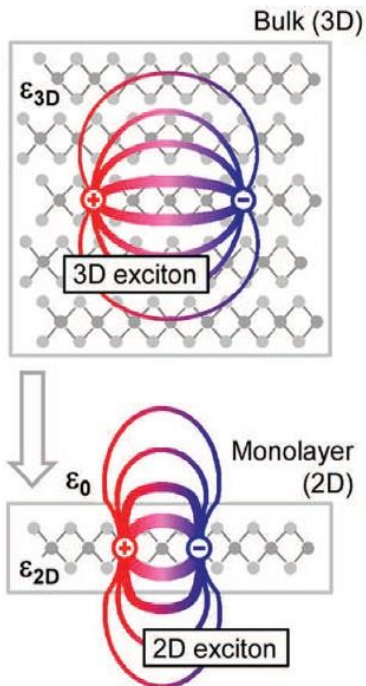
- Frenkelovi:

- » Organski materijali

- Wannier-Mottovi:

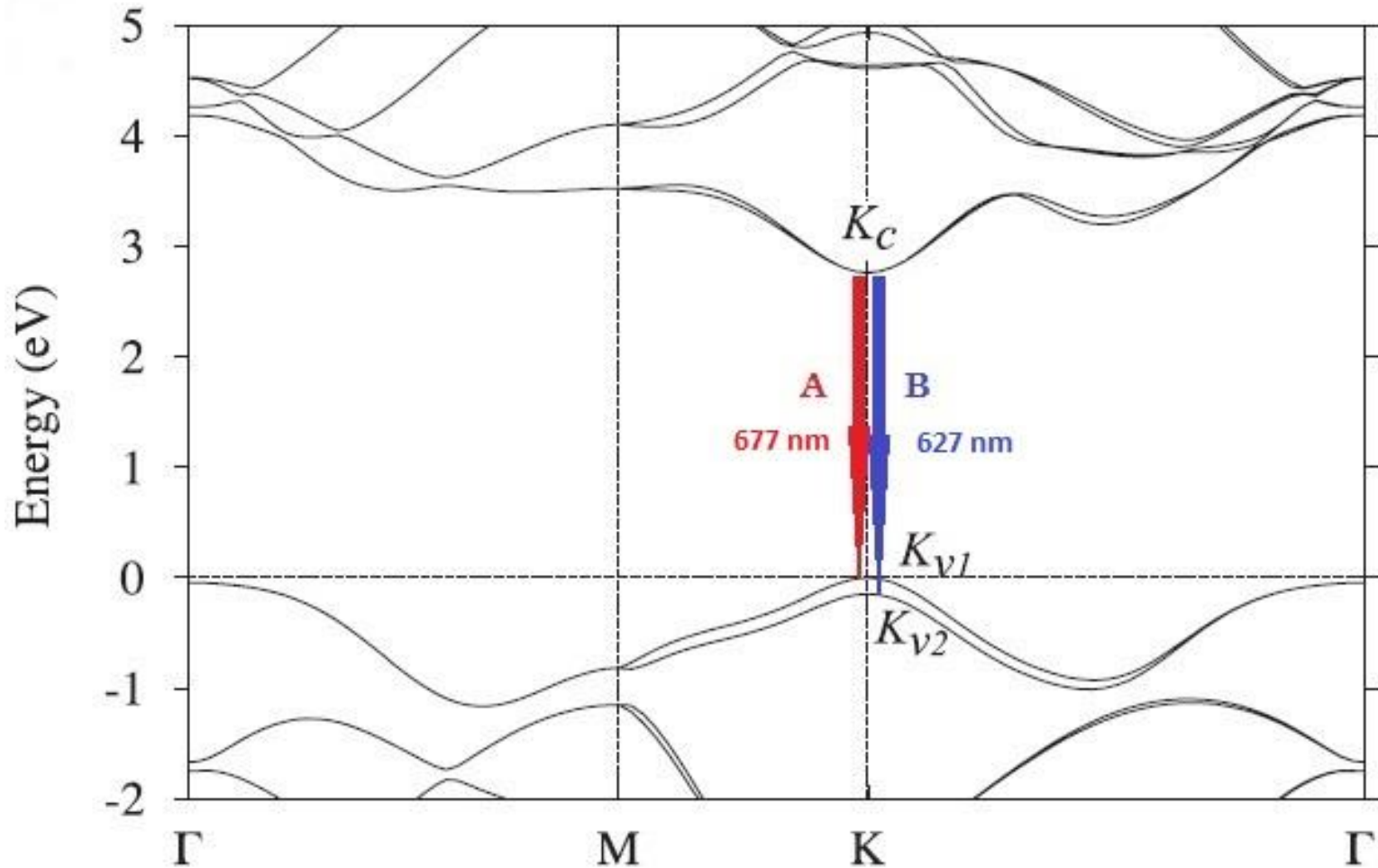
- » Anorganski poluvodiči

- » Energija vezanja 500 meV

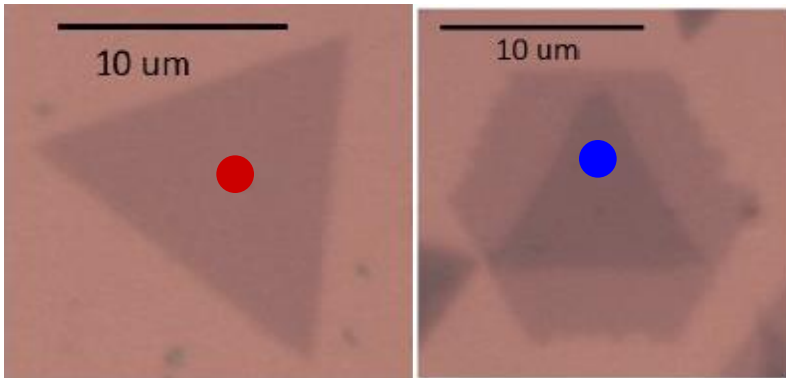
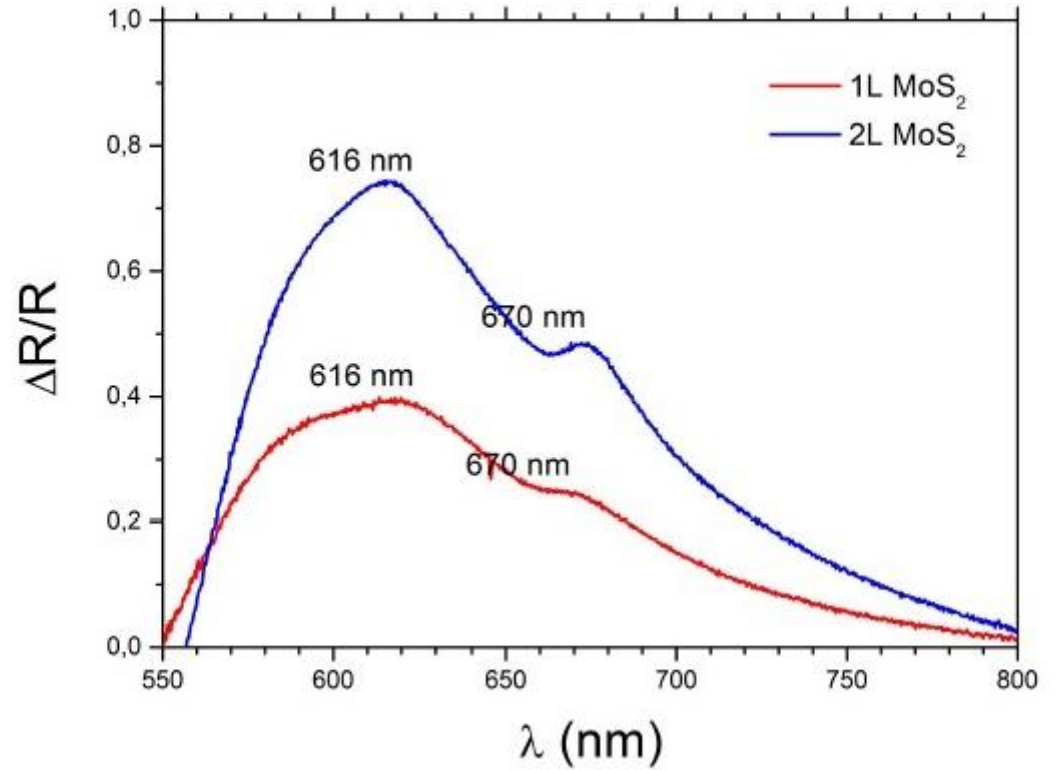
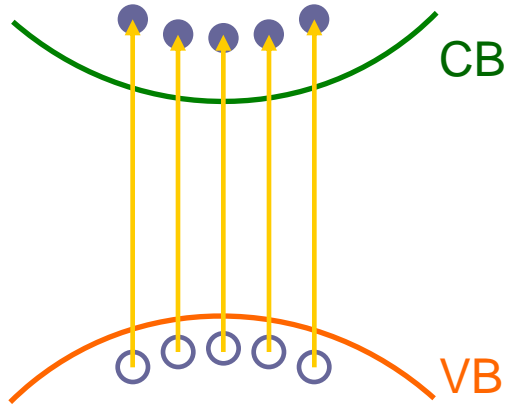


A. Chernikov, T. C. Berkelbach, H. M. Hill, A. Rigosi, Y. Li, O. B. Aslan, D. R. Reichman, M. S. Hybertsen, and T. F. Heinz, „Exciton binding energy and nonhydrogenic rydberg series in monolayer WS₂”, Phys. Rev. Lett., vol. 113, no. 7, p. 076 802, 2014.

Cijepanje valentne vrpce MoS₂

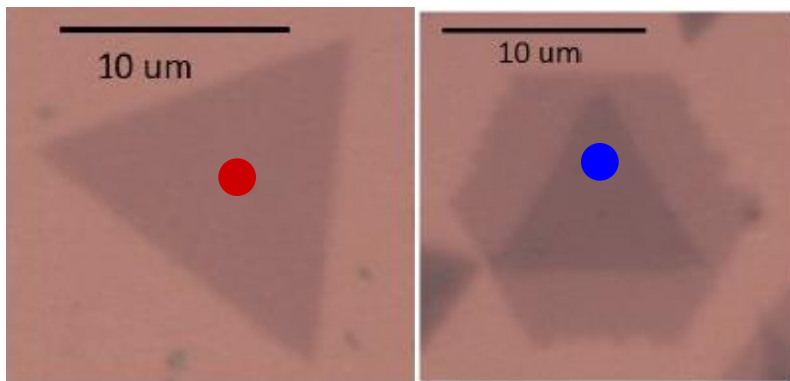
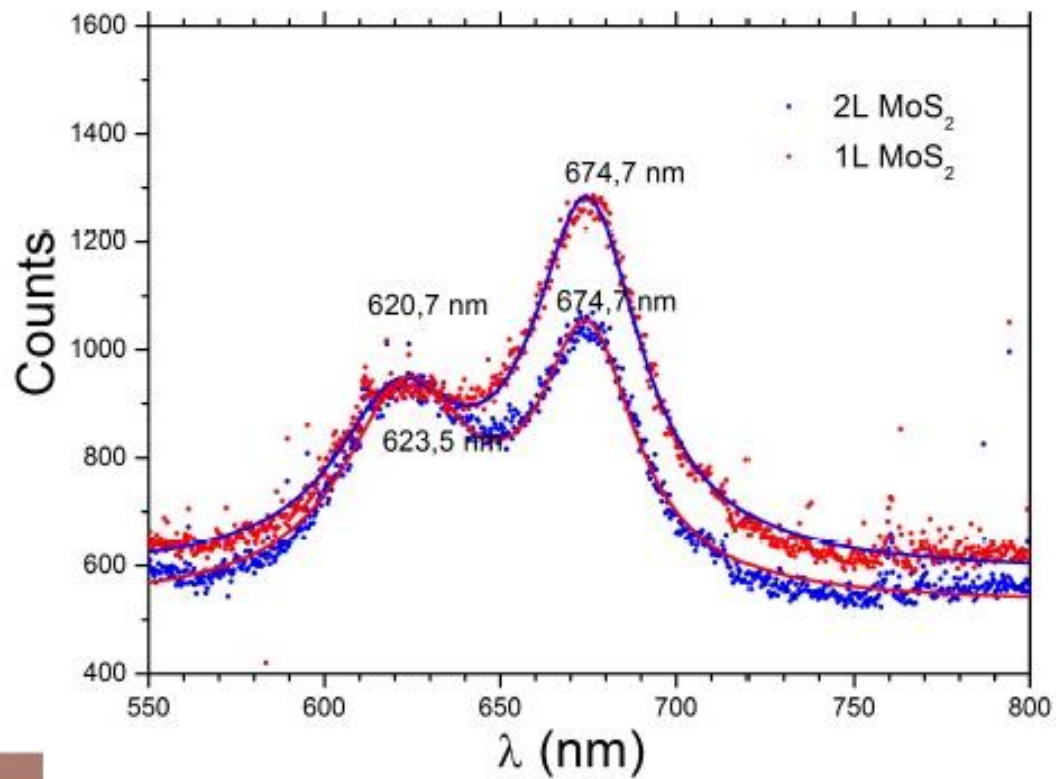
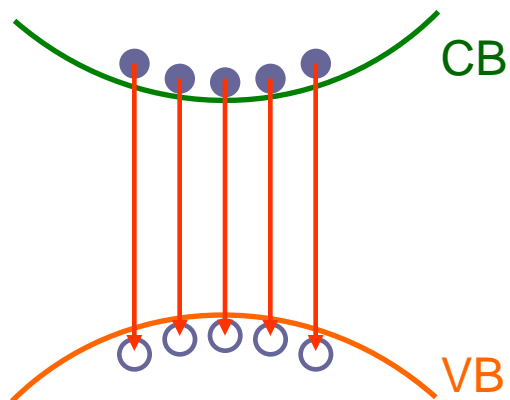


Apsorpcija



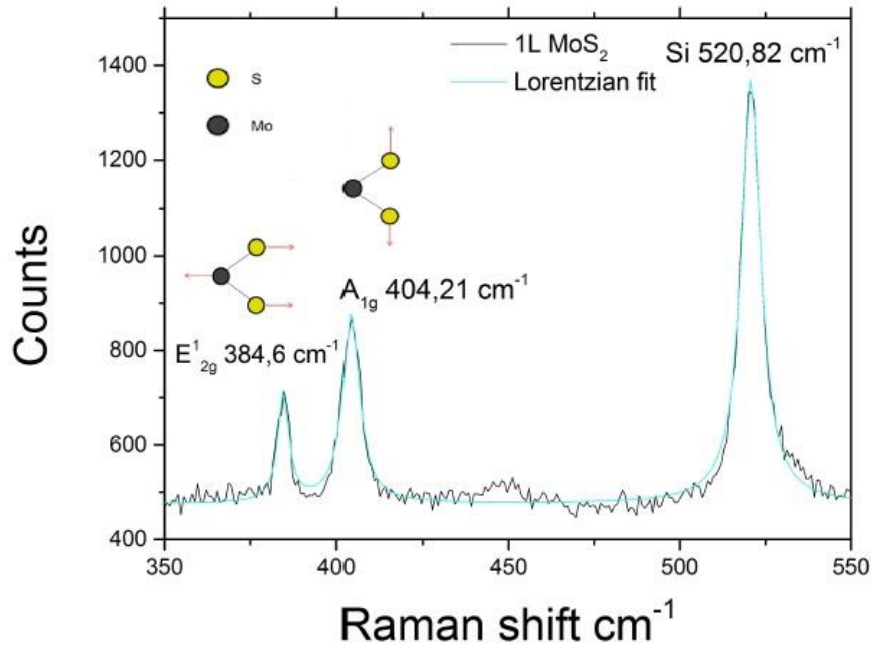
$$\Delta R/R = 1 - \frac{R_{\text{uzorak}}}{R_{\text{podloga}}}$$

Fotoluminiscencija

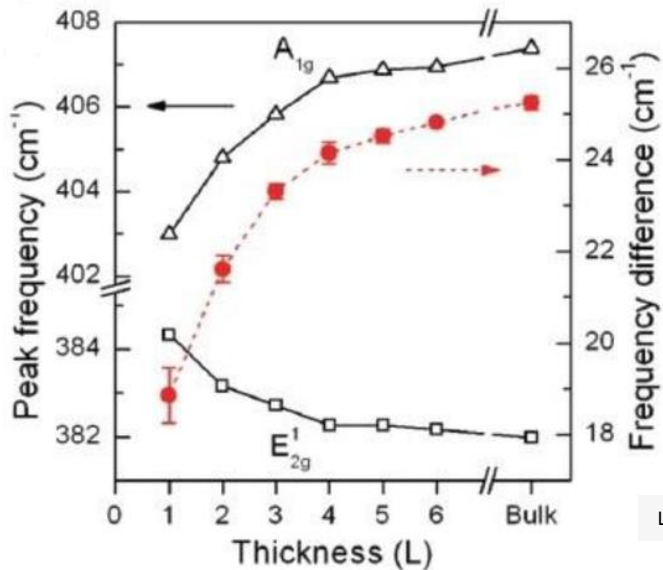
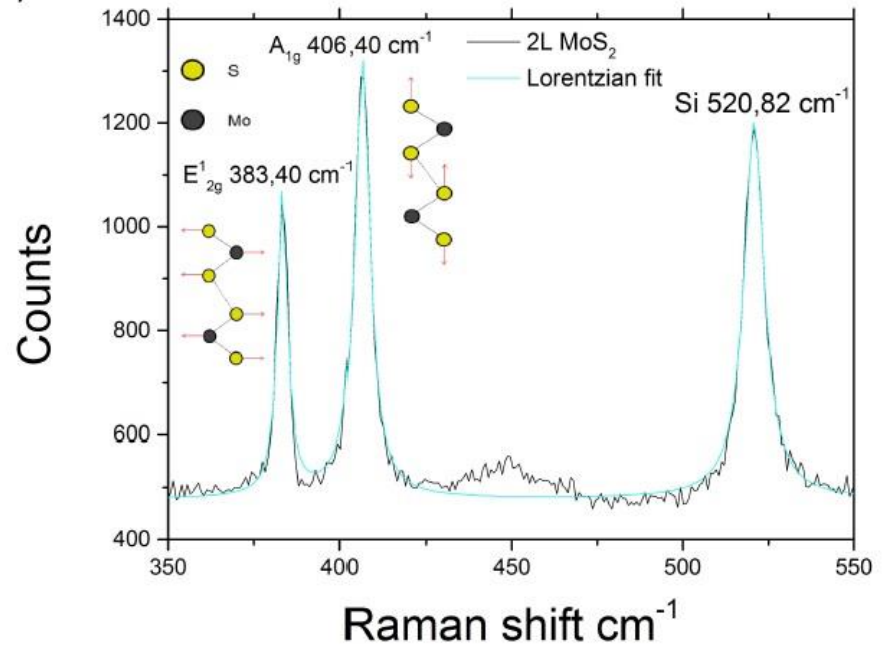


Raman spektroskopija

a)



b)



Zaključak

- AFM karakterizacija:
 - Izmjerali visine jednosloja i dvosloja MoS₂
 - Odstupanje od teoretske debljine jednoslojnog MoS₂ na podlozi zbog moguće dodatne adsorpcije
- Fotoluminiscencija:
 - Porast intenziteta fluorescencije ekscitona A na prijelazu s dvosloja na jednosloj MoS₂
 - Položaj ekscitonskih rezonanci pomaknut u crveno u odnosu na apsorpcijski spektar što je posljedica Stokeovog pomaka
- Apsorpcija:
 - Intenzitet apsorpcijskog spektra dvoslojnog MoS₂ je veći od jednoslojnog
 - Položaj rezonantnih maksimuma ostaju isti u jednoslojnom i dvoslojnom MoS₂
- Raman spektroskopija:
 - Frekvencija E¹_{2g} vibracijskog moda se smanjuje, dok se frekvencija A_{1g} povećava
 - Pomak frekvencije E¹_{2g} u crveno neočekivan unutar modela slabog vežanja vdW sila među slojevima
 - Ukazuje na postojanje drugih bitnih pojava:
 - » Strukturne pojave uzrokovane različitim vezanjima između slojeva
 - » Dugodosežne Coulomb interakcije među slojevima

Daljnji planovi

- Nastavak razvoja optičkih metoda za karakterizaciju TMD
 - prostorno mapiranje
 - polarizacijski osjetljiva mjerenja
 - druga generacija *home-made* spektrometra
- Sinteza novih materijala iz porodice TMD
 - ispitivanja njihovih optičkih svojstava
- Heterostrukture

Zahvale

- Mentorici: Nataši Vujičić na stalnoj podršci, ugodnoj radnoj atmosferi i savjetima.
- Voditelju projekta: Marko Kralj
- Kolegama:
 - Davor Čapeta
 - Borna Radatović
 - Ida Delač-Marion
 - Borna Pelić
 - Marko Spasenović



Institut za fiziku

