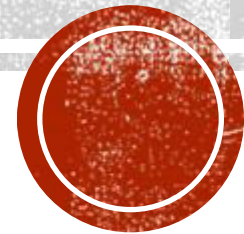


TRANZIJENTNA SPEKTROSKOPIJA MANJINSKIH NOSIOCA



Gabrijela Markota

Mentor: dr.sc. Ivana Capan

PMF 2020.

SADRŽAJ

Teorijski uvod

- Poluvodič
- Silicijev karbid SiC
- Defekti u kristalu
- Plitki i duboki energijski nivoi
- Interakcija dubokih nivoa s vrpčama



Mjerni uređaj i eksperimentalne metode

- Mjerni uređaji i uzorak
- Tranzijentna spektroskopija manjinskih nosioca
- Tranzijentna spektroskopija dubokih nivoa



Rezultati i analiza mjerenja

- DLTS
- MCTS
- Arrhenius grafovi i aktivacijske energije
- Laplace - MCTS



Zaključak



MOTIVACIJA

- Razvoj poluvodičkih detektora
- Proučavanje defekata u kristalima
- Unaprjeđenje električnih svojstava materijala
- Povećanje primjenjivosti poluvodiča u uređajima

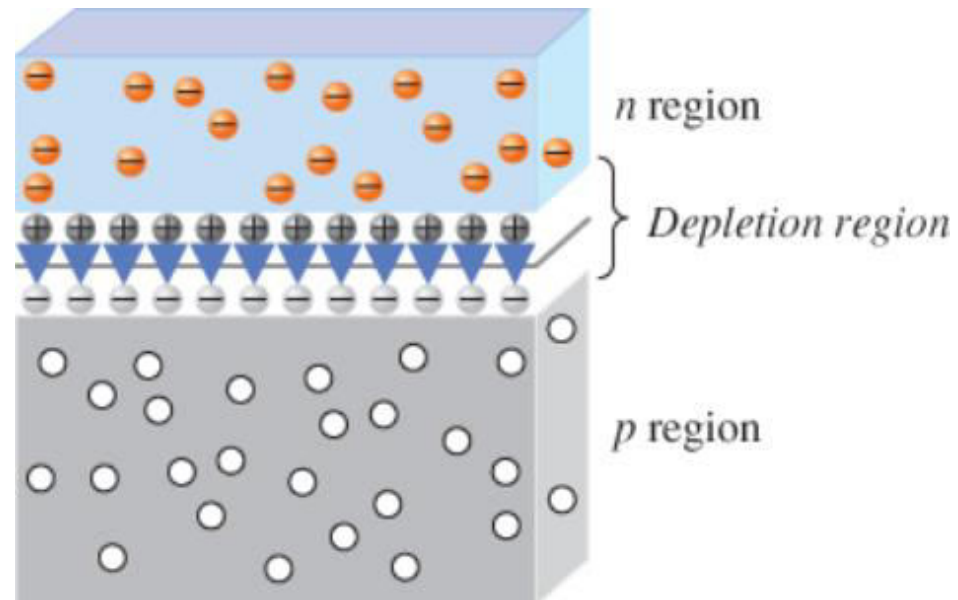
■ POLUVODIČI

- Električna vodljivost
- Širina zabranjenog područja
- Čisti ili intrinzični poluvodiči
- Primjesni ili ekstrinzični poluvodiči

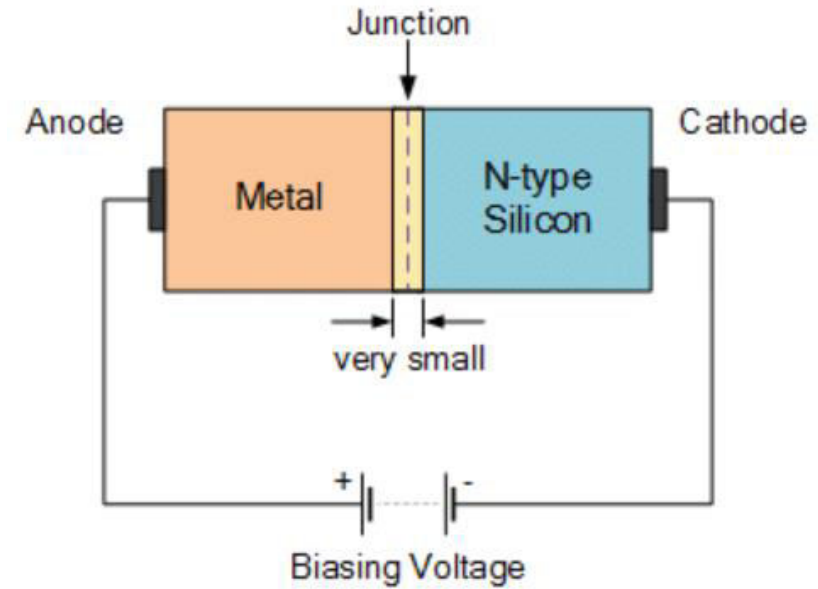


UVOD

P-N DIODA

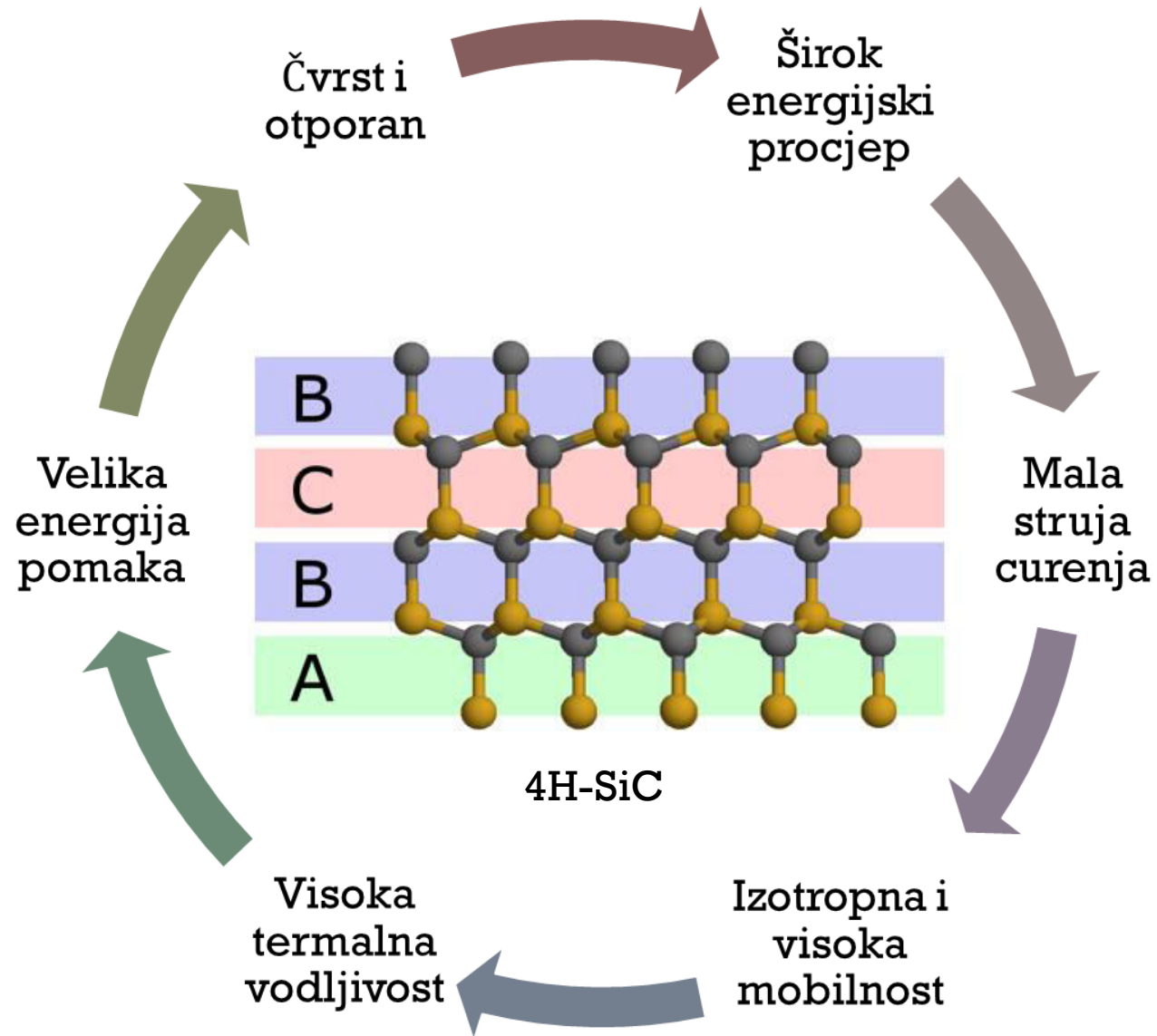


SCHOTTKY DIODA



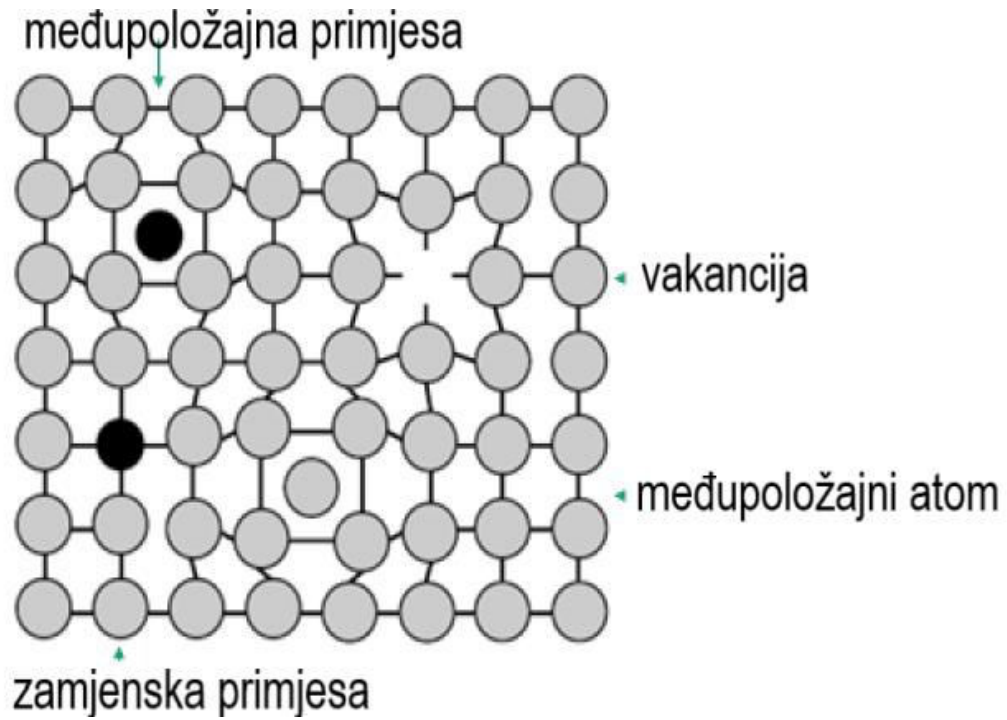
■ POLUVODIČKE DIODE





■ SILICIJ-KARBID



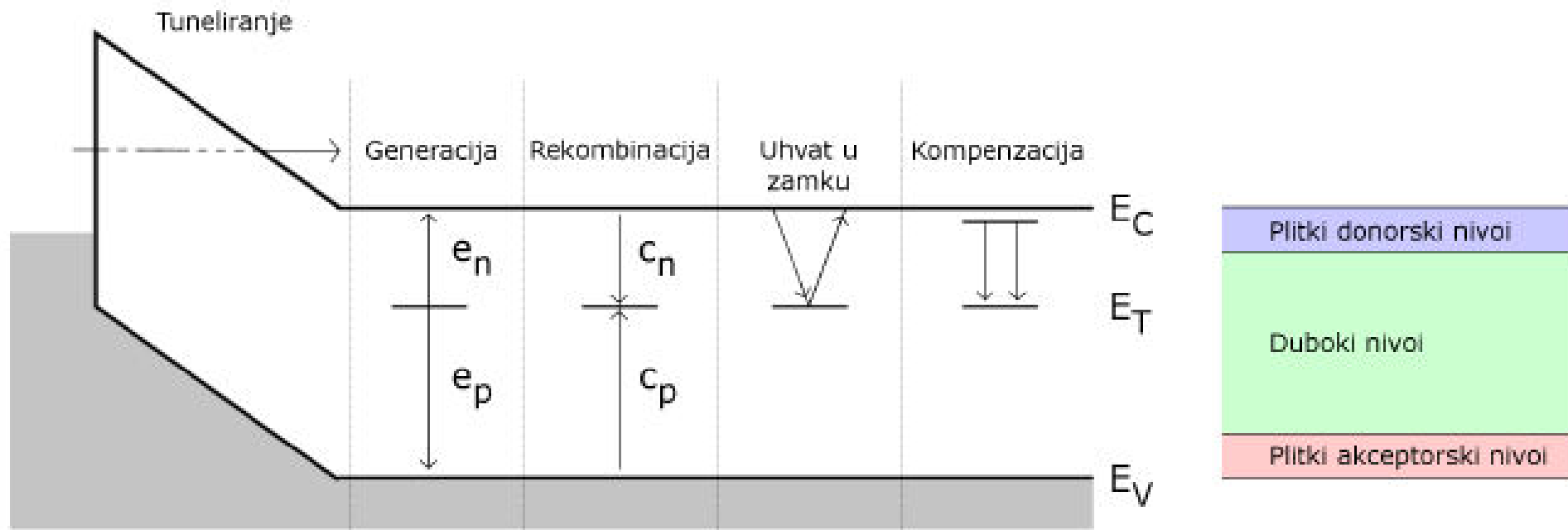


■ DEFEKTI U KRISTALU

Narušavanje periodičnosti

Unošenje energijskih nivoa

Karakterizacija



■ PLITKI I DUBOKI ENERGIJSKI NIVOI

DONORI: unose plitke donorske nivoe, e^- predaju u vodljivu vrpce, postaju pozitivno nabijeni

AKCEPTORI: unose plitke akceptorske nivoe, primaju e^- iz valentne vrpce, postaju negativno nabijeni

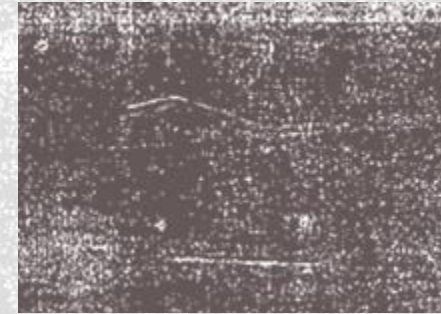
■ INTERAKCIJA DUBOKIH NIVOVA S VRPCAMA

- c_n i c_p vjerojatnosti uhvata
- e_n i e_p vjerojatnosti emisije
- N_T koncentracija popunjenih dubokih nivoa

$$\frac{dp_T}{dt} = (e_n + c_p)(N_T - p_T) - (c_n + e_p)p_T$$

$$e_p(T) = K_T \sigma_p T^2 \exp\left(-\frac{E_p^a}{k_B T}\right)$$

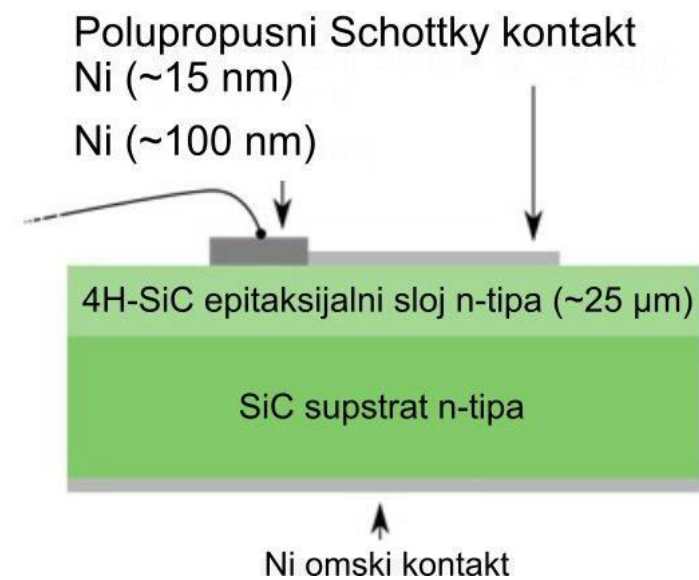
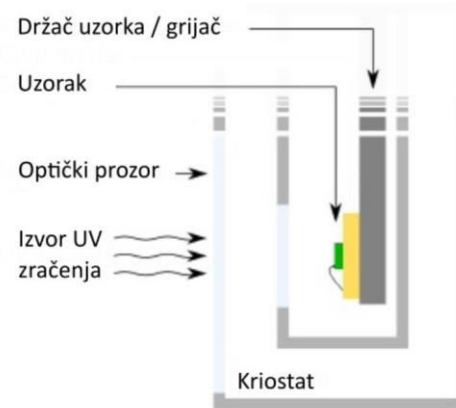
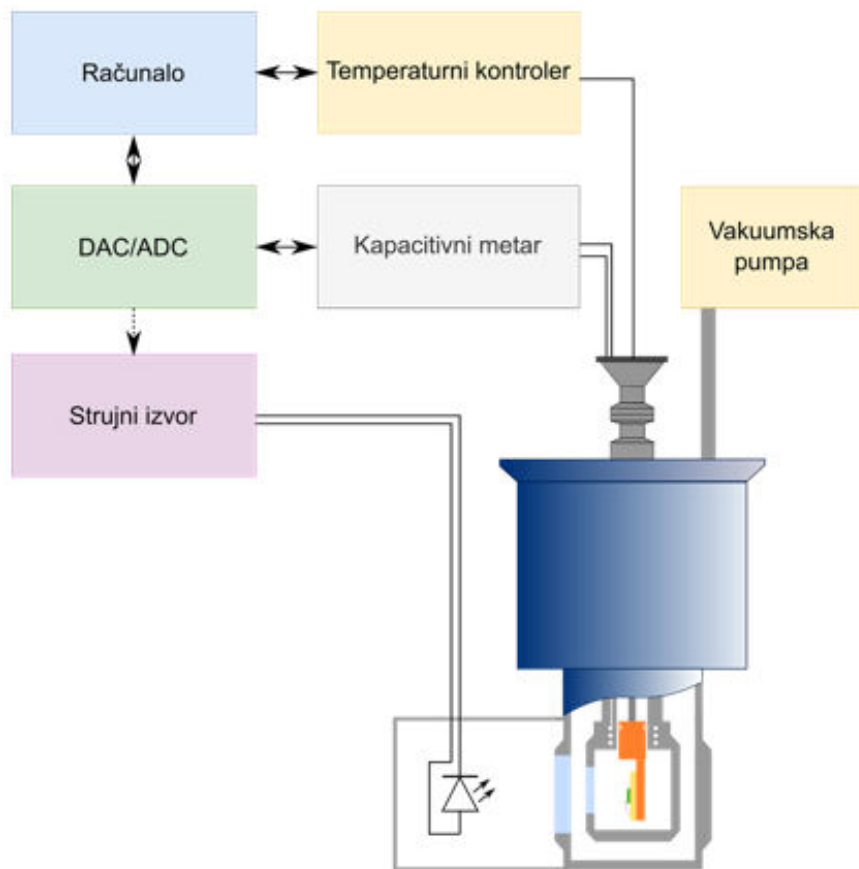
$$\sigma_p(T) = \sigma_\infty \exp\left(-\frac{\Delta E_\sigma^h}{k_B T}\right)$$

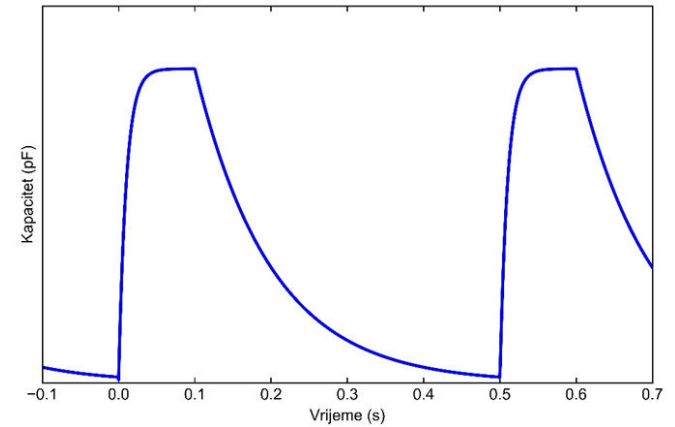
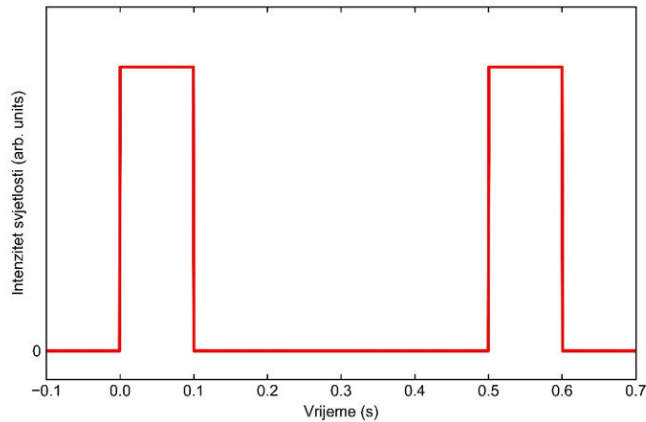
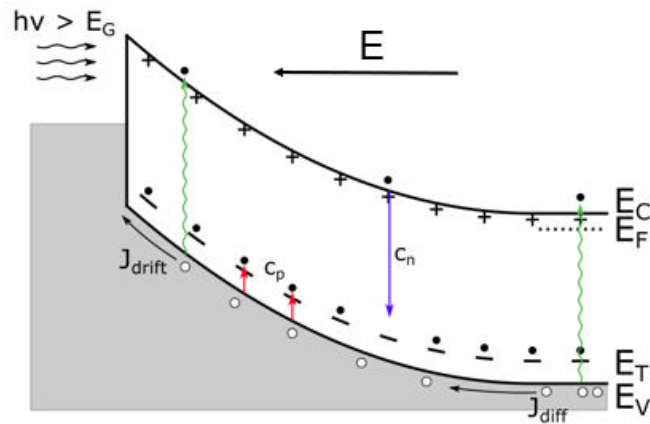


EKSPERIMENTALNI POSTAV I MJERENJA



■ MJERNI UREĐAJ I UZORAK

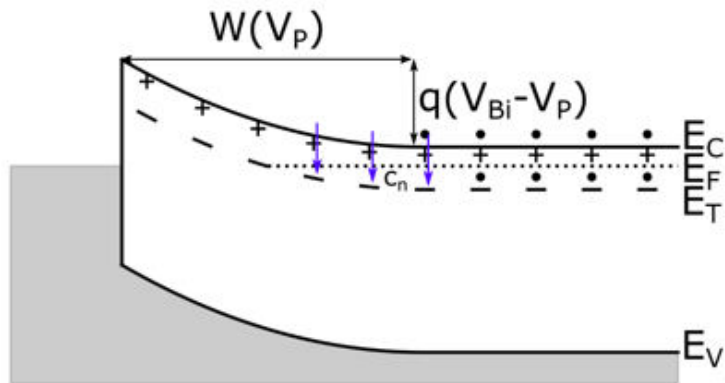




■ TRANZIJENTNA SPEKTROSKOPIJA MANJINSKIH NOSIOCA

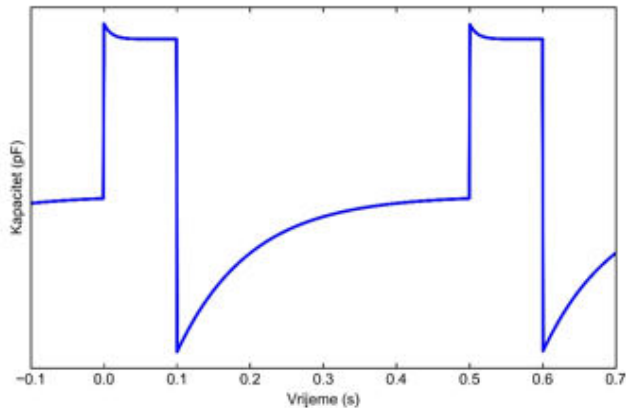
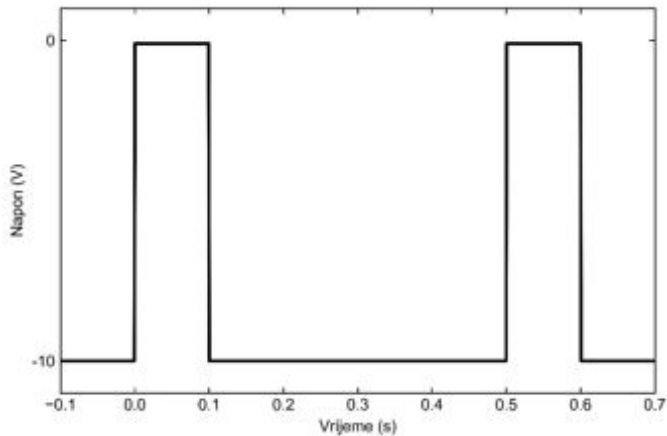
- Proučavanje električnih aktivnih defekata
- Pobuđivanje pulsevima svjetlosti
- Popunjavanje zamki za šupljine
- MCC → MCTS
- Laplace-MCTS metoda visoke rezolucije određivanje emisije prisutnih nivoa na određenoj temperaturi





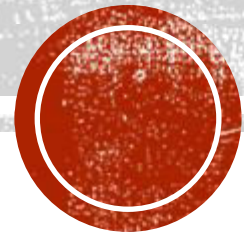
■ TRANZIJENTNA SPEKTROSKOPIJA DUBOKIH NIVOVA

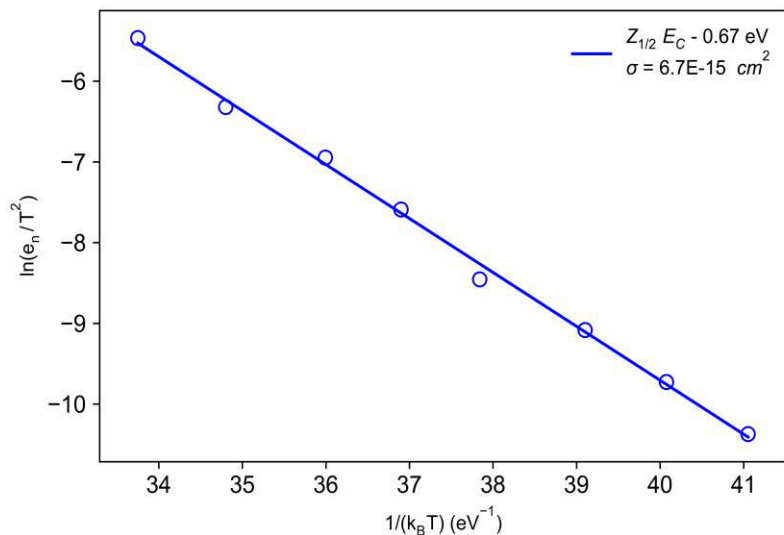
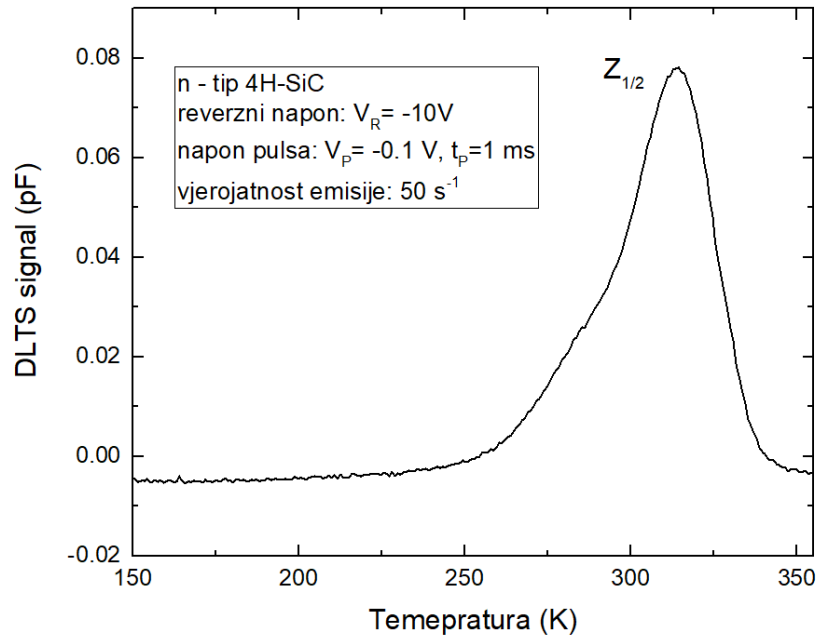
- Reverzni napon
- Električni pulsevi
- Smanjenje područja osiromašenja tijekom pulsa
- Popunjavanje dubokih nivoa
- Laplace-DLTS





REZULTATI I ANALIZA MJERENJA





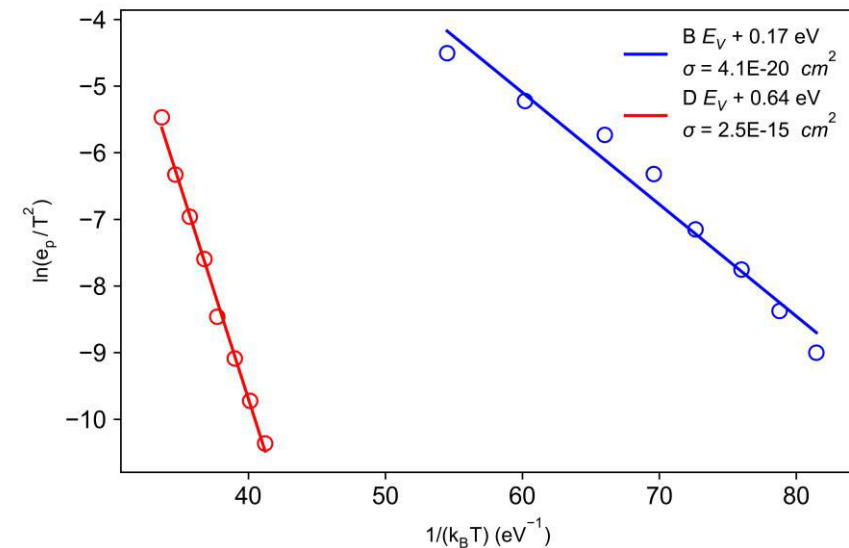
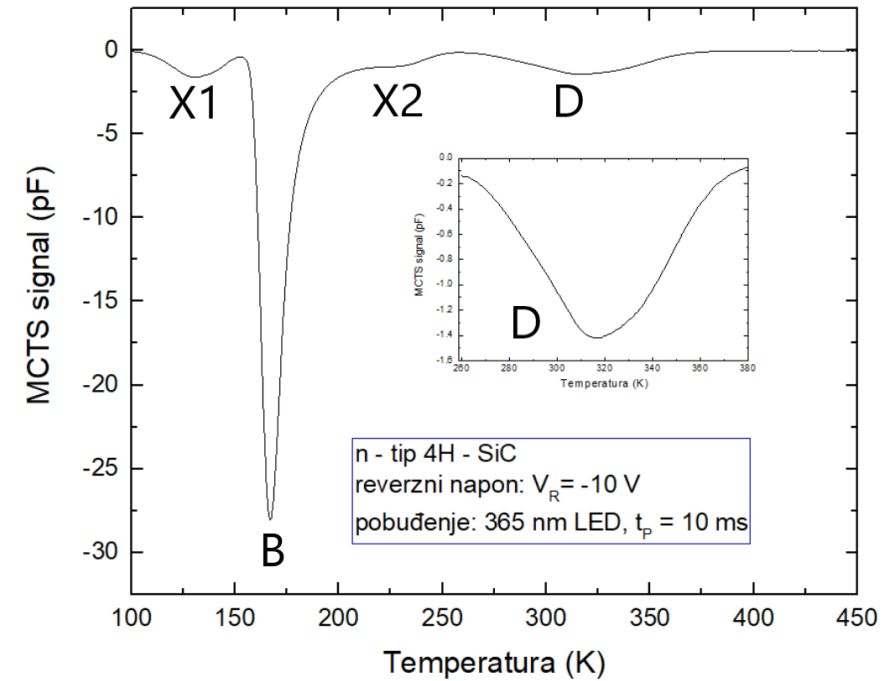
■ DLTS

- $Z_{1/2}$ (320 K) - dvostruko akceptorsko stanje ($=/0$) vakancije ugljika V_C
- $Z_1 = V_C(h)$ energije $E_C - (0.52 - 0.67) eV$
- $Z_1 = V_C(k)$ energije $E_C - (0.45 - 0.71) eV$
- Visina vrha proporcionalna koncentraciji pripadnog dubokog nivoa ($10^{12} - 10^{13} cm^{-3}$)

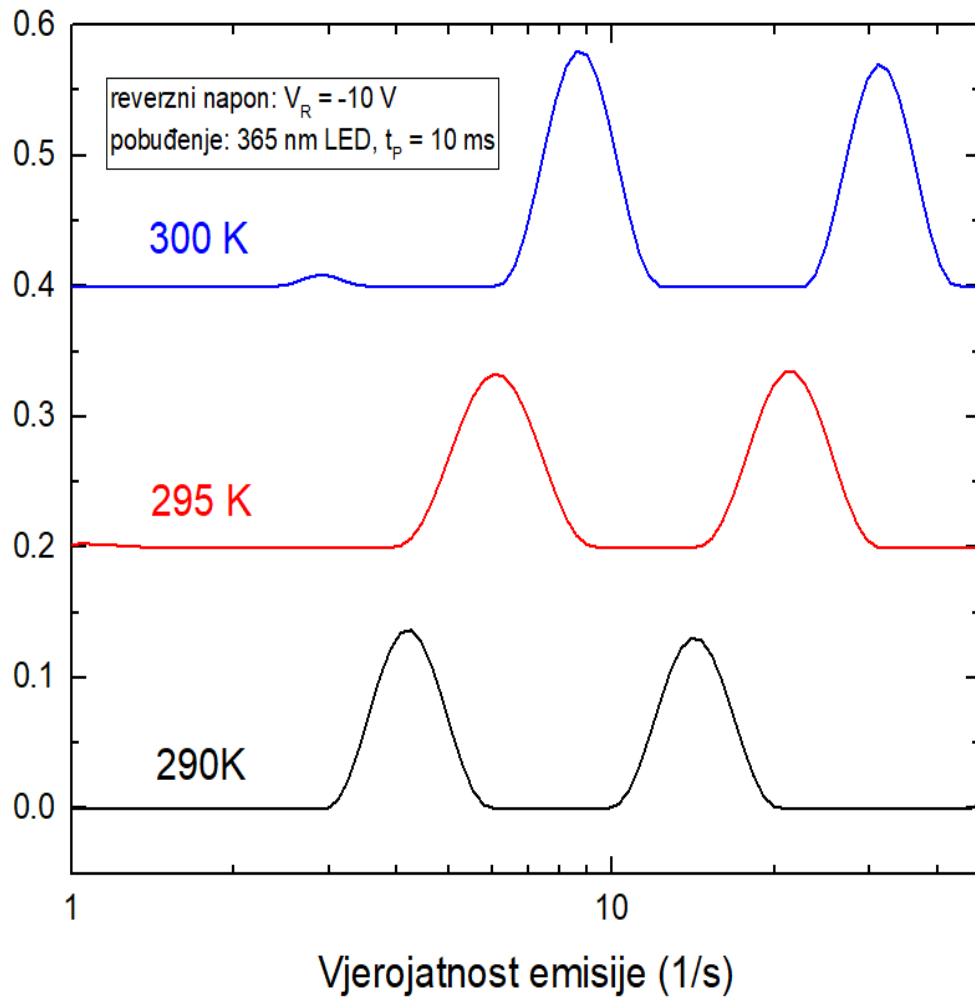


■ MCTS

- Optički pobudni pulsevi s 365 nm LED svjetlom
- Vrh B (170 K) s energijom $E_V + 0.17 \text{ eV}$
- Vrh D (320 K) s energijom $E_V + 0.64 \text{ eV}$
- Vrhovi X1 (130 K) i X2 (225 K)
- B = primjese bora na mjestu silicija $B_{Si} (3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3})$
- D = primjese bora na mjestu ugljika $B_C (2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3})$
- Dominira B vrh \longrightarrow uvjeti bogati ugljikom



Laplace MCTS amplituda (proizvoljne jedinice)



LAPLACE-MCTS

- D-centar ima dvije emisije:
 - D1: $B_C(k)$ energije $E_V + 0.63$ eV
 - D2: $B_C(h)$ energije $E_V + 0.67$ eV
- $B_{Si}(k)$ i $B_{Si}(h)$ usko razmaknuti

ZAKLJUČAK!





- 2 vrste zamki od defekta bora:
 - defekti na mjestu Si uvode plitke akceptorske nivoe ($\sim E_V + 0.17 \text{ eV}$), čisti bor
 - defekti na mjestu C uvode duboke akceptorske nivoe ($\sim E_V + 0.64 \text{ eV}$), primjese bora; moguće bora i ugljika
- Povećanje otpornosti na zračenje i efikasnost detektora
- Daljnji razvoj elektroničkih komponenti napravljenih od 4H-SiC





HVALA!

