

POLUPROVODNIČKI LASERI

PODELA LASERA

Prema vrsti materijala od kojeg je napravljen izvor:

- ▶ Čvrstotelni laseri
- ▶ Gasni laseri
- ▶ Poluprovodnički laseri
- ▶ Tečni laseri

Prema načinu pumpanja aktivne (radne) sredine

- ▶ laseri sa optičkim pumpanjem (kristalni i tečni)
- ▶ laseri koji se pumpaju električnim pražnjenjem.
- ▶ Hemijski laseri

Prema režimu rada:

- Kontinualni
- Impulsni laser

Prema oblasti spektra u kojoj emituje svetlost:

- Laseri u vidljivom delu spektra
- Laseri u bliskoj infracrvenoj oblasti
- Laseri u dalekoj infracrvenoj oblasti
- X- laseri, zračenje u X- oblasti

Poluprovodnički laseri

ISTORIJAT

- 1957. godine ideja o poluprovodničkim laserima (N. Basov)
- 1962. godine u SAD demonstrirane 4 verzije poluprovodničkih lasera
 - Dr Robert N. Hol – Istraživački razvojni centar General Electric (Njujork)
 - Dr Nick Holonyak, mlađi – Industrijski centar General Electric (Sirakuza, Njujork)
 - Dr Marshal Neytan – IBM Istraživačka laboratorija (Yorktown Heights - Njujork)
 - Dr Robert Redikep – MIT Lincoln Laboratory (Leksington, Masačusets)
- 1968. H. Kremer, Ž. Alferov, R. Kazarinov, prvi laser sa duplom heterostrukturom

- 1970. Pronađena prva quantum well struktura
- 1978. Rad laserske diode GaAlAs/GaAs na sobnoj temperaturi, bazirane na quantum well strukturi
- 1979. Površinsko emitujuća (surface-emitting) laserska dioda (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers)
- 1981. Laserske diode sa distribuiranim Bragovim reflektorom (DBF), GaInAs/InP, emitovana talasna dužina $1.58\mu\text{m}$
- 1985. VCSEL (GaAlAs/GaAs) laser dioda, rad u impulsnom režimu na sobnoj temperaturi
- 1991. Prvi kratkotrajni rad plavo – zelene emitujuće laserske diode na poluprovodnika ZnSe
- 1996. Prvi efikasan plavo emitujući laser pri radu na sobnoj temperaturi, baziran na poluprovodnicima III-IV grupe, GaN

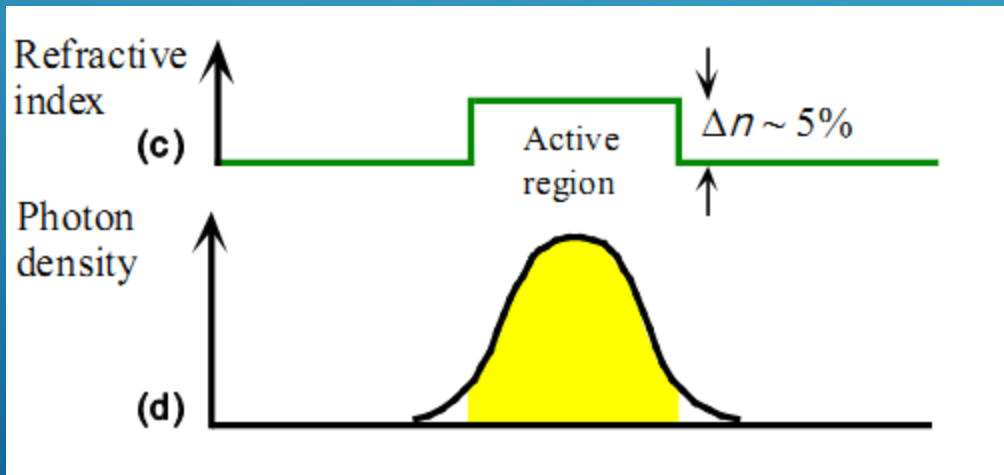
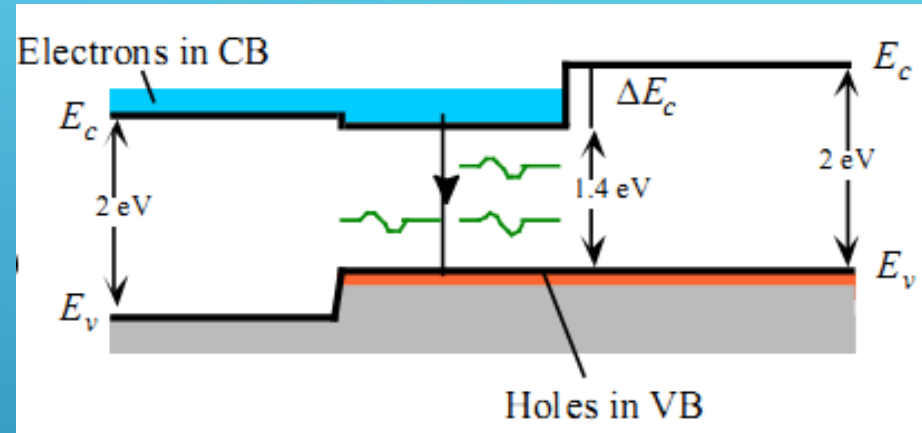
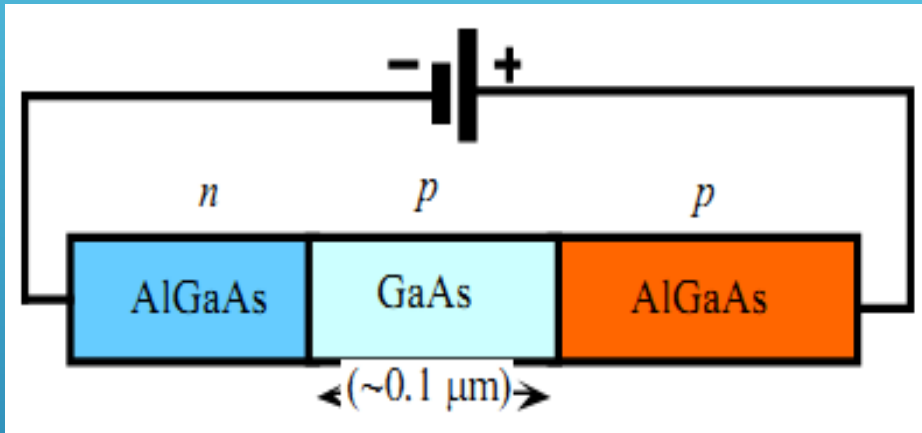
MATERIJALI ZA IZRADU POLUPROVODNIČKIH LASERA

- Različiti materijali zavisno od željene talasne dužine
- Materijali iz II, III i V i VI grupe periodnog sistema

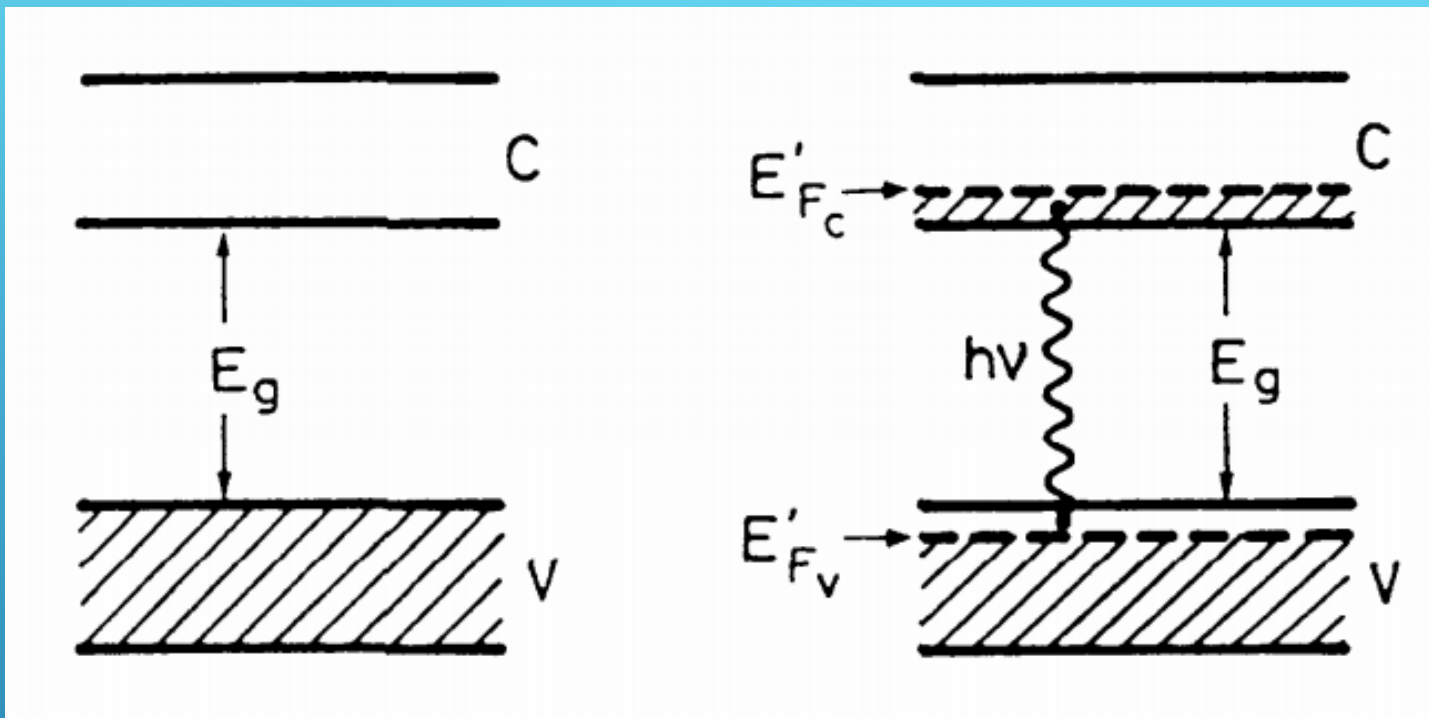
- II grupa – Cd, Zn
- III grupa - Al, In, Ga, Ti
- V grupa - P, As, Sb
- VI grupa – S, Se, Te

Материјал	Формула једињења	Енергетски процеп	Таласне дужине
III-V једињења		Eg(eV) на 300K	λ(nm)
Алуминијум-Арсенид	AlAs	2.16	2678.1
Алуминијум-Фосфид	AlP	2.45	3037.6
Алуминијум-Антимонид	AlSb	1.58	1959.0
Бор-Нитрид	BN	7.5	9298.9
Бор-Фосфид	BP	2	2479.7
Галијум-Арсенид	GaAs	1.42	1760.6
Галијум-Нитрид	GaN	3.36	4165.9
Галијум-Фосфид	GaP	2.26	2802.1
Галијум-Антимонид	GaSb	0.72	892.7
Индијум-Арсенид	InAs	0.36	446.3
Индијум-Фосфид	InP	1.35	1673.8
Индијум-Антимонид	InSb	0.17	210.8
II-VI једињења			
Кадмијум-Сулфид	CsS	2.42	3000.4
Кадмијум-Селенид	CdSe	1.7	2107.7
Кадмијум-Телурид	CdTe	1.56	1934.2
Цинк-Сулфид	ZnS	3.69	4562.6
Цинк-Селенид	ZnSe	2.71	3360.0
Цинк-Телурид	ZnTe	2.39	2963.2

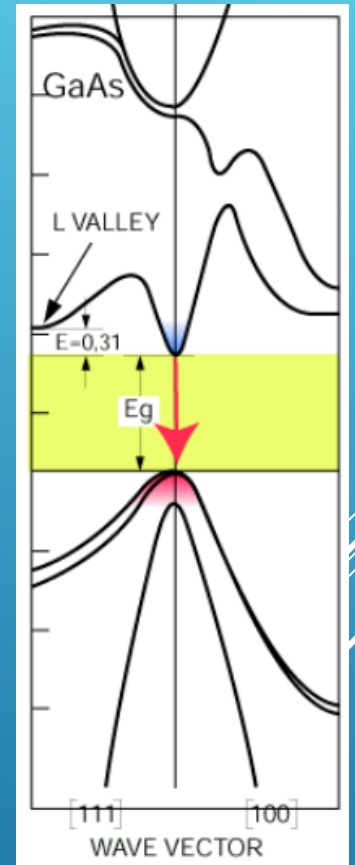
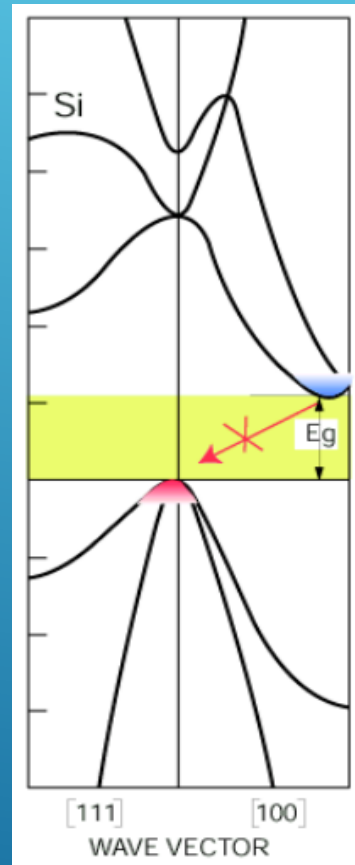
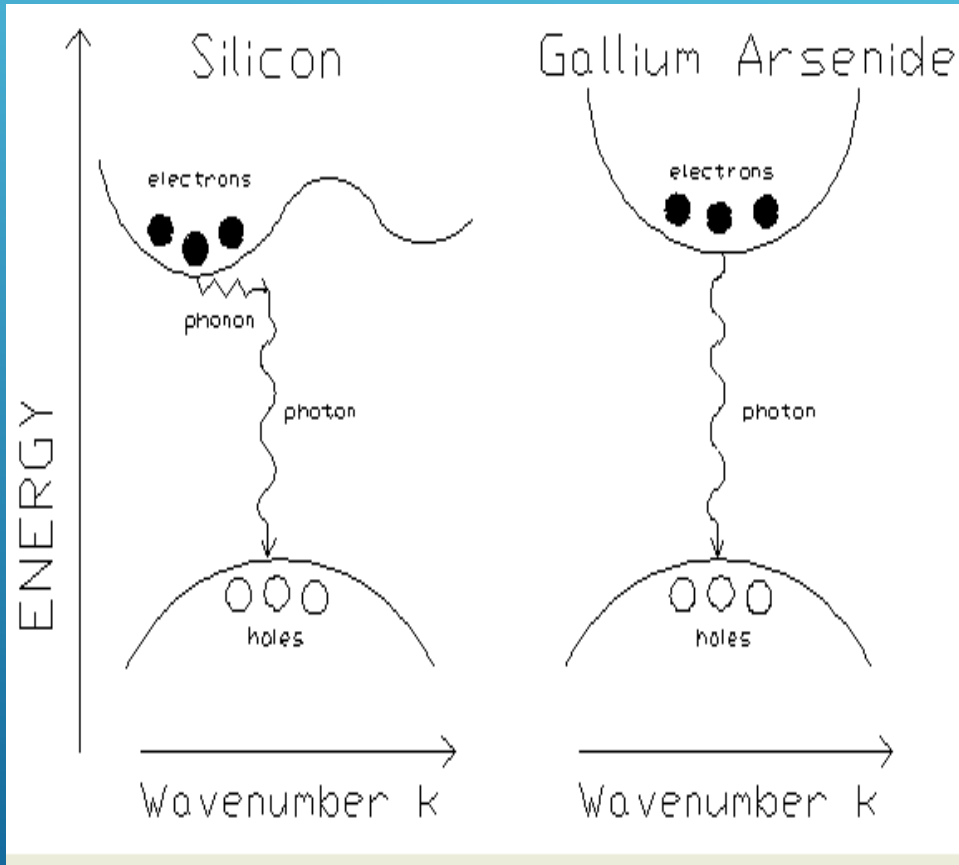
PRINCIP RADA POLUPROVODNIČKOG LASERA



- Waveguide effect

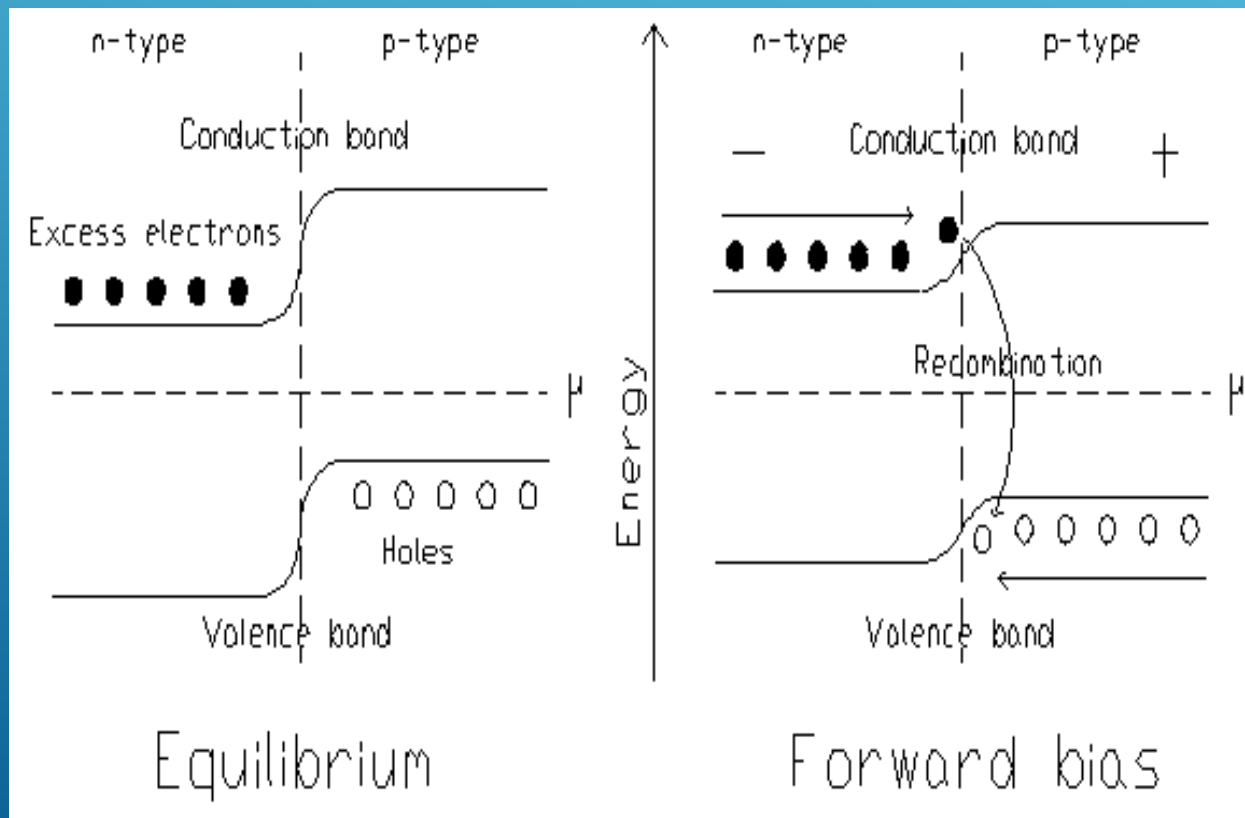


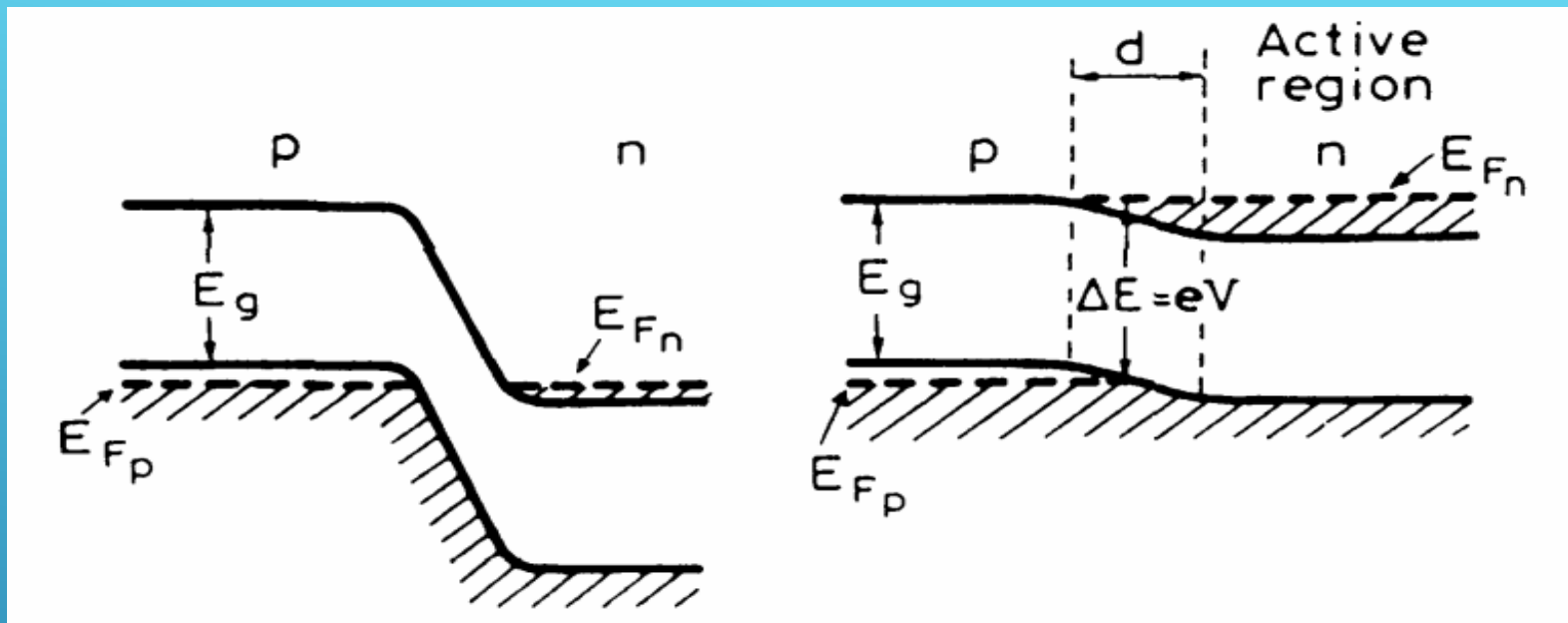
- Pretpostavimo da su (pri $T = 0 \text{ K}$) elektroni prevedeni iz valentne u provodnu zonu.
- Unutar provodne zone elektroni se za vrlo kratko vrijeme (10^{-13} s) rasporede na najniže nivoe i ta zona je popunjena do nekog nivoa $E_c = E_{F'_c}$.
- Analogno se rasporede i elektroni u valentnoj zoni nivoa $E_v = E_{F'_v}$, a iznad toga nivoa (do vrha valentne zone) ostaju šupljine.
- Između valentne i provodne zone pojavljuje se inverzija naseljenosti. Parovi elektron-šupljina predstavljaju pobuđena stanja.
- Elektroni iz provodne zone prelaze nazad u valentnu zonu (taj proces se naziva rekombinacija para elektron-šupljina), emitujući pri tome foton.
- Ako se takav poluprovodnik smesti u odgovarajući rezonator, stimulisani prelazi, uslovljeni rekombinacionim zračenjem, dovešće do laserske generacije.



RAZVOJ POLUPROVODNIČKIH – DIODNIH LASERA

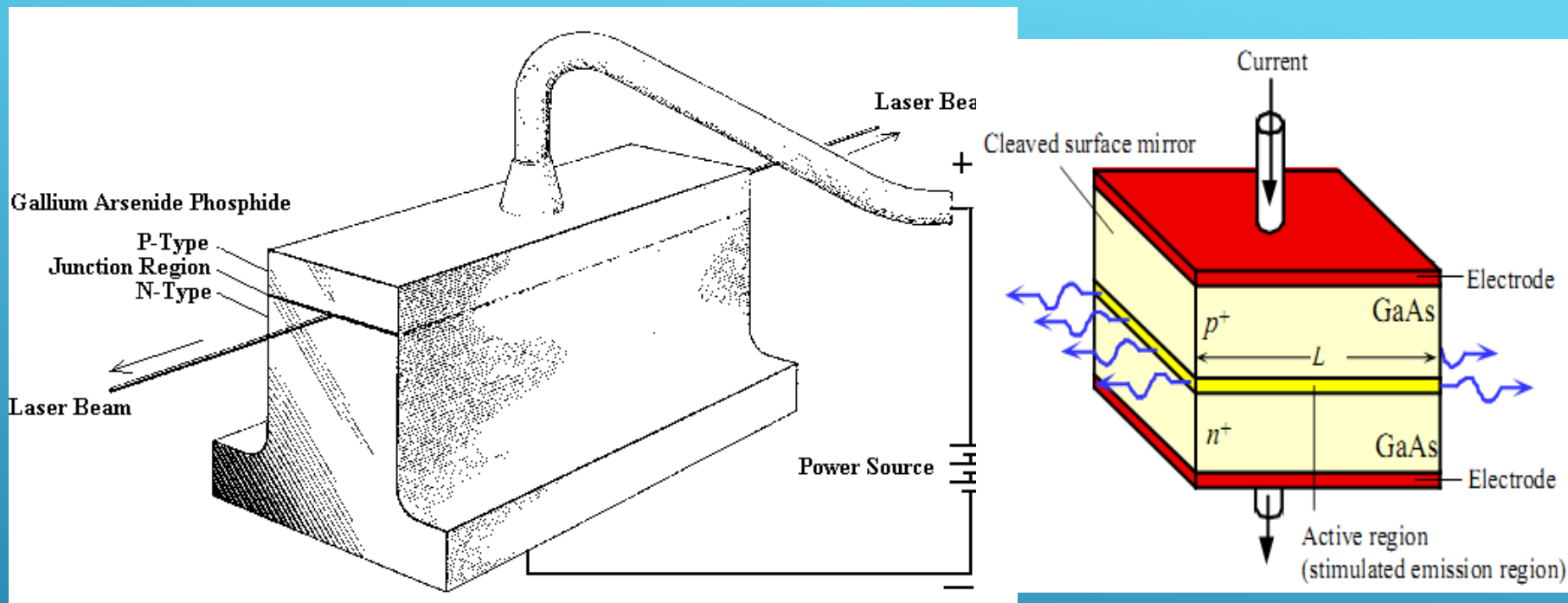
- Mehanizmi u poluprovodniku slični kao kod LED dioda






- Kada p-n dioda nije priključena na napon elektroni “teku” sa n-strane ka p-strani sve dok se ne uspostavi potencijalna barijera koja sprječava dalji tok elektrona.
- Pri tome Fermijev nivo $E_p = E_{Fp}$ poluprovodnika p-tipa, koji je u valentnoj zoni, i Fermijev nivo $E_n = E_{Fn}$ poluprovodnika n-tipa, koji je u provodnoj zoni, imaju iste vrijednosti.
- Ako se na p-n spoj priključi napon V koji snižava potencijalnu barijeru, nivoi se pomjeraju za $\Delta E = eV$, u oblast p-n prelaza se injektiraju elektroni iz provodne zone poluprovodnika n-tipa i šupljine iz valentne zone poluprovodnika p-tipa i tako se u toj prelaznoj oblasti stvara inverzija naseljenosti.
- Napon V je npr. za homostruktorni GaAs laser $V \approx 1.5V$.

Homostrukturna dioda



- ▶ Rezonator se pravi sečenjem kristla duž dve paralelne površine normalne na ravan spoja
- ▶ GaAs/vazduh- veliki indeks prelamanja sa refleksijom oko 35%
- ▶ Laserski efekat u ravni pn spoja
- ▶ Ograničenja: nosioci mogu da difunduju van regiona spoja, manje pojačanje; znatan gubitak svetlosti prilikom emisije normalne na osu rezonatora

PROBLEMI

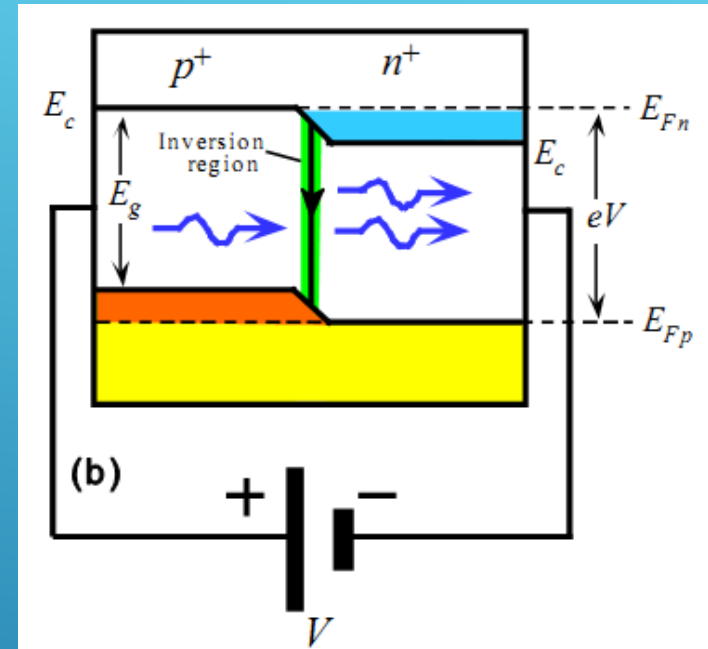
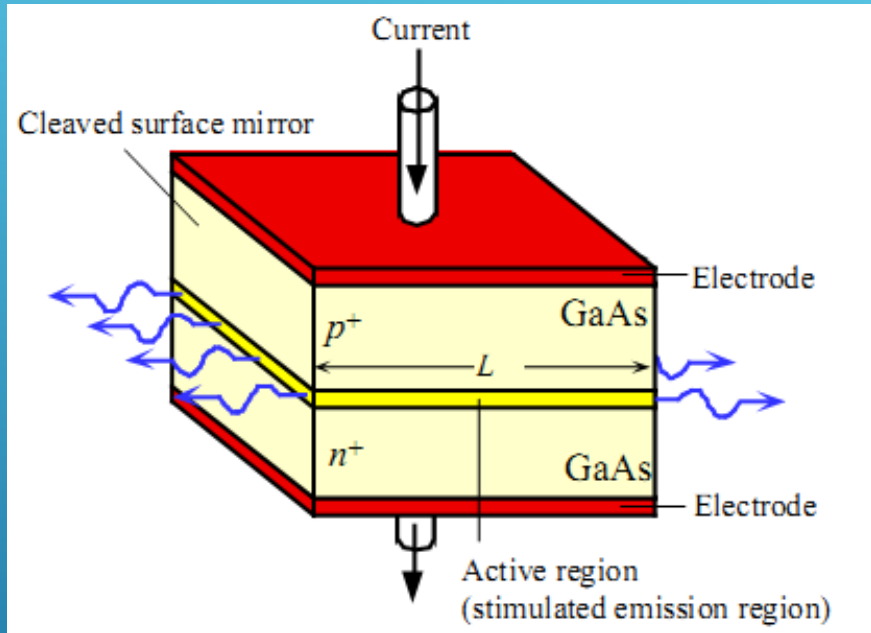
- Velike okidne struje ($50\ 000 \div 100\ 000\ \text{A/cm}^2$)
 - Oslobađanje prevelike količine toplote zbog čega je potrebno hlađenje (tečni azot)
 - Potreba za smanjenjem okidne struje
 - Uglašavanje kontaktnih spojeva na poluprovodnicima
 - Narastanje poluprovodnika
 - Smanjenje okidne struje na oko 10A
- 

TIPOVI POLUPROVODNIČKIH LASERA

- Prema načinu emitovanja svetlosti:
 - Ivično emitujući
 - Površinsko emitujući
- Prema strukturi:
 - Homojunction
 - Heterostruktorni
 - Quantum well
 - VCSEL
 - VECSEL

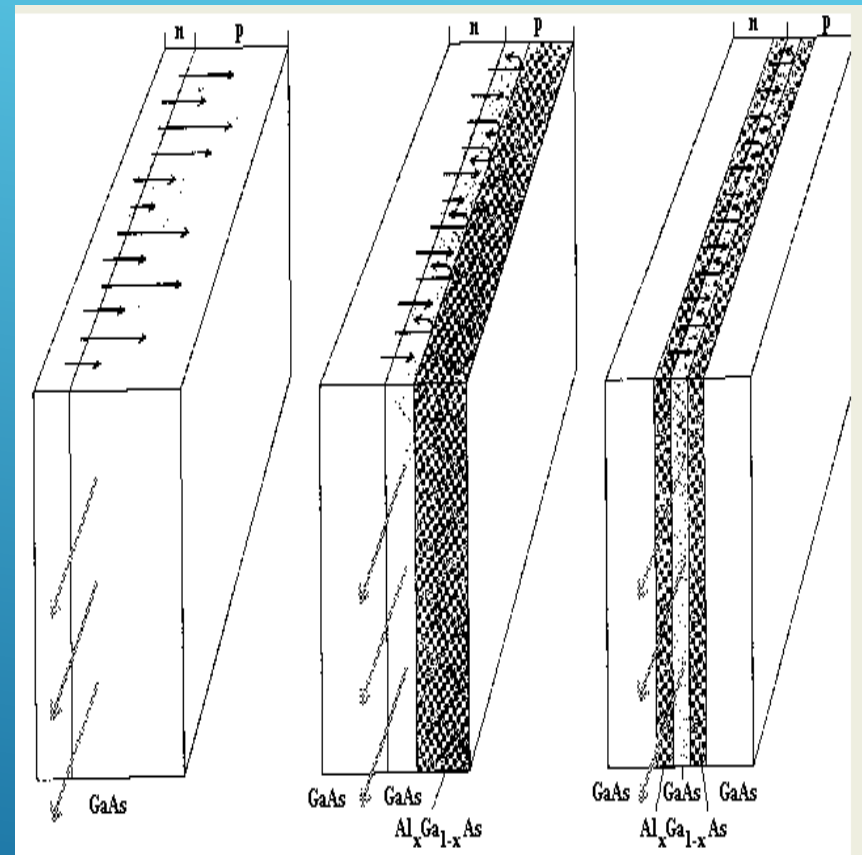
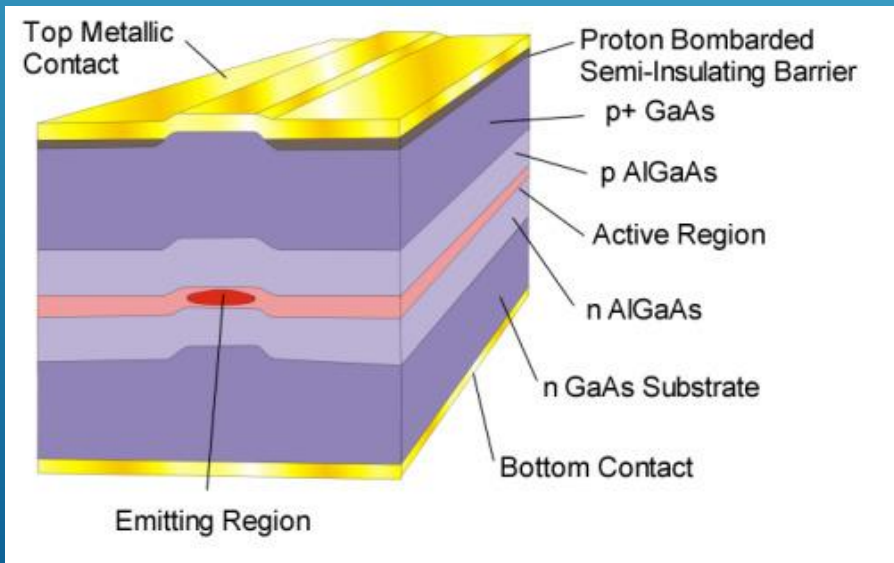
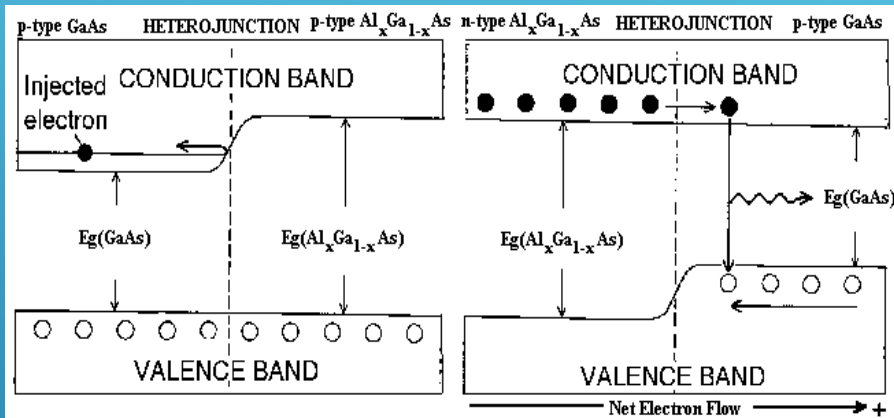


HOMOJUNCTION LASERSKA DIODA



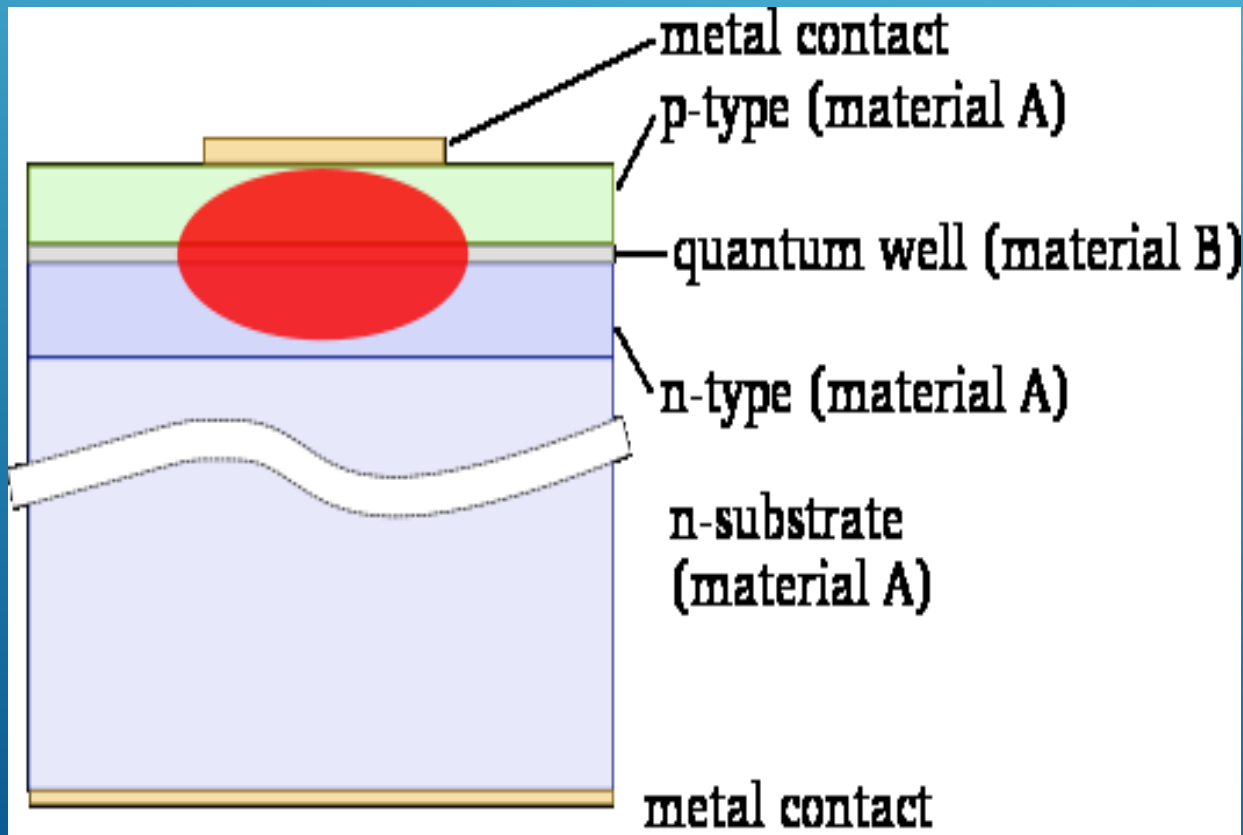
- Potrebne visoke okidne struje:
 - 1000 A/cm² na temperaturi 77K
 - 100 000 A/cm² na temperaturi 300K

HETEROOSTRUKTURNI LASERI



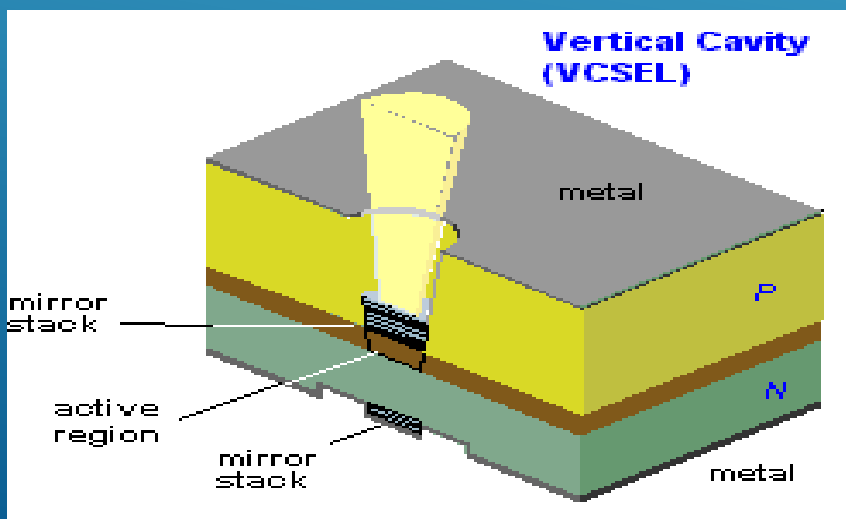
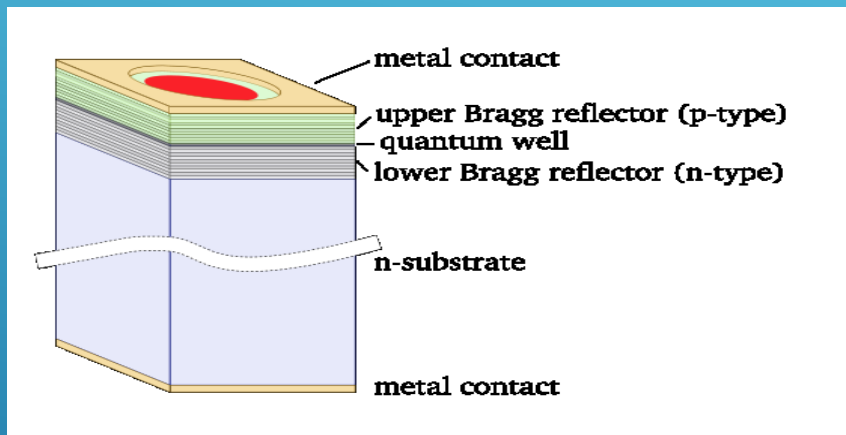
QUANTUM WELL LASERI

- Centralni sloj je veoma tanak i ima ulogu kvantne jame
 - Ivično emitujući
 - Energija kvantovana
 - Veća snaga se multiple quantum well strukturom



VCSEL LASERI

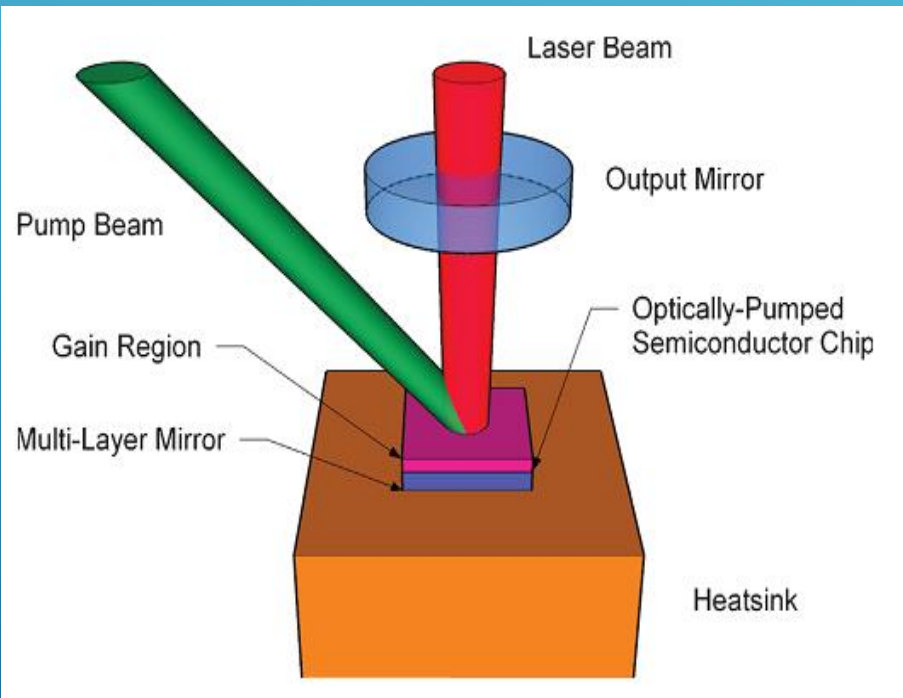
- Vertical Cavity Surface Emitting Lasers



- ▶ Rezonator duž pravca proticanja struje
- ▶ Dužina aktivne oblasti je veoma kratka u poređenju sa lateralnim dimenzijama- zračenje nastupa na površini
- ▶ Zbog visoke refleksije dielektričnog ogledala, imaju male izlazne snage
- ▶ Lakša proizvodnja u odnosu na ivično emitujuće
- Desetine hiljada se proizvodi na jednom wafer-u od GaAs.

VECSEL LASERI

- Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers



- ▶ ogledala izvan strukture diode, jama obuhvata i oblast slobodnog prostora
- ▶ Tipična udaljenost diode od spoljašnjeg ogledala je oko 1 cm
- ▶ mala debljina poluprovodničke pojačavačke oblasti u pravcu prostiranja svetlosti, manje od 100nm
- ▶ optički ili električno pumpani

PRIMENA POLUPROVODNIČKIH LASERA

- U obradi informacija: crveni-prilikom skladištenja i čitanja podataka, markeri, pumpa za YAG
 - AlGaAs (780nm): CD
 - AlGaInP (640nm): DVD
 - ZnSe (460-520nm): BlueRay
- U optičkim komunikacijama, u mernim i kontrolnim instrumentima, meračima razdaljine, laserskim štampačima, skenerima i bar kod čitačima, kao i u medicini (u nekim vrstama hirurgije i dermatologije)

