

USMENI ISPIT - ELEKTRONIKA

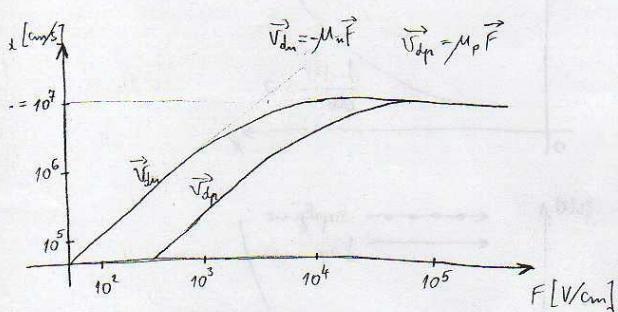
) DRIFT

- drift je gibanje slobodnih nosilaca naložje pod djelovanjem električnog polja (svi slijedbenici su jednako ujednostrani)
- driftne brzine: - elektrona $\vec{v}_{dn} = (-2) \vec{F} \frac{e_{sn}}{m_e^*} = -\mu_n \vec{F}$ [cm/s]
- supljina $\vec{v}_{dp} = (+2) \vec{F} \frac{e_{sp}}{m_p^*} = \mu_p \vec{F}$ [cm/s]

$e_{sp}, e_{sn} \rightarrow$ vrijeme raspršenja [s]

$m_e^*, m_p^* \rightarrow$ efektivna masa elektrona, supljina [kg]

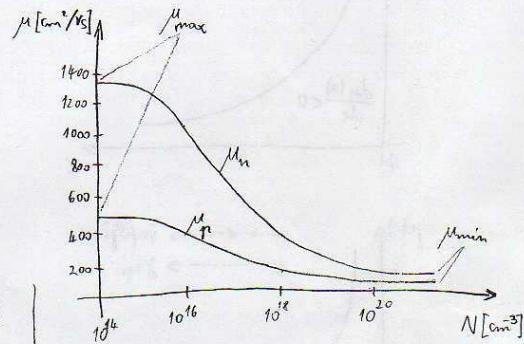
- $\mu_n, \mu_p \rightarrow$ pokretnost nosilaca naložje, elektrona, supljina [cm²/Vs]



* OVISNOST DRIFTNE BRZINE ELEKTRONA I SUPLJINA

O JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA SILICIJU PRI

TEMPERATURI T = 300 K



* OVISNOST POKRETNOSTI ELEKTRONA I

SUPLJINA O KONCENTRACIJI PRIMJESA

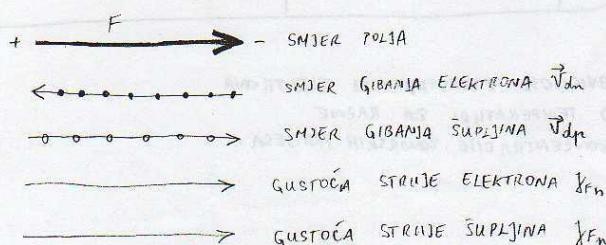
PRI TEMPERATURI T = 300 K

$$-\text{ukupna pokretnost: } \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_n} + \frac{1}{\mu_p} \quad [\text{cm}^2/\text{Vs}]$$

$$-\text{driftne struje: - elektrona } \vec{j}_{Fn} = n(-2) \vec{v}_{dn} = n(-2)(-\mu_n \vec{F}) = \sigma_n \vec{F}$$

$$-\text{supljina } \vec{j}_{Fp} = p(2) \vec{v}_{dp} = p(2)(\mu_p \vec{F}) = \sigma_p \vec{F}$$

$\sigma_n, \sigma_p \rightarrow$ provodnost (električna), provodnost N-tipa i P-tipa poluvodiča [Vs/a]



- ukupna struja drifta:

$$\vec{j}_F = \vec{j}_{Fn} + \vec{j}_{Fp} = 2(n\mu_n + p\mu_p)\vec{F} = \sigma \vec{F}$$

ili

$$(\sigma_n + \sigma_p) \vec{F} = \sigma \vec{F} = -\sigma \text{ grad } \varphi$$

DIFUZIJA

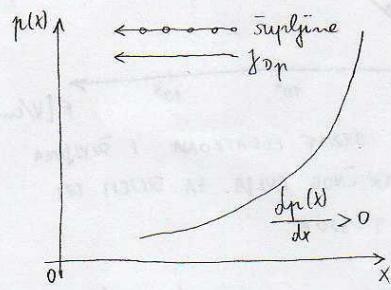
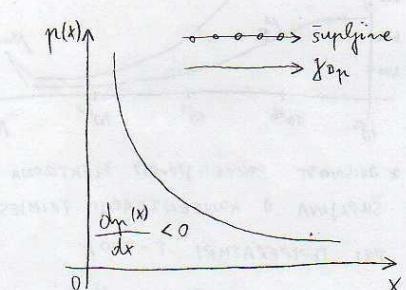
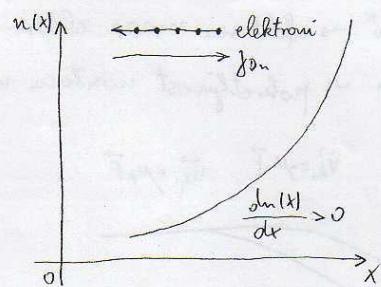
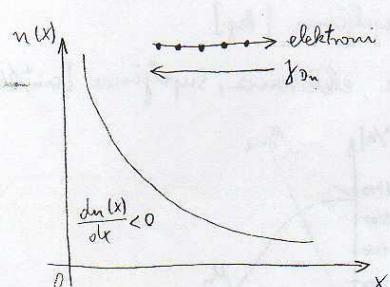
difuzija je gibanje nosioca naboja s višom koncentracijom prema mjestu niže koncentracije.

difuzijske struje: - elektrona $\vec{J}_{Dn} = (-2)(-D_n \text{ grad } n) = 2 D_n \text{ grad } n = 2 D_n \frac{dn(x)}{dx}$

- supljina $\vec{J}_{Dp} = 2(-D_p \text{ grad } p) = -2 D_p \text{ grad } p = -2 D_p \frac{dp(x)}{dx}$

$D_n, D_p \rightarrow$ difuzijska konstanta za elektrone, supljine [cm²/s]

grad n, p \rightarrow gradijent (promjena) koncentracije

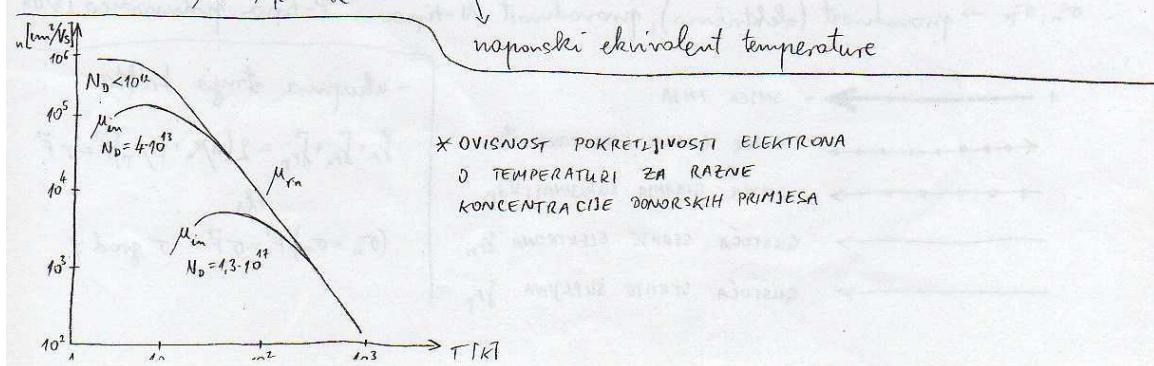


* OVISNOST SNIJERA DIFUZIJSKE STRUJE O GRADIENTU KONCENTRACIJE

- Einsteinova relacija:

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{q} = E_T = U_T \text{ [eV]}$$

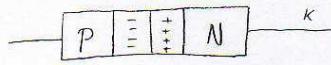
naponski ekivalent temperature



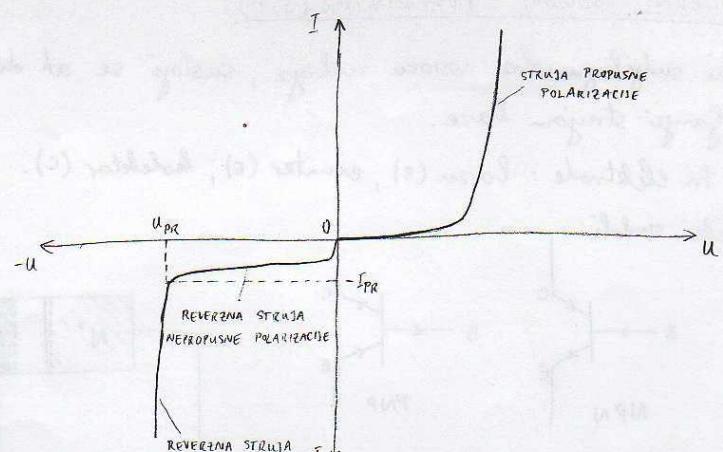
* OVISNOST POKRETLJIVOSTI ELEKTRONA
O TEMPERATURI ZA RAZNE
KONCENTRACIJE DONORSKIH PRIMJESA

PN DIODA

* PN - spoj



* simbol diode



* STRUJNO - NAPONSKA KARAKTERISTIKA DIODE

- reverzna struja zasćenja PN-spoja \Rightarrow SCHOCKLEY - jeva jednadžba

$$\left\{ I_s = 2 \pi n^2 A \left(\frac{D_n}{N_A L_n} + \frac{D_p}{N_D L_p} \right) \right\}$$

$L_n, L_p \rightarrow$ difuzijska duljina elektrona, šupljina [cm]

$N_A, N_D \rightarrow$ koncentracija akceptoru, donora [$1/\text{cm}^3$]

$$\left\{ I_o = I_s \left[\exp \left(\frac{u}{u_T} - 1 \right) \right] \right\}$$

- vrste dioda:

* Schottkyjeva dioda :

* naponska referentna :

* tunelska dioda :

* varaktor (kapacitivna dioda) :

* svjetleća dioda (LED) :

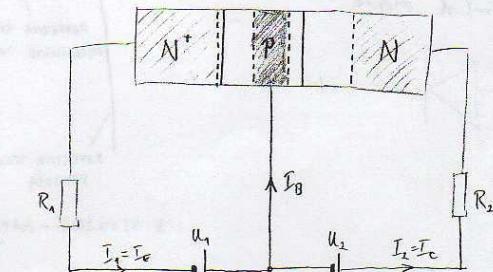
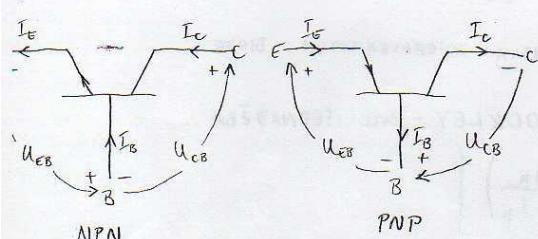
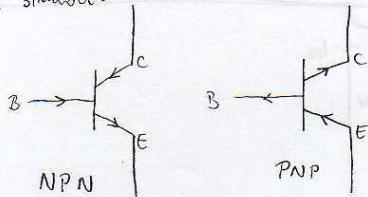
- za prolazak PN-spoja odgovara je bariška množenje (generiranje nosilaca naboja ionizacijom zlog sudara pri veoma visokim naponima prolaza U_P) i tunelski efekt (prolazak nosilaca naboja kroz usko osinovarsens područje, pri veoma niskim naponima prolaza U_{PR}).

BIPOLARNI SPOJNI TRANZISTOR (BJT)

u ravnu suzgajuju obz nosioce naloge; sastoji se od dve PN spojevi; upravljanje strujom baze.

ime tri elektrode: baza (B), emiter (E), kolektor (C).

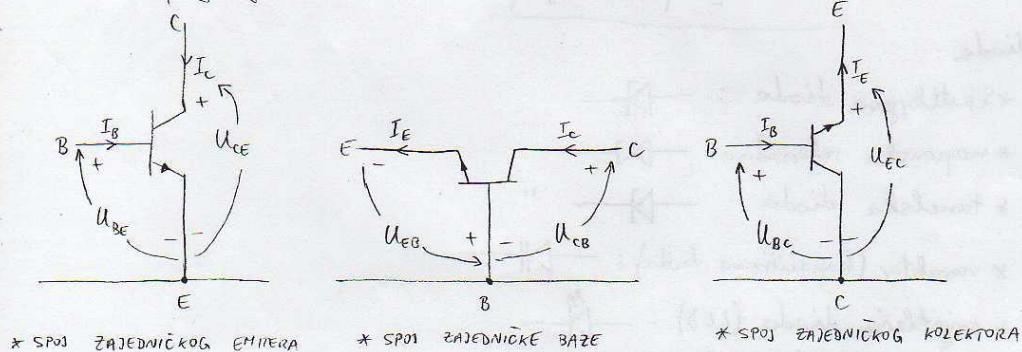
električni simboli:



* NAKON SPAJANJA N^+P i PN SPOJEVI TVORE N^+PN STRUKTURU (VRLO USKO P-PODRUČJE!)

* ELEKTRIČNI SIMBOLI, SMJER STRUJA I NAPONI
(u odnosa na bazu), NPN I PNP BJT-ka

- načini spojivanja BJT-a:



- faktor strujnog pojedinja u spoju zajedničke baze α :

$$\text{istosmjerni} \quad \alpha = \frac{I_c - I_{cbo}}{I_e} \quad \alpha = \frac{I_c}{I_e} \Big|_{U_{cbo}=0} = \frac{I_{NE}}{I_E} \cdot \frac{I_c}{I_E} = \gamma \cdot \beta * \leq 1$$

- istosmjerni faktor strujnog pojedinja u spoju zajedničkog emitera β :

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \beta = \frac{I_c - I_{cbo}}{I_E - I_{cbo}} \gg 1$$

NACIN RADA	EMITERSKOG SPOJA	KOLEKTORSKOG SPOJA
normalno aktivno područje - NAP	propusna	nepropusna
zasjenje - ZAS	propusna	propusna
zapiranje - ZAP	nepropusna	nepropusna
inverzno aktivno područje - IAP	nepropusna	propusna

* područje rada tranzistora u ovisnosti o polarizaciji emitorskog i kolektorskog spoja

faktor djelotvornosti emitera ili faktor injekcije γ :

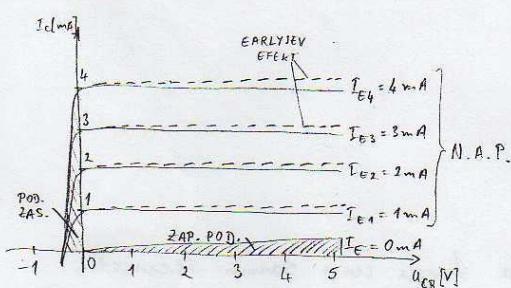
$$\gamma = \frac{I_{NE}}{I_E} = \frac{I_{NE}}{I_{NE} + I_{RE}} < 1$$

prijenosni faktor ili transportni faktor β^* :

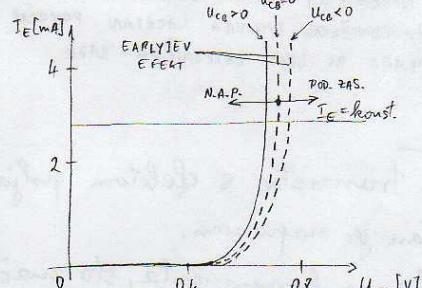
$$\beta^* = \frac{I_C}{I_{NE}} = \frac{I_{NE} - I_R}{I_{NE}} = 1 - \frac{I_R}{I_{NE}} < 1$$

charakteristike bipolarnog NPN tranzistora u spoju zajedničke baze:

* ULAZNE

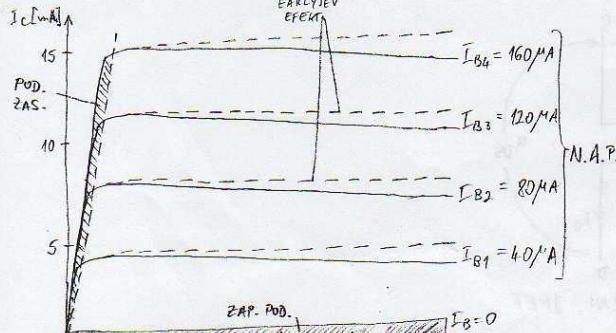


* ULAZNE

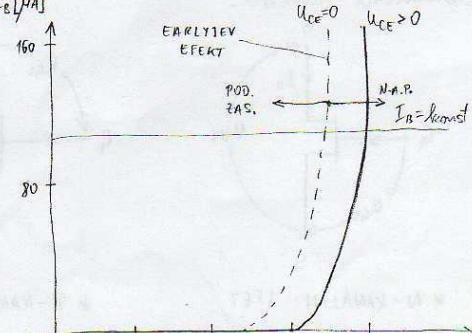


* karakteristike bipolarnog NPN tranzistora u spoju zajedničkog emitera:

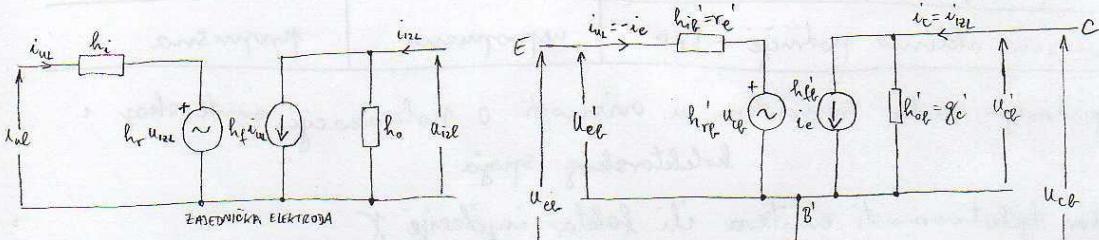
* ULAZNE



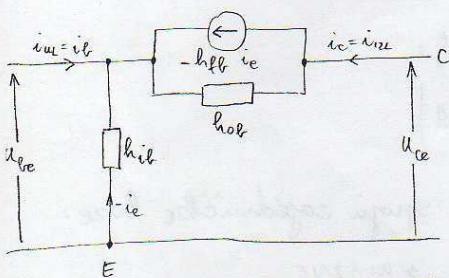
* ULAZNE



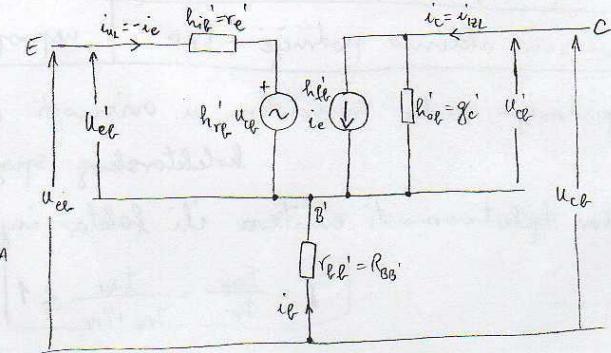
h -PARAMETRI: h_{ie} = ulazni dinamički otpor
 h_{re} = faktor povratnog djelovanja
 h_{fe} = faktor strujnog poglaćanja
 h_{oc} = izlazna dinamička promjenošć



LINEARNI NADOMJESNI SKLOP BIPOLARNOG TRANZISTORA S h -PARAMETRIMA



LINEARNI NADOMJESNI SKLOP BIPOLARNOG TRANZISTORA U SPOJU ZAJEDNIČKOG Emittera NACRTAN POMOĆU h -PARAMETARA ZA SPOJ ZAJEDNIČKE BASE

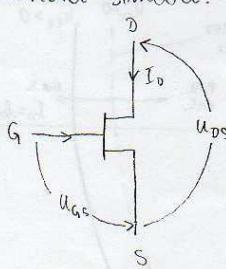


* LINEARNI NADOMJESNI SKLOP REALNOG BIPOLARNOG TRANZISTORA S h -PARAMETRIMA ZA SPOJ ZAJEDNIČKE BASE (EARLYJEV NADOMJESNI SPOJ)

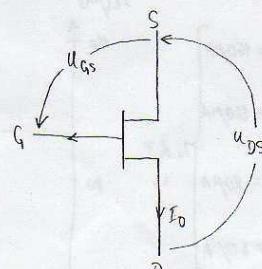
JFET

spojini tranzistor s efektom polja.

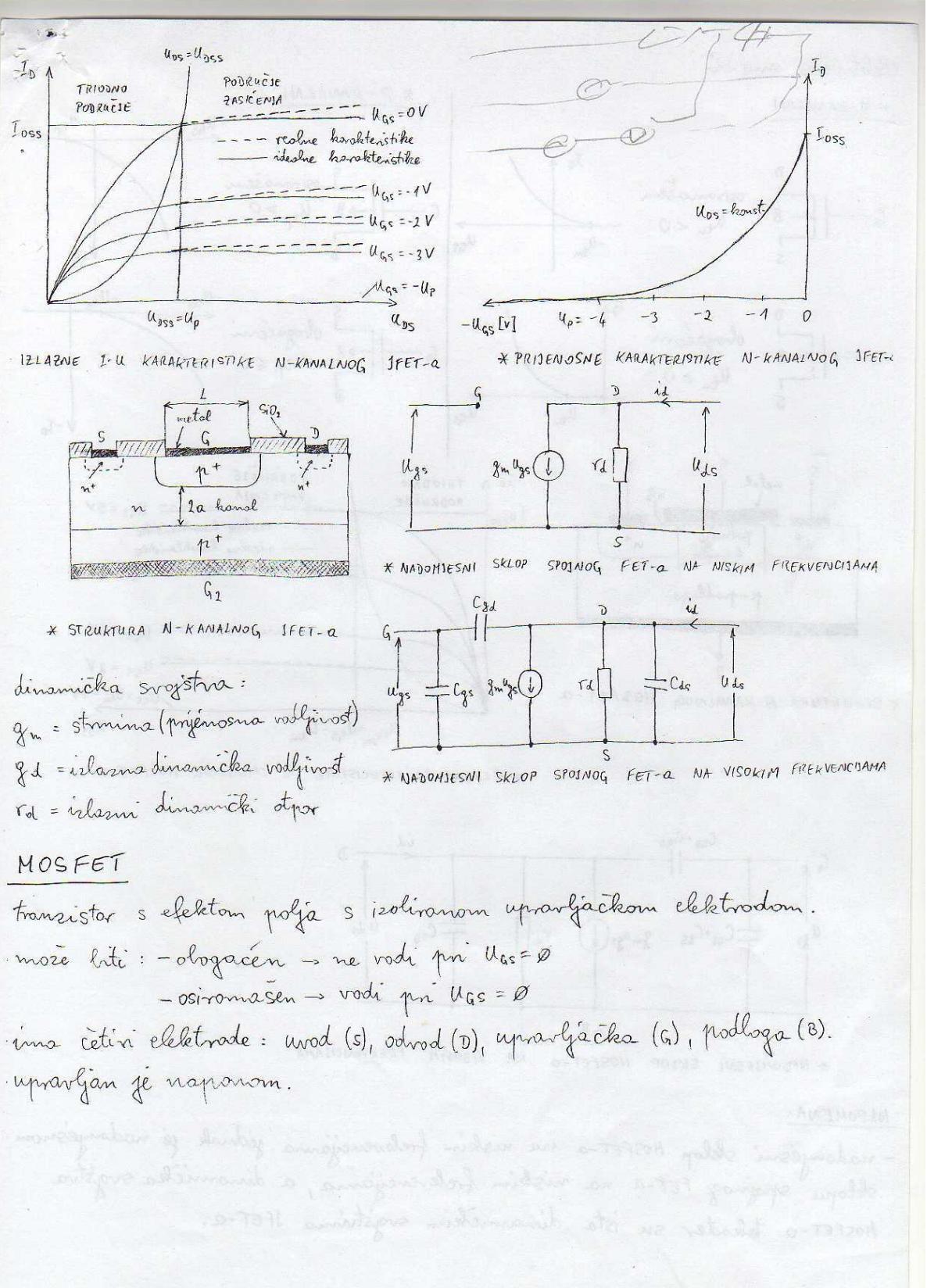
- upravljen je naponom.
- unipolarna komponenta, što znači da stруju čine samo većinski nosioci ulaska.
- ima tri elektrode: upravljačka (G), odvod (D), dorod (S).
- električni simboli:



* N-KANALNI JFET

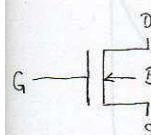


* P-KANALNI JFET

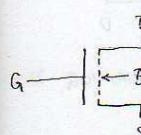
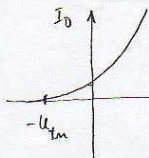


električki simboli:

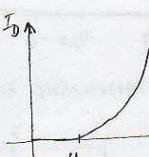
* N-KANALNI



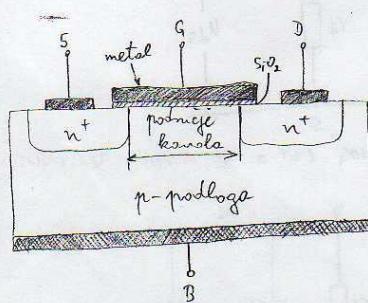
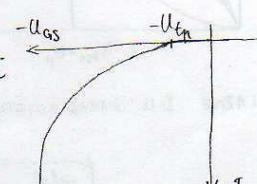
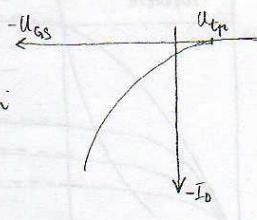
osiranomášení
 $U_{th} < 0$



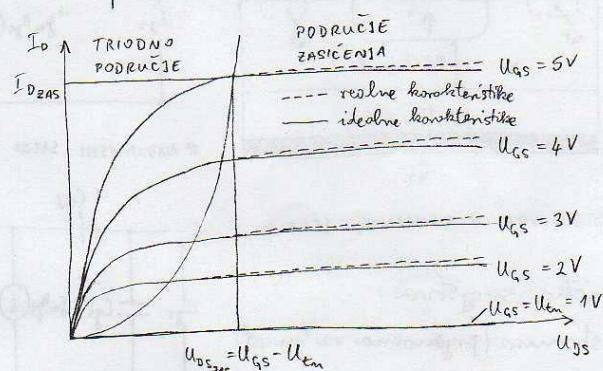
obrácení
 $U_{th} \geq 0$



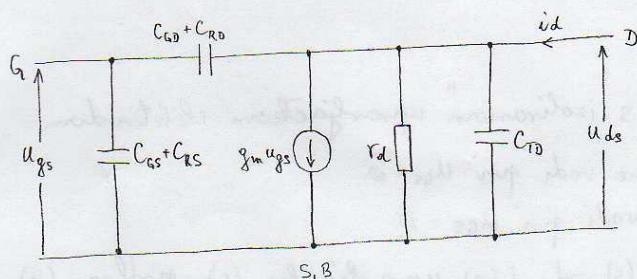
* P-KANALNI



* STRUKTURA N-KANALNOG MOSFET-a



* IZLAZNE KARAKTERISTIKE N-KANALNOG MOSFET-a

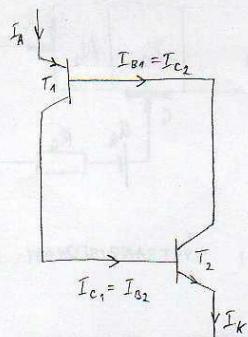
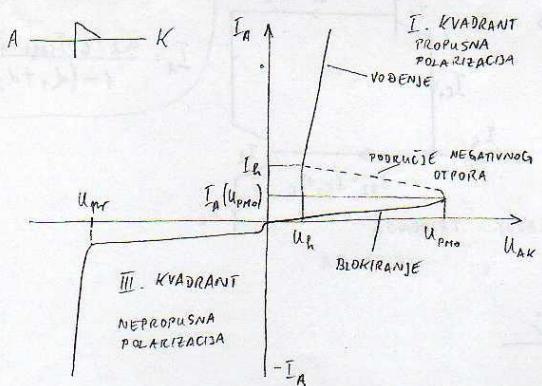


* NADOMJESNI SKLOP MOSFET-a NA VISOKIM FREKVENCIJAMA

NAPOMENA:

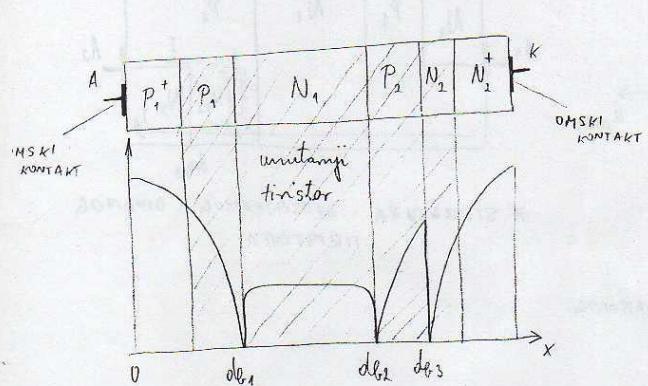
- nadomjesni sklop MOSFET-a na niskim frekvencijama je jednak je nadomjesnom sklopu spajnjog FET-a na niskim frekvencijama, a dinamička snaga i struja MOSFET-a također su ista dinamičkim svojstvima JFET-a.

1. DIODNI TIRISTOR (3)



* DVOTRANZISTORSKA ANALOGIJA
DIODNOG TIRISTORA

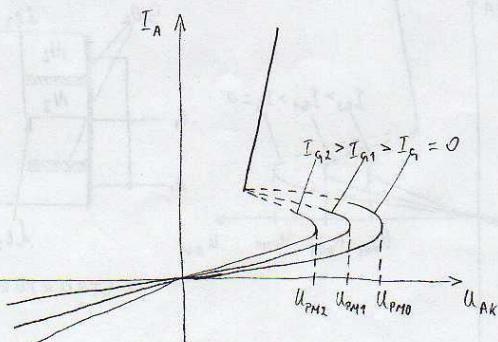
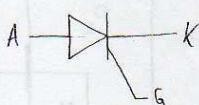
* SIMBOL I I-U KARAKTERISTIKA DIODNOG TIRISTORA



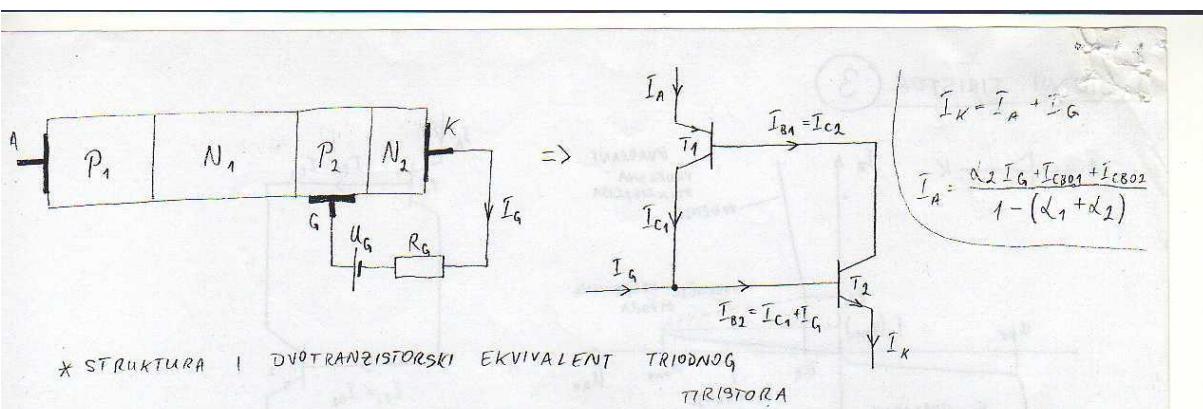
$$\begin{cases} I_A = I_K \\ I_A = \frac{I_{CB01} + I_{CB02}}{1 - (d_1 + d_2)} \end{cases}$$

* OSNOVNA STRUKTURA I KONCENTRACIJA PRIMJESA
DIODNOG TIRISTORA

TRIODNI TIRISTOR

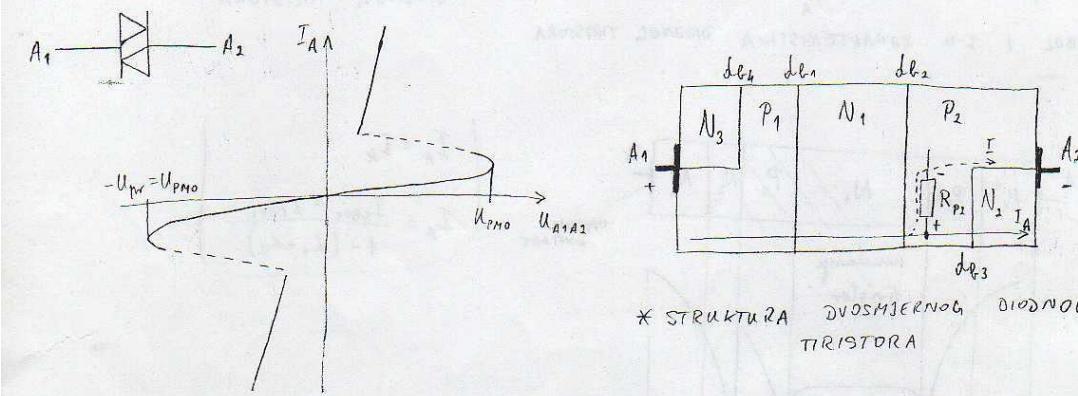


* SIMBOL I I-U KARAKTERISTIKA TRIODNOG TIRISTORA



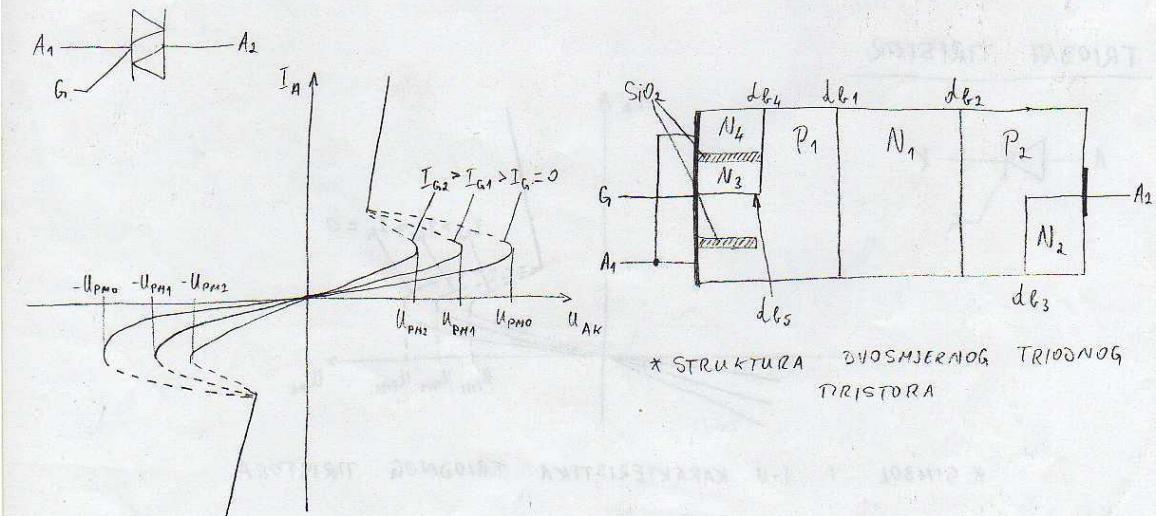
* STRUKTURA I DVOTRANZISTORSKI EKVIVALENT TRIODNOG TIRISTORA

DVOSMJERNI DIODNI TIRISTOR - DIAC



* SIMBOL I I-U KARAKTERISTIKA DVOSMJERNOG DIODNOG TIRISTORA

DVOSMJERNI TRIODNI TIRISTOR - TRIAC



* SIMBOL I I-U KARAKTERISTIKA DVOSMJERNOG TRIODNOG TIRISTORA

1) Kako se može mijenjati provodnost poluvodiča?

Elektricna provodnost čistog poluvodiča ovisi o slob. nosiocima naboja, te se može mijenjati PROMJENOM TEMPERATURE.

2) Kakva je provodnost idealne kristalne rešetke čistog poluvodiča i primjesnog poluvodiča na temperaturi 0 K ? Zašto?

Provodnost idealne kristalne rešetke čistog poluvodiča - nema slob. nosilaca naboja jer su svi valentni elektroni vezani u ljusku s 8 elektrona pa se ponosa kao IZOLATOR

Provodnost idealne kristalne rešetke primjesnog poluvodiča - nema slob. nosilaca naboja. Tek porastom temperature započinje proces ionizacije atoma donora odnosno akceptora.

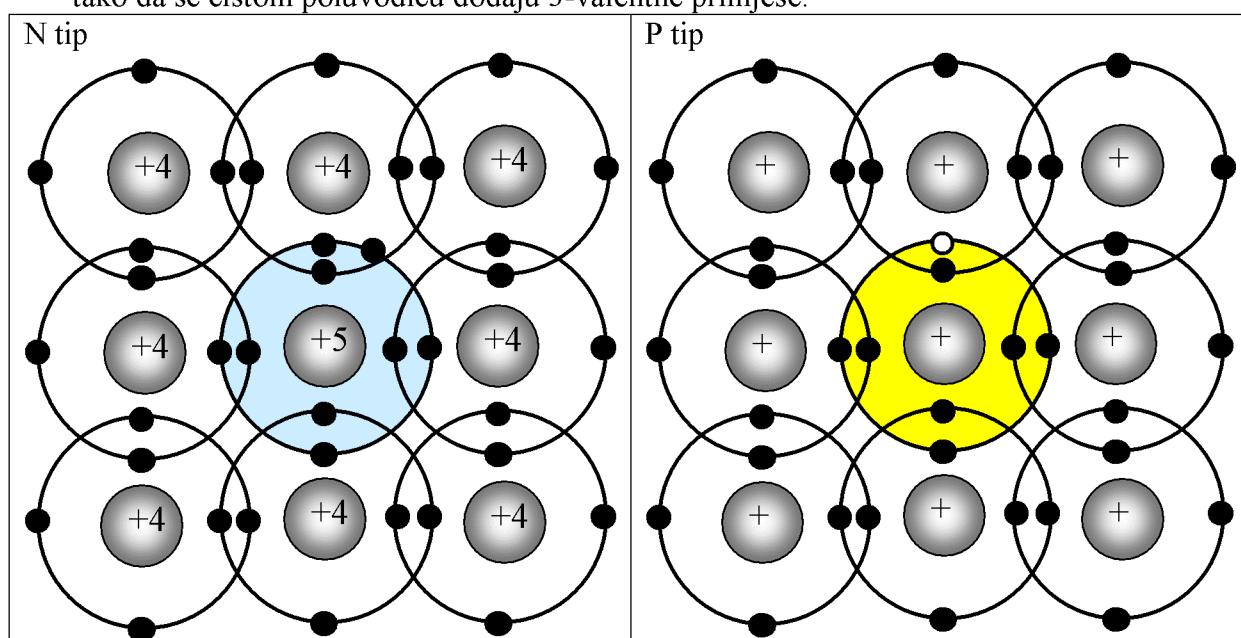
3) Što je šupljina i kako prenosi elektricitet?

Šupljina je upražnjeno mjesto u ljusci atoma koji je izgubio elektron, kojem pridjeljujemo poz. naboja. Ona prenosi elektricitet tako što to mjesto popunjava elektron iz neke od susjednih kovalentnih veza. Susjedne kovalente veze se razbijaju i proces se ponavlja.

4) Nacrtati modele elektronskih veza u poluvodičima N tipa i P tipa na T>Ti. Što su većinski, a što manjinski nosioci naboja?

Kod N-tipa većinski nosioci naboja su elektroni, a manjinski šupljine zato što N-tip poluvodiča nastaje tako da se čistom poluvodiču dodaju atomi 5-valentne primjese.

Kod P-tipa većinski nosioci naboja su šupljine a manjinski elektroni, zato što P-tip nastaje tako da se čistom poluvodiču dodaju 3-valentne primjese.

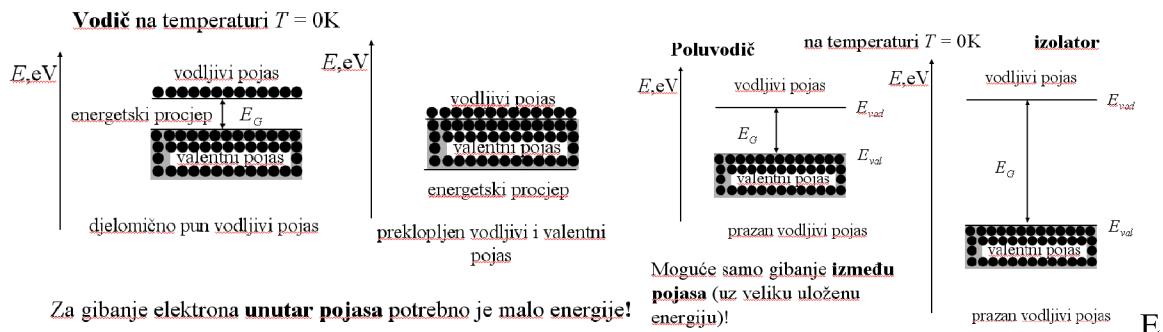


5) Što su donori, a što akceptori? Ako se radi o Si ili Ge, u kojem se stupcu periodnog sustava nalaze donori, a u kojem akceptori?

Donor je atom primjese koji osigurava elektronsku provodnost. On daje elektron koji postaje nosilac neg. naboja i nakon toga postaje pozitivan ion. Nalaze se u 5. stupcu PS.

Akceptor je atom primjese koji osigurava šupljinsku provodnost. On popunjava svoju valentnu vezu preuzimanjem elektrona iz susjedne razbijene kovalentne veze, postajući pri tome negativan ion. Nalaze se u 3. stupcu PS.

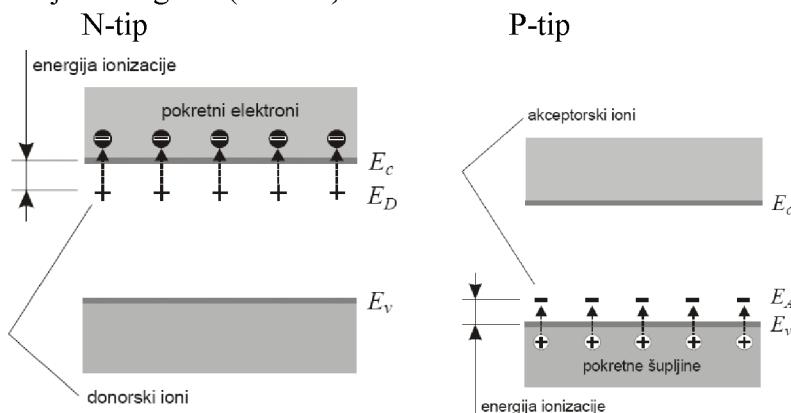
6) Nacrtati dijagram energetskih pojasa vodiča, poluvodiča i izolatora pri temperaturi od 0 K! Što je energetski procjep, valentni i vodljivi pojasi?



energetski procjep je područje bez energetskih stanja
Valentni pojasi je najgornji pojasi zauzet stanjima energija elektrona
Vodljivi pojasi-energetski nivo na kojem se mora naći elektron kako bi postao nelokaliziran

7) Nacrtati modele energetskih pojasa u poluvodičima N tipa i P tipa na $T > T_i$. Objasniti pojam kompenzacije primjesnih poluvodiča!

Kompenzacija primjesnih poluvodiča je postupak nadjačavanja jedne koncentracije primjese drugom. (SLIKA)



8) Što je rekombinacija? Koji su načini rekombinacije? Što su rekombinacijski centri?

Rekombinacija je proces obrnut generiranju naboja, njome se poništava postojeći par nosilaca naboja, elektron-šupljina.

Načini rekombinacije:

- u *volumenu* poluvodiča, preko mehanizama:
 - izravne rekombinacije (emisijom fotona)
 - neizravne rekombinacije preko rekombinacijskih centara (zamki)
 - zbog Augerova efekta, ili
- na *površini* poluvodiča.

Rekombinacijski centri su poremećaji u kristalnoj rešetki.

Aktivacijska energija im je visoka pa ostaju praktički neionizirani - ne mijenjaju koncentraciju slobodnih nosilaca.

9) O čemu ovisi koncentracija nosilaca naboja? Kako ona nastaje?

Koncentracija elektrona(šupljina) u čistom poluvodiču ovisi materijalu i temperaturi.

Uumnožak ravnotežnih koncentracija elektrona i šupljina je konstantan i jednak je kvadratu intrinsicne koncentracije nosioca u čistom poluvodiču.

10) Što je neravnotežna koncentracija nosilaca naboja i kako nastaje?

Neravnotežna koncentracija nosilaca naboja je stanje u kojem se nalazi poluvodič kada učestalost generiranja i rekombinacije naboja nisu više jednake,tj.kada na poluvodič djeluje neka od vanjskih pobuda.

$$G-R=r(T)*(n_i^2-p^*n)$$

11) Što su vremena života nosilaca naboja? Zašto je važno vrijeme života manjinskih nosilaca?

Efektivno vrijeme života nosilaca naboja je srednje vrijeme između generiranja i rekombinacije nosilaca naboja.Vrijeme života manjinskih nosilaca naboja je važnije jer kraće. ,vazno je zato sto određuje $\tau_{ef} \sim \tau$ manjinski

12) Opisati vremensku razgradnju neravnotežne koncentracije naboja! Koliko ekscesnog naboja preostaje nakon vremena $t=\tau_{ef}$?

Nakon vremena $t=\tau_{ef}$ početni ekscesni naboј se razgradi za $1/e$

13) Kako se iz poznate koncentracije primjesa može izračunati koncentracija manjinskih nosilaca naboja?

Koncentracija manjinskih nosilaca naboja može se izračunati pomoću formule

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}}, \text{gdje je } n_{n0} \sim N_D - N_A, \text{ odnosno } n_{p0} = \frac{n_i^2}{p_{p0}}, \text{gdje je } p_{p0} \sim N_A \cdot N_D$$

14) Što je ekstrinsično ili radno područje poluvodiča? Što je Ti, a što T_{intr}?

Ekstrinsično ili radno područje je temperaturni opseg između T_i i T_{intr} i unutar njega se nalazi poluvodič N-tipa ili P-tipa. T_i je temperatura potpune ionizacije pri kojoj su sve donorske(akceptorske) primjese ionizirane. T_{intr} predstavlja granicu ekstrinzičnog temp. područja kod koje koncentracija termički generiranih elektrona postaje jednaka koncentraciji primjesa

15) Što je Fermijeva razina i kako ovisi o koncentraciji primjesa?

Fermijeva razina je omjer koncentracije elektrona i šupljina.Fermijeva razina ovisi o koncentraciji primjesa tako što ako su primjese donorskog tipa(N-tip) položaj Fermijeve razine pomiče se prema gornjem rubu energetskog procjepa i nalazi se iznad razine E_{F_i} (koncentracija elektrona je veća od koncentracije šupljina)

16)

17) Što je degenerirani poluvodič?

Degenerirani poluvodič je poluvodič koji je dopiran vrlo velikim razinama nečistoća, pri čemu razina nečistoća predstavlja značajan dio poluvodičkih atoma.

18)

19) Kolike su kvazi-Fermijeve razine poluvodiča u termodinamičkoj ravnoteži?

Kvazi-fermijeve razine u termodinamičkoj ravnoteži su jednake: $E_{Fn}=E_{Fp}=E_F$

20) Što je driftna brzina? Zašto pri većim električnim poljima brzina elektrona(šupljina) ne raste više linearno?

Drift je gibanje nosilaca naboja u poluvodiču pod djelovanjem električnog polja.

Driftna brzina je srednja brzina u smjeru polja.

Pri većim el.poljima brzina elektrona(šupljina) ne raste više linearno jer linearni odnos između driftne brzine i el.polja vrijedi samo ako je driftna brzina znatno manja od srednje kaotične termičke brzine.

21) Što je vrijeme relaksacije?

Vrijeme relaksacije je vremenski interval između 2 sudara unutar kojeg se nosilac naboja slobodno giba, a označava se s tau s .

22) O čemu ovisi pokretljivost elektrona(šupljina)?

Pokretljivost elektrona (šupljina) ovisi o temperaturi,koncentraciji primjesa,jakosti el.polja,te o raspršenju uzrokovanim titranjem rešetke i raspršenju uzrokovanim sudarima s ioniziranim primjesama.

23) Kako provodnost poluvodiča ovisi o pokretljivosti nosilaca naboja?

Provodnost poluvodiča ovisi o pokretljivosti nosilaca naboja tako što u području ispod temperature T_i mala je pokretljivost naboja, a time i provodnost.Unutar ekstrinizacionog područja provodnost malo opada zbog temperturnog pada pokretljivosti nosilaca.

U intrinsicnom području iznad T_{intr} provodnost raste prema σ_i jer poluvodič teži intrinsicnom stanju.

24)

25) Zbog čega dolazi do difuzije u poluvodiču? Što je difuzijska konstanta?

Do difuzije u poluvodiču dolazi zbog neravnoteže koncentracije nosilaca naboja u materijalu, a ona može nastati za vrijeme tehnološke izrade poluvodiča ili pod djelovanjem vanjskih utjecaja.Difuzijska konstanta je konstanta pomoću koje se računa broj elektrona (šupljina) koji sudjeluju u difuziji

26) Što je nehomogeni poluvodič i ugrađeno električno polje?

Nehomogeni poluvodič je poluvodič kod kojeg se koncentracija nosilaca naboja u poluvodiču istog tipa provodnosti (N ili P) mjenja prostorno.Ugrađeno el.polje je specifičnost nehomogenog vodiča.

27) Kakva je veza između difuzijske konstante i pokretljivosti istovrsnih nosilaca naboja?

Veza difuzijske konstante i pokretljivosti istovrsnih nosilaca naboja je ta da bilo kakva prostorna promjena nosilaca naboja izaziva difuzijsku struju koja uspostavlja unutarnje polje, a ono opet driftnom preraspodjelom uspostavlja novu ravnotežu nosioca naboja.

28) Što opisuje jednadžba kontinuiteta?

Jednadžba kontinuiteta: Vremenski prirast gustoće nosilaca naboja u nekom volumenu određen je razlikom učestalosti procesa generiranja i rekombinacije nosilaca naboja u tom volumenu, te protjecanjem izvana narinutih nosilaca naboja kroz taj volumen.

29) Što je difuzijska duljina?

Difuzijska duljina je srednji slobodni put elektrona, odnosno šupljine prije njihove rekombinacije, a ovisi o difuzijskoj konstanti i vremenu života nosilaca naboja.

30) Po kojem se zakonu prostorno razgrađuje ekscesni naboј? Koliko ekscesnih elektrona preostaje na udaljenosti $x = L_n$?

Na udaljenosti $x=L_n$ preostaje $1/e$ početne vrijednosti

31) Objasniti Hallov efekt u poluvodiču!

Ukoliko se poluvodič nalazi u električnom polju, te stoga protječe električna struja gustoće J , a okomito na smjer tog polja egzistira magnetsko polje indukcije B , javlja se, transverzalno na oba polja, novo električno polje jakosti:

$$E = RHJB$$

gdje je RH Hallova konstanta.

32) Kako radi NTC otpornik?

NTC otpornik je otpornik s neg. temperaturnim koeficijentom, tj. porastom temperature smanji mu se otpor. Porastom temperature poluvodiča raste konačno slob nosilaca naboja i provodnost poluvodiča.

1. Što je PN-spoj?

PN-spoj je spoj dvaju poluvodiča različitih tipova primjesa. PN-spoj je usko područje koje se proteže s obje strane metalurškog spoja. Područje prostornog naboja ili osiromašeno područje! PN-područje omogućuje ispravljački efekt.

2. Kakva je Fermijeva razina kod spojenih poluvodiča P-tipa i N-tipa?

Fermijeva razina kod spojenih poluvodiča P-tipa i N-tipa je iznad razine F_i kod N-tipa poluvodiča, a kod P-tipa poluvodiča je ispod razine F_i . U termodinamičkoj ravnoteži Fermijeva razina je jedinstvena i konstantna.

3. Kako se stvara osiromašeno područje?

Osiromašeno područje se stvara na način da područje nekompenziranog prostornog naboja u prvoj aproksimaciji čine samo nepokretni ioni primjesa, ali ne i slobodni nosioci naboja.

4. Gdje se stvara ugrađeno električko polje?

Ugrađeno električko polje se stvara u osiromašenom području, a stvara se zbog prostornog naboja u osiromašenom području lijevo i desno od PN-spoja. Njegove silnice su usmjerene od donorskih (+) prema akceptorskim ionima (-) tj. od N-područja prema P-području.

5. Gdje je električno polje u PN-spoju maksimalno?

Električno polje u PN-spoju je maksimalno kada je funkcija udaljenosti $x=0$ tj. tada su električna polja s obje strane jednakih i imaju najveću vrijednost F_{uM} .

6. Koliko je električno polje na rubu osiromašenoga područja i kvazineutralnih područja?

Električno polje na rubu osiromašenog područja i kvazineutralnih područja je jednako nuli.

7. Kakav je skokovit, a kakav linearno postupni PN-prijelaz?

Skokovit PN-prijelaz je prijelaz konstantne neto koncentracije atoma P-strane $(N_D - N_A) < 0$ na konstantnu neto koncentraciju N-strane $(N_D - N_A) > 0$. Takvom spoju je najsličniji spoj dobiven epitaksijalnim rastom sloja N-tipa na podlozi P-tipa, uz konstantnu koncentraciju primjesa.

Linearno-postupni PN-prijelaz je prijelaz kod kojeg se koncentracija atoma primjesa $(N_D - N_A)$ postupno mijenja po linearном zakonu. Takvom spoju je najsličniji tehnički postupak difuzije donora u epitaksijalni sloj P-tipa.

8. Što je kontaktni potencijal?

Kontaktni potencijal je jednak razlici potencijala u kvazineutralnim područjima poluvodiča N-tipa i P-tipa. $U_k = U_T \ln\left(\frac{N_D \cdot N_A}{n_i^2}\right)$ Taj napon se može izravno mjeriti budući da se zatvorenom strujnom krugu na svakom mjestu (površini) spoja dvaju različito vodljivih područja stvara napon kontakata, a u termodinamičkoj ravnoteži zbroj svih kontaktnih potencijala jednak je nuli. Zato kontaktne potencijale i ne treba uzimati u obzir pri proračunu električkih sklopova.

9. Kako kontaktni potencijal ovisi o koncentraciji primjesa N-strane i P-strane?

Kontaktni potencijal po iznosu je proporcionalan logaritmu omjera ravnotežnih koncentracija istog tipa nosilaca naboja s obje strane osiromašenog područja $U_k = U_T \ln\left(\frac{n_{n0}}{n_{p0}}\right)$ gdje je n_{n0} ravnotežna koncentracija elektrona na N-strani, a n_{p0} ravnotežna koncentracija elektrona na P-strani.

10. Na koju stranu se jače širi PN-osiromašeno područje? Kako se određuje širina osiromašenog područja?

PN-osiromašeno područje se jače širi u područje s manje primjesa tj. u čišći poluvodič. Širina osiromašenog područja se određuje po formuli $d_b = |x_p| + x_n$ gdje su x_p i x_n dubine prodiranja osiromašenog područja na P-stranu i N-stranu, mjereno od metalurškog spoja.

$$x_p = \frac{d_b}{1 + \frac{N_A}{N_D}} \quad x_n = \frac{d_b}{1 + \frac{N_D}{N_A}}$$

Osim toga ukupna širina osiromašenog polja ovisi o jakosti ugrađenog el. polja, odnosno o padu napona na osiromašenom području

11. Što je simetrično, asimetrično i jednostranu područje?

Skokoviti PN-prijelazi mogu biti simetrični i asimetrični. Kod simetričnih su prijelaza koncentracije donora na N-strani i akceptora na P-strani identične. Mnogo češći su asimetrični spojevi kod kojih koncentracija donora na N-strani i akceptora na P-strani nisu identične. Asimetrični prijelazi prelaze u jednostrane ako je simetrija koncentracije takva da se koncentracije većinskih nosilaca međusobno razlikuje za faktor 10 i više.

12. Što pokazuje kvazi-Fermijeva razina kod PN-spoja u neravnoteži?

Položaj kvazi-Fermijeva razina kod PN-spoja u neravnoteži u odnosu na rubove osiromašenog pojasa je stalan $E_{Fp} = E_{Fn}$, odnosno razmaknut za qU .

13. Kakva je širina osiromašenog područja kod propusne, a kakva kod nepropusne polarizacije PN-spoja?

Širina osiromašenog područja kod propusne polarizacije se sužuje, a potencijalna barijera snizuje. Sužuje se jer se u osiromašenom području neutralizira dio naboja nekompenziranih iona donora i akceptora. PN-spoj je u neravnoteži i takvo se stanje može održavati samo pomoću vanjskog električkog polja (vanjskog izvora).

Širina osiromašenog područja kod nepropusne polarizacije se širi, a potencijalna barijera postaje viša. Širi se zato što vanjsko električko polje kroz vanjski izvor napajanja dodatno izvlači slobodne elektrone i šupljine osiromašujući još više N-stranu i P-stranu osiromašenog područja..

14. Kako o naponu i koncentraciji primjesa ovisi barijerni kapacitet PN-spoja?

Barijerni kapacitet PN-spoja je naponski promjenjivi kapacitet pa je stoga proporcionalan naponu tj. povećanjem napona povećava se i kapacitet. Barijerni kapacitet PN-spoja je obrnuto proporcionalan koncentraciji primjesa tj. dodavanjem primjesa barijerni kapacitet se smanjuje.

15. Kako ekscesni naboј uz rub osiromašenog sloja PN-spoja ovisi o vanjskom naponu?

Ekscesni naboј uz rub osiromašenog sloja PN-spoja je proporcionalan vanjskom naponu tj. povećanjem vanjskog napona povećava se i ekscesni naboј.

16. Što su kvazineutralna područja PN-spoja?

Kvazineutralna područja su područja dovoljno udaljena od PN-prijelaza gdje koncentracija nosilaca naboja ostaje ista kao i prije spajanja monokristala P-tipa i N-tipa.

Ona se nadovezuju na osiromašeno područje i u njemu nema zamjetnog djelovanja električkog polja.

17. Po kojem se zakonu prostorno mijenja koncentracija injektiranih nosilaca naboja udaljavanjem od osiromašenog područja PN-spoja?

Koncentracija injektiranih nosilaca naboja udaljavanjem od osiromašenog područja PN-spoja mijenja se po eksponencijalnom zakonu (smanjuje se)

18. Kako se u režimu malog signala računa difuzijska struja PN-spoja?

U režimu malog signala tj. niske koncentracije manjinskih nosilaca naboja driftna komponenta zbog vanjskog polja se može zanemariti, pa se ukupna struja može pripisati samo difuzijskom gibanju manjinskih nosilaca naboja.

19. Što je reverzna struja zasićenja I_s ? O čemu ovisi?

Reverzna struja zasićenja I_s je posljedica termičke generacije parova nosilaca naboja (elektron šupljina) u kvazineutralnom području i zatim difuzije manjinskih nosilaca u područje prostornog naboja, kroz koje se oni pod utjecajem električnog polja prebacuju na suprotnu stranu. Ovisi o kvadratu intrinsične koncentracije nosilaca naboja, površini PN-spoja...

20. Napisati jednadžbu i nacrtati I-U karakteristiku PN-spoja!

$$\text{Jednadžba je } I_D = I_s \cdot \exp\left(\frac{U}{U_T} - 1\right)$$

21. Definirati diode uskih i širokih strana!

Kod dioda uskih strana kvazineutralna područja znatno su kraća od difuzijskih duljina , pa stoga kod njima ne dolazi do značajnije rekombinacije nosilaca naboja. Svi manjinski nosioci rekombiniraju tek na omskim kontaktima takve diode.

Kod dioda širokih strana P-područja i N-područja znatno su dulja od osiromašenog područja. U takvoj se diodi zbog rekombinacije, ravnotežna koncentracija nosilaca naboja ponovo uspostavlja na dovoljnoj udaljenosti od osiromašenog područja.

22. Što je faktor injekcije kod PN-spoja?

Faktor injekcije je omjerom injektirane struje manjinskih nosilaca naboja i ukupne struje PN-spoja

23. Kako faktor injekcije ovisi o provodnosti (koncentraciji primjesa) i difuzijskoj duljini promatralnih nosilaca naboja?

Faktor injekcije šupljina na N-strani je veći što je veća provodnost odnosno koncentracija primjesa one strane iz koje se injektiraju nosioci. Uvijek je manji od jedan, a teži prema jedinici tak kada je struja drugog tipa nosilaca zanemarivo mala.

24. Zbog čega dolazi do odstupanja od idealne I-U karakteristike kod nepropusne polarizacije PN-spoja?

Do odstupanja od idealne I-U karakteristike kod nepropusne polarizacije dolazi zbog utjecaja generacije i rekombinacije u osiromašenom području, zbog visoke injekcije manjinskih nosilaca naboja i zbog padova napona na kvazineutralnim područjima P-tipa i N-tipa, te vanjskim kontaktima.

25. koji su uzroci odstupanja od idealne I-U karakteristike kod propusne polarizacije PN-spoja?

Do odstupanja od idealne I-U karakteristike kod propusne polarizacije dolazi zbog utjecaja generacije i rekombinacije u osiromašenom području, zbog visoke injekcije manjinskih nosilaca naboja i zbog padova napona na kvazineutralnim područjima P-tipa i N-tipa, te vanjskim kontaktima.

26. Objasnite utjecaj visoke injekcije i omskih gubitaka!

Pri stvaranju modela idealne PN-diode zanemareni su padovi napona na kvazineutralnim područjima P-tipa i N-tipa. Pri većem porastu struje kroz diodu treba uzeti u obzir i padove napona na kvazineutralnim područjima što se često pojednostavljeno prikazuje dodavanjem otpornika u seriju s osiromašenim slojem. Smanjenje napona na osiromašenom području smanjuje razinu injekcije nosilaca naboja pa pri većim naponima struja raste sporije. Daljnju nevolju pri proračunu omskih gubitaka izaziva činjenica da se s povećanjem injekcijom nosilaca naboja zbog povećanja struje mijenja i provodnost kvazineutralnih područja, koja pri velikim strujama može smanjiti iznose otpora R_p i R_n (otpori kvazineutralnih područja)

1. Kako se s povećanjem temp. mijenja reverzna struja zasićenja germanijevog i silicijskog PN-spoja?

1. Sa povećanjem temperature reverzna struja zasićenja u silicijskim diodama raste brže nego u germanijevim diodama, ali sporije od teoretske relacije zbog dodatne generacije nosilaca naboja u područje prostornog naboja (R -centri).

2. Kako se uz konstantnu struju propusne polarizacije kroz diodu mijenja napon na diodi ako se temp. spusti s T_2 na T_1 ?

2. Uz konstantnu struju propusne polarizacije kroz diodu napon se povećava pri spuštanju temperature s T_2 na T_1 .

3. Kako se mijenja struja diode ako je kod propusne polarizacije napon na diodi konstantan, a temp. poraste s T_2 na T_1 ?

3. Uz konstantan napon na diodi pri propusnoj polarizaciji reverzna struja raste s porastom temperature s T_1 na T_2 . Porastom napona propusne polarizacije temperaturni koeficijent se smanjuje.

4. Koji su mehanizmi odgovorni za probaj PN-spoja?

4. Za probaj PN-spoja odgovorna je lavinska multiplikacija (generiranje nosilaca naboja ionizacijom zbog sudara pri veoma visokim naponima probaja U_{pr}) i tunelski efekt (prolazak nosilaca naboja kroz usko osiromašeno područje, pri veoma niskim naponima probaja U_{pr}).

5. U kakvim osiromašenim područjima nastupa lavinska multiplikacija?

5. Lavinska multiplikacija nastupa u širokim osiromašenim područjima, dakle pri niskim koncentracijama primjesa i linearno-postupnim PN-prijelazima.

6. Što je koeficijent lavinske multiplikacije M?

6. Koeficijent lavinske multiplikacije M je definiran kao odnos koncentracije elektrona n_f koji su nakon lavinske multiplikacije izašli iz osiromašenog područja i broja elektrona n_0 koji su prije lavinske multiplikacije ušli u osiromašeno područje.

7. U kakvim osiromašenim područjima dolazi do Zenerova (tunelskog)proboja?

7. Do Zenerovog (tunelskog) proboja dolazi u uskim osiromašenim područjima, dakle pri visokim koncentracijama primjesa i skokovitim PN-prijelazima.

8. Usporedi temperaturne koeficijente lavinskog i tunelskog proboja!

8. Relativno mala temperaturna promjena napona proboja Upr suprotnog je predznaka kod ta dva mehanizma. Lavinski proboj nastupa pri nižim koncentracijama primjesa i višim probojnim naponima, dok Zenerov proboj nastupa obrnuto, pri višim koncentracijama primjesa i nižim probojnim naponima. Kod lavinskog proboja s porastom temperature povećava se napon proboja jer je obrnuto proporcionalan s pokretljivosti nosilaca naboja koja se smanjuje s porastom temperature. Kod Zenerovog proboja s porastom temperature smanjuje se probojni napon, jer se smanjenjem širine energetskog procjepa E_G povećava vjerojatnost tuneliranja.

9. Što je dinamički otpor, a što statički otpor PN-spoja?

9. Dinamički otpor je prikazan s kotangensom kuta β tangente na radnu točku diode, on nastaje pri izmjeničnim uvjetima rada (dinamički otpor PN-diode opada linearno s porastom istosmjerne struje kroz nju). Statički otpor je određen kotangensom kuta α , on nastaje pri istosmjernim uvjetima rada.

10. Što je difuzijski kapacitet?

10. Difuzijski kapacitet je uvjetovan dinamičkom promjenom neravnotežnog naboja u kvazineutralnim područjima uz rub osiromašenog područja.

11. Kako difuzijski kapacitet ovisi o struji PN-spoja?

11. Difuzijski kapacitet je proporcionalan istosmjernoj struji.

1. Kakvog karaktera mogu biti spojevi metal-poluvodič?

1. Spojevi metal poluvodiča mogu biti omskog ili ispravljačkog karaktera.

2. Kako se definira rad izlaza u metalu, a kako u poluvodiču?

2. Rad izlaza u metalu $q\phi_m$ definiran je razlikom Fermijeve razine metala E_{Fm} i energije slobodnog elektrona u vakuumu E_0 . U poluvodiču izlazni rad za isti tip poluvodiča nije konstantan nego ovisi o koncentraciji primjesa N_A i N_D , te temperaturi T. Schottkyjev efekt je sniženje potencijalne barijere metala pod djelovanjem vanjskog električkog polja.

3. Na koju stranu se širi osiromašeno područje?

3. Osiromašeno područje širi se gotovo u cijelosti na manje vodljivu stranu-poluvodič.

4. Koliko je ugrađeno električko polje, o čemu ono ovisi i gdje mu je maksimum u ispravljačkom spoju metal-poluvodič?

4. Ugrađeno električko polje je električno polje koje ovisi o prostornom naboju u osiromašenom području te je najjače na rubu spoja metal-poluvodič ($x=0$).

5. O čemu ovisi visina potencijalne barijere koja sprječava prijelaz elektrona iz metala u poluvodič?

5. Visina potencijalne barijere koja sprječava prijelaz elektrona iz metala u poluvodič ovisi o razlici izlaznog rada iz metala i afiniteta.

6. O čemu ovisi visina potencijalne barijere koja sprječava prijelaz elektrona iz poluvodiča u metal?

6. Visina potencijalne barijere koja sprječava prijelaz elektrona iz poluvodiča u metal ovisi o vanjskom naponu.

7. Kako glasi izraz za barijerni kapacitet? O čemu ovisi njegov iznos?

7. Izraz za barijerni kapacitet je $C_b = \left| \frac{dQ}{dU} \right| = A \cdot \sqrt{\frac{qEN_D}{2 \cdot (U_k - U)}}$. Njegov iznos ovisi o prostornom naboju i izvana dovedenom naponu.

8. Kako se mjeranjem barijernog kapaciteta može procijeniti koncentracija primjesa i kontaktni potencijal U_k ?

8. Mjeranjem barijernog kapaciteta koncentracija primjesa se određuje iz nagiba pravca dobivenog mjerenjem, a kontaktni potencijal U_k iz presjeka s naponskom osi jer je taj način najprecizniji.

9. Kako difuzijske struje ispravljačkog spoja ovise o vanjskom naponu na ispravljačkom spoju metal-poluvodič?

9. O vanjskom naponu na ispravljačkom spoju metal-poluvodič difuzijske struje ovise

10. Kako glasi Schottkyjeva jednadžba idealne diode?

$$10. \text{ Schottkyjeva jednadžba idealne diode glasi } I = I_s \left[\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right]$$

11. Zašto je u njoj reverzna struja zasićenja neovisna o naponu?

11. Reverzna struja zasićenja u njoj je neovisna o naponu zato što u propusnom smjeru Schottkyjeva dioda radi s nižim naponima U .

12. Ako je struja kroz ispravljački spoj metal-poluvodič posljedica zajedničkog djelovanja difuzijske i driftne struje, je li struja I_S i dalje konstantna?

12. Ako je struja kroz ispravljački spoj metal-poluvodič posljedica zajedničkog djelovanja difuzijske i driftne struje, struja I_S nije i dalje konstantna.

13. Na koje se sve načine može dobiti omski (neispravljački) spoj metal-poluvodič?

13. Omski spoj metal-poluvodič može se dobiti pomoću tunelskog omskog spoja i Schottkyjevog omskog spoja.

1. Nacrtati I-U karakteristiku ispravljačke diode. Gdje se primjenjuje ispravljačka dioda?

1. Ispravljačka dioda se primjenjuje se pri ispravljanju signala, te u sklopovima za oblikovanje valnih oblika. Ona dobro vodi struju u jednom smjeru, a u drugom ne (zanemarivo mala).

2. Kako se može linearizirati I-U karakteristika ispravljačke diode? Modeli PN-diode!

2. I-U karakteristika ispravljačke diode može se linearizirati tako da se dioda odlikuje s:

- zanemarivom reverznom strujom zasićenja I_S
- naponski malom ovisnom strujom propusne polarizacije (zanemariv r_D !)
- visokim reverznim naponom probaja U_{pr}
- niskim naponom koljena U_0

3. Što je napon koljena U_0 i kako se definira?

3. Napon koljena U_0 je napon do kojega je struja propusne polarizacije zanemarivo mala i tek nakon njega znatno raste. Definiran je kao presjeciste naponske osi i tangente kroz radnu točku diode.

4. Kako širina energetskog procjepa E_G utječe na napon koljena?

4. S porastom širine energetskog procjepa E_G raste i na napon koljena U_0 i kontaktni potencijal U_k .

5. Kako širina energetskog procjepa E_G utječe na reverznu struju zasićenja?

5. S porastom širine energetskog procjepa E_G reverzna struja zasićenja I_S opada.

6. Kakav je utjecaj koncentracije primjesa na serijski otpor r_D ?

6. Utjecaj koncentracije primjesa na serijski otpor r_D je takav da ako slabije dopiramo N-stranu povećat će se serijski otpor r_D . Da bi se smanjio taj otpor slabo dopirane strane mora se povećati njen presjek, a smanjiti duljina.

7. Kako koncentracija primjesa i geometrija diode utječe na napon probaja U_{pr} ?

7. Koncentracija primjesa i geometrija diode utječu na prerani probaj na rubovima PN-spoja. Sprječava se zakošenjem rubova i dodavanjem zaštitnog prstena, ugradnjom u plastična i staklena kućišta (diode malih snaga), te ugradnjom na disk od volframa ili molbidena, zbog velikih temperatura-temperaturno istezanje silicija (diode velikih snaga)

8. Kakva je glavna karakteristika prekidačkih dioda?

8. Glavna karakteristika prekidačkih dioda je brzina prelaska iz vodljivog u nevodljivo stanje, a manje bitna mala reverzna struja zasićenja i gubici u propusnoj polarizaciji.

9. Kojim postupcima se skraćuje vrijeme prekapčanja prekidačkih dioda?

9. Vrijeme prakapčanja prekidačkih dioda se skraćuje nesimetričnim PN-spojevima (manji barijerni kapacitet) i dodavanjem atoma primjesa (obično zlata) koje stvaraju R-centre (manji difuzijski kapacitet)

10. Zašto je difuzijski kapacitet Schottkyjeve diode zanemarivo?

10. Difuzijski kapacitet Schottkyjeve diode je zanemariv zato što nema injekcije manjinskih nosilaca naboja, struju vode isključivo većinski nosioci .

11. Kakva je brzina prekapčanja takve diode?

11. Brzina prekapčanja takve diode je brža, zbog nižeg napona koljena i zato što je struja zasićenja veća od struje zasićenja PN-diode.

12. Što je varaktor?

12. Varaktor je dioda u kojoj se koristi promjena barijernog kapaciteta s naponom nepropusne polarizacije.

13. Kako treba polarizirati varaktor da se dobije naponska promjena kapaciteta?**Kakva je ovisnost kapaciteta o naponu?**

13. Da bi se dobila naponska promjena kapaciteta varaktor treba nepropusno polarizirati. Kapacitet je obrnuto proporcionalan vrijednosti drugog korijena napona nepropusne polarizacije (kod skokovitog PN-prijelaza), odnosno trećeg korijena napona nepropusne polarizacije (kod linearno postupnog PN-prijelaza).

14. Kako se uz linearnu promjenu napona postiže linearna promjena frekvencije titrajnog kruga izведенog s varaktorom?

14. Uz linearnu promjenu napona linearna promjena frekvencije titrajnog kruga izведенog s varaktorom postiže se izvođenjem kapacitivne diode kao dvostrukе diode u protuserijskom spoju.

15. Što je PIN-dioda?

15. Kod PIN dioda se između dva jako dopirana (dobro vodljiva) područja nalazi (slabo provodno) područje (gotovo) čistog poluvodiča. Koriste se kao promjenjiv otpor i kao posebna vrsta prekidačkih dioda na vrlo visokim frekvencijama i pri velikim snagama.

16. Kako se mijenja ukupni otpor PIN-diode pri propusnoj polarizaciji?

16. Ukupni otpor PIN diode pri propusnoj polarizaciji određen je otporom I-područja, a on se mijenja sa strujom propusne polarizacije I koja eksponencijalno ovisi o naponu propusne polarizacije U (tj. mijenja se vanjskim naponom).

17. Kakva je ovisnost barijernog kapaciteta pri reverznoj polarizaciji PIN-diode?

17. Barijerni kapacitet pri reverznoj polarizaciji PIN diode neovisan je o naponu jer su promjene širine osiromašenog područja P^+ i N^+ strane male u odnosu na konstantnu širinu I-područja.

18. Gdje i kako se rabe referentne diode?

18. Referentne diode se rabe za probajne napone od jednog do nekoliko stotina volti. U okolini napona probaja U_{pr} referentna dioda može biti kao izvor konstantnog napona i promjenjive struje.

19. Što su tunelske diode? Nacrtati njihovu I-U karakteristiku!

19. Tunelske diode su vrsta dioda u kojima se zbog vrlo visoke koncentracije primjesa Fermijeve razine poluvodiča nalaze u valentnom i vodljivom pojasu. Nalaze primjenu kod veoma brze sklopke te kao aktivni elementi mikrovalnih oscilatora s negativnim otporom.

20. Na kojem dijelu karakteristike je dinamički otpor tunelske diode negativan?

20. Dinamički otpor tunelske diode negativan je na 4 dijelu karakteristike. Porastom napona propusne polarizacije smanjuje se struja tuneliranja.

1. Koja je funkcija aktivnih elektroničkih komponenata u elektronici?

Pojačanje snage (pojačanje napona ili struje).

Preklapanje (rad u režimu sklopke).

2. Kako se tranzistori dijele prema načelu rada?

Bipolarni tranzistor (BJT)

Unipolarni tranzistor (FET)- dijele se na (JFET) i (MOSFET).

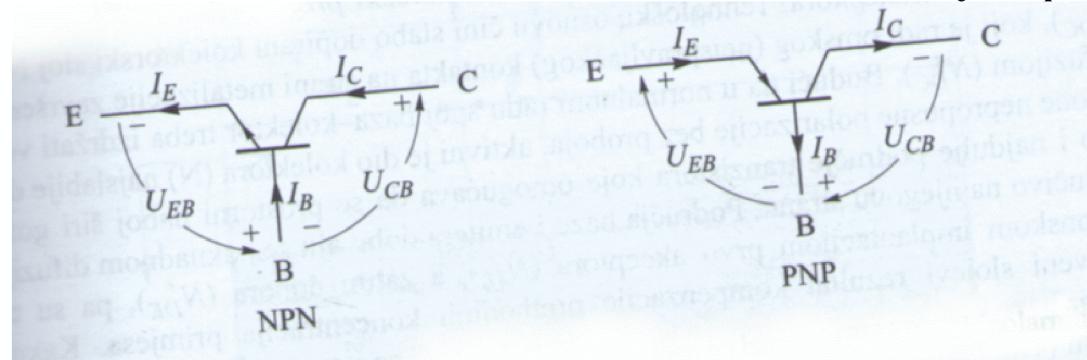
3. Što je unos (injekcija) nosilaca naboja, a što njihov prijenos (transport)? Opisati tranzistorски efekt.

Unos (injekcija)- unošenje manjinskih nosilaca naboja propusno polariziranim PN-spojem.

Prijenos (transport)- prijenos manjinskih nosilaca naboja kroz neutralno područje.

Tranzistori s efektom polja otpori su u kojima jakost struje u volumenu poluvodiča ovisi o vanjskom električnom polju

4. Nacrtati električki simbol NPN i PNP tranzistora. Označiti sve struje i napone.



5. Na koje se sve načine može spajati NPN tranzistor?

Spoj zajedničke baze (SZB)

Spoj zajedničkog emitera (SZE)

Spoj zajedničkog kolektora (SZC)

6. Koji sve načini rada tranzistora postoje prema polarizaciji emiterskog i kolektorskog spoja?

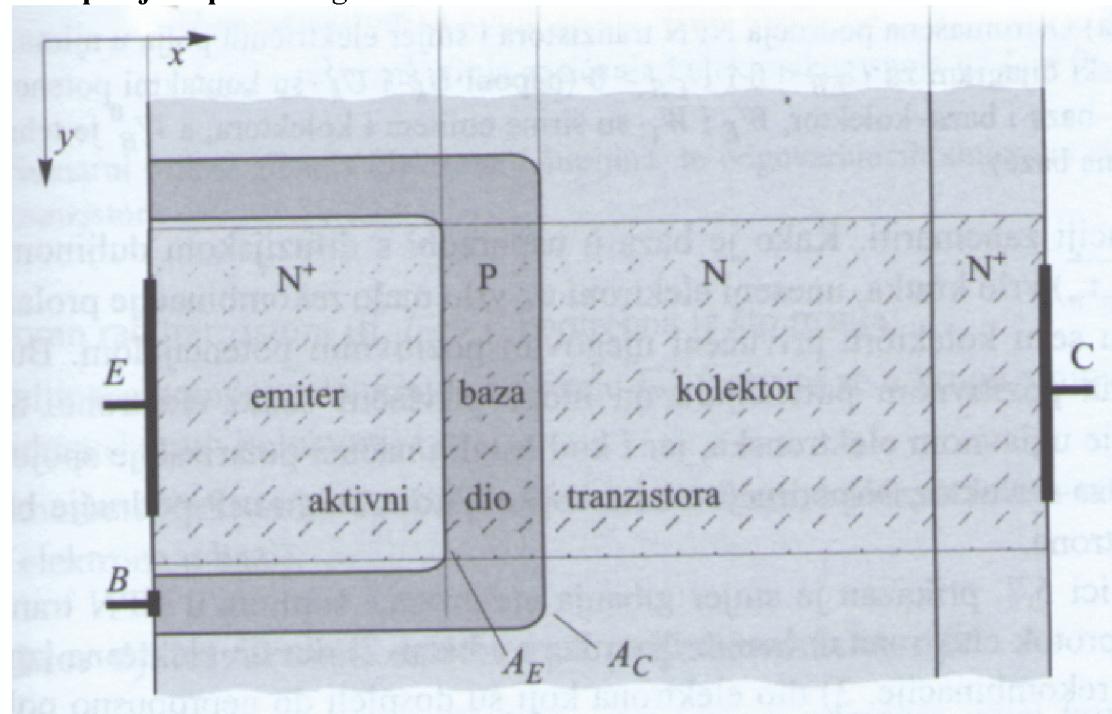
Normalno aktivno područje (NAP) emiter- *propusna*, kolektor- *nepropusna polarizacija*.

Zasićenje emiter- *propusna*, kolektor- *propusna polarizacija*.

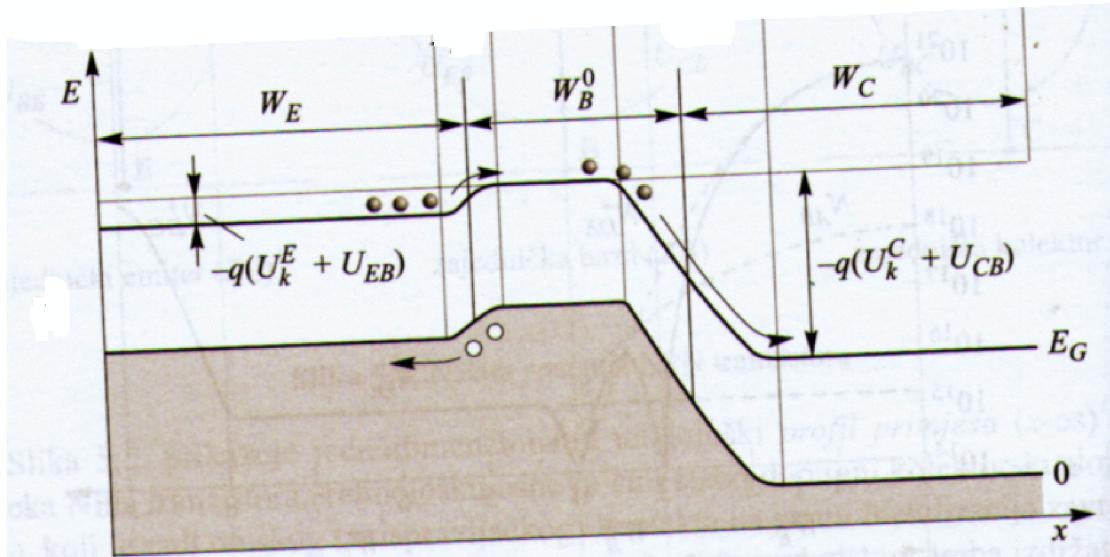
Zapiranje emiter- *nepropusna*, kolektor- *nepropusna polarizacija*.

Inverzno aktivno područje (IAP) emiter- *nepropusna*, kolektor- *propusna polarizacija*.

7. Nacrtati tehnološki presjek NPN tranzistora. Označiti emiter, bazu i kolektor. Na skici presjeka planarnog tranzistora označiti aktivni dio.



8. Nacrtati energetske pojase tranzistora, značiti osiromašena područja i smjerove električnog polja za normalno aktivno područje rada NPN tranzistora.



9. Koje su komponente emiterske struje?

I_{NE} - elektronska komponenta struje emitera.

I_{PE} - šupljinska komponenta struje emitera.

10. Koje su komponente bazne struje?

I_R - struja rekombinacije.

11. Koje su komponente kolektorske struje?

I_{NC} – elektronska komponenta struje kolektora.

I_{CB0} – reverzna struja zasićenja kolektorskog spoja.

12. Što je faktor injekcije ili faktor djelotvornosti emitera? Kako se taj faktor povećava?

Određuje udjel korisne (elektronske) komponente struje u ukupnoj struci emitera. Teži jedinici sa smanjenjem šupljinske komponente struje emitera I_{PE} .

13. Što je prijenosni ili transportni faktor? Kako se taj faktor povećava?

Predstavlja omjer kolektorske struje elektrona, koji su izbjegavši rekombinaciju u bazi stigli do kolektora i elektronske komponente emiterske struje.

14. Kako je definiran istosmjerni faktor strujnog pojačanja u spoju zajedničke baze?

$$\alpha = \frac{I_C - I_{CB0}}{I_E};$$

This PDF made by Hell Lightning