Rafeindatækni fastra efna:

Tvískeyttir smárar

Kafli 15

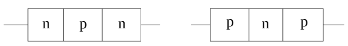
Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

27. nóvember 2000

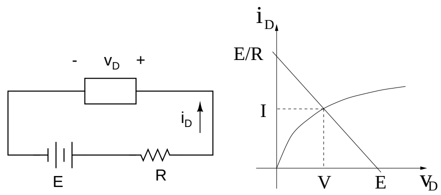
Tvískeyttur smári

- Með því að sameina fleiri en ein p-n-skeyti má búa til ýmis flóknari tól
- Einfaldasta dæmið um slíkt tól eru tvö p-n-samskeyti
- Þessi tvö samskeyti mynda **tvískeyttan smára** (e. bipolar junction transistor (BJT))
- Í smáranum er stýrt flæði víkjandi bera um miðsvæðið



- npn-gerðin er algengari þar sem hreyfanleiki rafeinda er gjarnan hærri en hola
- Smárann má nota sem magnara í hliðrænum rásum eða rofa í stafrænum rásum

Ólínuleg tól



- Straumur í rás með ólínulegt tól
- Samkvæmt Kirchhof

$$E - i_D R - v_D = 0$$

eða

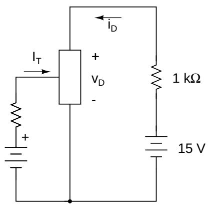
$$i_D = \frac{E - v_D}{R}$$

- Við verðum að þekkja kennilínu tólsins

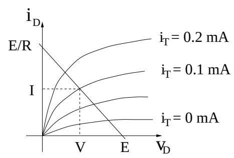
$$i_D = f(v_D)$$

- I er straumurinn í rásinni og V er spennan yfir tólið

Tvískeyttur smári

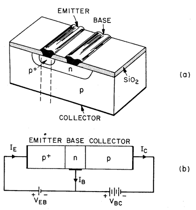


- Nota má aðra rás til að stýra $I - V$ eiginleikum tólsins

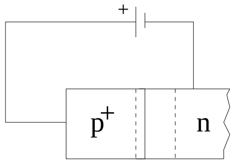


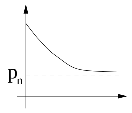
- Mögnun er línuleg ef jafnt bil er á milli kennilína fyrir fasta breytingu í i_T
- Tólið verkarsem rofi þegar i_T er breytt til að færa I og V eftir vinnulínunni frá $i_D = 0$ að $i_D \sim i_{D,\max}$

Tvískeyttur smári - Eimir



- Við viljum nota p^+-n-samskeytin til að spýta inn holum að n-p samskeytumum





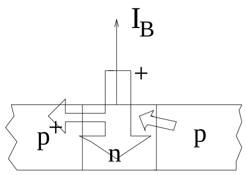
- p-hlið er háíbætt til að straumur rafeinda frá n að p verði hlutfallslega lítill

Tvískeyttur smári

- Viljum að sem flestar holur nái frá p^+-n-skeytum að n-p-skeytum
- Þess vegna þarf að gilda

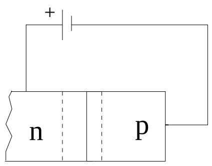
$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p} >> W_p$$

Tvískeyttur smári - Beinir

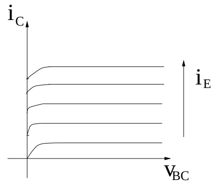


- Straumurinn I_B stjórnast af:
  - Samruna rafeinda og hola á n-svæði (í beini)
  - Flæði rafeinda frá n til p^+
  - Flæði rafeinda frá p til n

Tvískeyttur smári - Gleypir

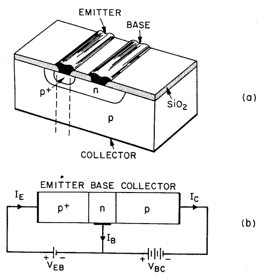


- Undir venjulegum kringumstæðum er straumurinn yfir skeytin lítill (skeytin bakspennt)
- Ef holum er hins vegar spýtt inn frá vinstri hlið eiga þær greiða leið yfir á p-svæðið
- Straumurinn i_C stjórnast því af i_E en er óháður V_{BC}



Tvískeyttur smári

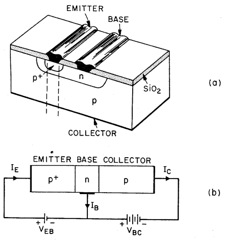
- Í tvískeyttum tólum taka bæði rafeindir og holur þátt í leiðniferlinu



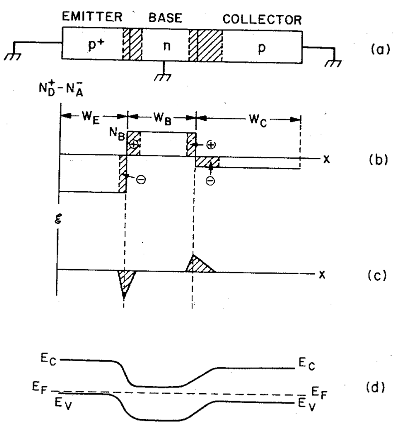
- Myndin sýnir tvískeyttann p-n-p smára
- Byrjað er með p-undirlag og í hluta þess er íbætt til að fá n-leiðandi svæði. Því næst er p^+-svæði myndað í n-svæðinu

Tvískeyttur smári

- Málmskaut eru tengd p^+- og n-svæðunum um glugga sem opnaðir eru í oxíðlag. Jafnframt er málmskaut tengt í undirlagið
- Háíbætta svæðið er nefnt **eimir**
- Þunna miðsvæðið er nefnt **beinir**
- Létt íbætta p-svæðið er **gleypir**

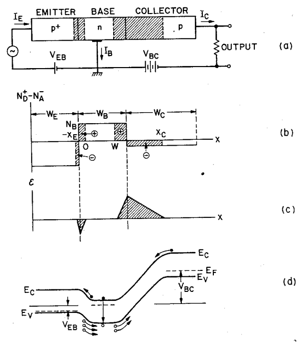


Tvískeyttur smári



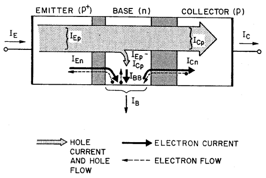
- Myndin sýnir p-n-p smára í varmajafnvægi með öll tengi jarðtengd
- Við varmajafnvægi er heildarstraumurinn núll

Tvískeyttur smári



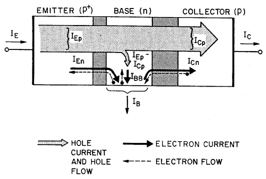
- Myndin sýnir p-n-p smára tengdan sem magnara með sameiginlegan beini
- Myndir b) og c) sýna hleðsluþéttleika og rafsvið við álagða spennu
- p^+-n-skeytin eru framspennt og n-p skeytin bakspennt
- Holum er spýtt inn frá eimi til beinis og rafeindum frá beini til eimis

Tvískeyttur smári



- Samskeyti gleypis og eimis eru bakspennt og lítill straumur (mettunnarstraumur) rennur um skeytin
- Ef beinir er nægilega þunnur þá geta holur frá eimi náð inn i gleypi
- Ef flestar holurnar sem koma inn í beini ná yfir í gleypi er holustraumur í gleypi svipaður holustraum í eimi
- Holur sem er spýtt inn frá eimi mynda straum I_{Ep}, sem er stærsti straumþátturinn í góðum smára
- Flestar ná holurnar yfir í gleypi og gefa strauminn I_{Cp}

Tvískeyttur smári



- I_{En} er straumur vegna rafeinda sem fara frá beini til eimis, hann er óæskilegur
- I_{BB} tekur til þeirra rafeinda sem spýta þarf inn í beini til að bæta fyrir þær rafeindir sem sameinast innspýttum holum
- Þannig er

$$I_{\mathrm{BB}} = I_{\mathrm{Ep}} - I_{\mathrm{Cp}}$$

þar sem I_{Cn} eru rafeindir sem fara frá gleypi til beinis.

Tvískeyttur smári

- Við sjáum

$$I_{\mathrm{E}} = I_{\mathrm{Ep}} + I_{\mathrm{En}}$$

$$I_{\mathrm{C}} = I_{\mathrm{Cp}} + I_{\mathrm{Cn}}$$

$$I_{\mathrm{B}} = I_{\mathrm{E}} - I_{\mathrm{C}}$$

- Skilgreinum straummögnun við sameiginlegan beini

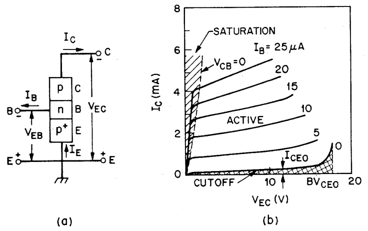
$$\alpha_o = \frac{I_{\mathrm{Cp}}}{I_{\mathrm{E}}}$$

- Straumurinn um gleypi við sameiginlegan beini er

$$I_{\mathrm{C}} = \alpha_o I_{\mathrm{E}} + I_{\mathrm{CBO}}$$

þar sem I_{CBO} er lekastraumur milli gleypis og beinis þegar samskeyti eimis og beinis eru opin

Tvískeyttur smári



- Í rásum eru tvískeyttir smárar yfirleitt tengdir með eimi sameiginlegan
- Þá er

$$I_{\mathrm{C}} = \alpha_o(I_{\mathrm{B}} + I_{\mathrm{C}}) + I_{\mathrm{CBO}}$$

sem við leysum fyrir I_{C}

$$I_{\mathrm{C}}(1-\alpha_o) = \alpha_o I_{\mathrm{B}} + I_{\mathrm{CBO}}$$

eða

$$I_{\mathrm{C}} = \frac{\alpha_o}{1-\alpha_o} I_{\mathrm{B}} + \frac{I_{\mathrm{CBO}}}{1-\alpha_o}$$

Tvískeyttur smári

- Skilgreinum

$$\beta_o = \frac{\Delta I_{\mathrm{C}}}{\Delta I_{\mathrm{B}}} = \frac{\alpha_o}{1-\alpha_o}$$

og

$$I_{\mathrm{CEO}} \equiv \frac{I_{\mathrm{CBO}}}{1-\alpha_o}$$

sem er lekastraumur milli gleypis og eimis ef $I_{\mathrm{B}} = 0$.

- Þar með höfum við

$$I_{\mathrm{C}} = \beta_o I_{\mathrm{B}} + I_{\mathrm{CEO}}$$

þar sem α_o er nálægt einum.

- Ef $\alpha_o = 0.99$ þá er $\beta_o = 99$ og ef $\alpha_o = 0.998$ þá er $\beta_o = 499$
- Lítill straumur á beini getur gefið háan straum frá gleypi

Tvískeyttur smári

- Straumnum i_C má stjórna með litlum breytingum í i_B
- Til að viðhalda hleðslujafnvægi á n-svæði verða rafeindir að streyma inn á beini
- Hver hola dvelur að meðaltali τ_t á svæðinu á meðan hver umfram rafeind hefur líftíma τ_p
- Ef gert er ráð fyrir hverfandi bakstraum á p-n-skeytunum má rita

$$\frac{i_\mathrm{C}}{i_\mathrm{B}} = \beta = \frac{\tau_\mathrm{p}}{\tau_\mathrm{t}}$$

$\Longrightarrow$ Dæmi 15.1.

Heimildir

[1] S. M. Sze, *Semiconductor Devices: Physics and Technology*, John Wiley & Sons, 1985

[2] B. G. Streetman and S. Banerjee, *Solid State Electronics*, 5th ed., Prentice-Hall, 2000, kafli 7