Hálfleiðarar:

Tvistar

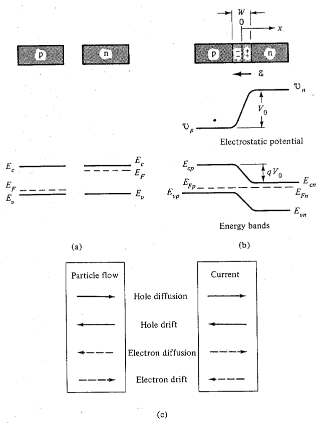
Kafli 6

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

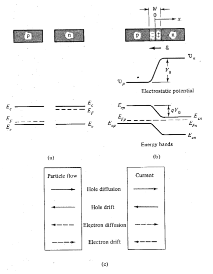
1. nóvember 1999

Samskeyti



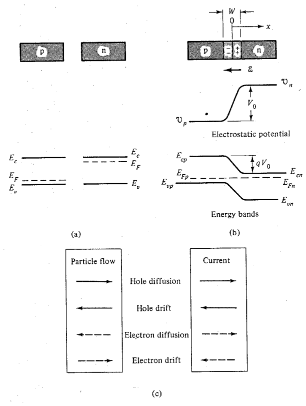
- Skoðum nú p-n-skeyti sem eru skörp
- Gerum nú ráð fyrir p- og n-hálfleiðara sem skeytt er saman til að mynda samskeyti
- Áður en þeim er skeytt saman hefur n efnið mikinn þéttleika rafeinda og fáar holur og hið gagnstæða gildir um p-efnið.

Samskeyti



- Þegar p og n hálfleiðararnir koma saman sveima holur frá p-hálfleiðara til n-hálfleiðara.
- Við þetta byggist upp rafsvið yfir skeytin
- Rafeindir sem sveima frá n- til p-hálfleiðara skilja eftir N_D^+ rafgjafa jónir
- Holur sem sveima frá p- til n-hálfleiðara skilja eftir N_A^- rafþega jónir
- Stefna rafsviðsins er því öfug við straumstefnu hleðslubera

Samskeyti



- Rafsviðið veldur rek straumum sem eru gangstæðir við sveimstrauminn
- Það safnast ekki fyrir rafeindir eða holur á samskeytasvæðinu eða

$$J_p(\text{rek}) + J_p(\text{sveim}) = 0$$

$$J_n(\text{rek}) + J_n(\text{sveim}) = 0$$

Samskeyti

- Rafsviðið byggist upp þangað til heildarstraumurinn er núll í jafnvægi
- Rafsviðið myndast á svæði af breidd W umhverfis skeytin og það myndast spennumunur V_o yfir W
- V_o er kallað **snertimætti**
- Rek og sveim styttist út í jafnvægi

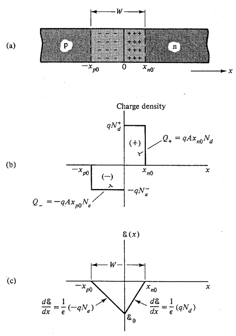
$$J(x) = q\left[\mu_p p(x)\mathcal{E}(x) - D_p \frac{\mathrm{d}p(x)}{\mathrm{d}x}\right] = 0$$

eða

$$\frac{\mu_p}{D_p}\mathcal{E}(x) = \frac{1}{p(x)}\frac{\mathrm{d}p(x)}{\mathrm{d}x}$$

þar sem stefnan á x er valin frá p til n.

Samskeyti



- Nú er rafsviðið tengt mættinu með

$$\mathcal{E}(x) = -\frac{\mathrm{d}V(x)}{\mathrm{d}x}$$

svo með jöfnu Einsteins

$$\frac{\mu_p}{D_p} = \frac{kT}{q}$$

fæst

$$\frac{-q}{kT}\frac{\mathrm{d}V(x)}{\mathrm{d}x} = \frac{1}{p(x)}\frac{\mathrm{d}p(x)}{\mathrm{d}x}$$

Samskeyti

- Tegrum

$$\frac{-q}{kT}\int_{V_p}^{V_n} \mathrm{d}V = \int_{p_n}^{p_p} \frac{1}{p}\mathrm{d}p$$

svo

$$\frac{-q}{kT}(V_n - V_p) = \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right)$$

og

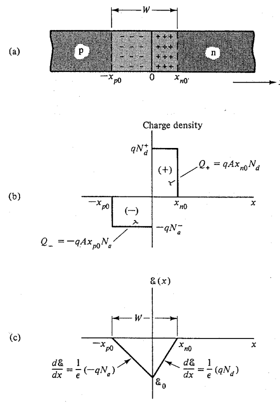
$$V_o = V_n - V_p = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right)$$

þá er

$$\frac{n_n}{n_p} = \frac{p_p}{p_n} = \exp\left(\frac{qV_o}{kT}\right)$$

þar sem $p_p n_p = n_i^2 = p_n n_n$

Samskeyti

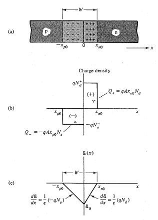


- Með góðri nálgun getum við sagt að rúmhleðslan í bilinu W umhverfis samskeytin stafi einungis af N_D^+ og N_A^- jónum
- Það er því svæði snautt hleðsluberum umhverfis skeytin, **bera-snauða-bilið**

Samskeyti

- Fyrir skeyti með þverskurðarflatarmál A má rita
$$qAx_{po}N_A = qAx_{no}N_D$$
þar sem x_{po} er stærð berasnauðabilsins í p-hálfleiðaranum og x_{no} er stærð berasnauðabilsins í n-hálfleiðaranum
- Til að finna rafsviðsdreifinguna yfir berasnauðabilið byrjum við með jöfnu Gauss
$$\frac{\mathrm{d}\mathcal{E}(x)}{\mathrm{d}x} = \frac{q}{\epsilon}(p - n + N_D^+ - N_A^-)$$
sem einfaldast þegar gert er ráð fyrir að engir hleðsluberar séu á svæðinu
$$\frac{\mathrm{d}\mathcal{E}(x)}{\mathrm{d}x} = \frac{q}{\epsilon}N_D \qquad \text{ef} \qquad 0 < x < x_{no}$$
$$\frac{\mathrm{d}\mathcal{E}(x)}{\mathrm{d}x} = -\frac{q}{\epsilon}N_A \qquad \text{ef} \qquad -x_{po} < x < 0$$
ef gert er ráð fyrir fullkominni jónun íbótarinnar

Samskeyti

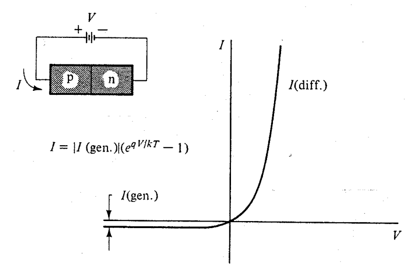


- Við sjáum að graf af $\mathcal{E}(x)$ sem fall af x hefur tvær hallatölur
- Jákvæða (vex með x) n megin við skeytin og neikvæða (fellur með x) p megin skeytanna
- Rafsviðið tekur lággildi við $x = 0$
- $\mathcal{E}(x)$ er neikvætt allsstaðar á bilinu
- Við vissum fyrir að $\mathcal{E}(x)$ var í $-x$-stefnu (frá n til p) vegna hleðslustraums
- Minnsta gildið á rafsviðinu er
$$\mathcal{E}_o = -\frac{q}{\epsilon}N_D x_{no} = -\frac{q}{\epsilon}N_A x_{po}$$

Samskeyti

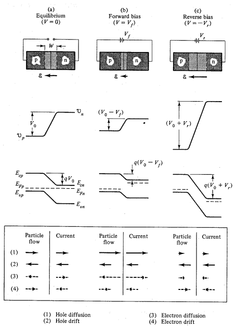
- Viljum nú tengja rafsvið og snertispennu V_o
- Vitum
$$\mathcal{E}(x) = -\frac{\mathrm{d}V(x)}{\mathrm{d}x}$$
eða
$$-V_o = \int_{x_{po}}^{x_{no}} \mathcal{E}(x)\mathrm{d}x$$
eða
$$V_o = -\frac{1}{2}\mathcal{E}_o(x)W = \frac{1}{2}\frac{q}{\epsilon}N_D x_{no} W$$
- Notum $x_{no}N_D = x_{po}N_A$ og að $W = x_{po} + x_{no}$ þ.a.
$$x_{no} = \frac{WN_A}{N_A + N_D}$$
eða
$$V_o = \frac{1}{2}\frac{q}{\epsilon}\frac{N_A N_D}{N_A + N_D}W^2$$
sem við leysum fyrir W
$$W = \left[\frac{2\epsilon V_o}{q}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)\right]^{1/2}$$

Samskeyti



- Straumur rennur auðveldlega frá p til n þegar á p er lögð jákvæð spenna með tilliti til n, **framspennt**
- nær engin straumur rennur þegar p er neikvætt með tilliti til n, **bakspennt**
- Àlögð spenna fellur að mestu yfir berasnauða bilið

Samskeyti



- Gerum ráð fyrir álagðri ytri spennu V, sem er jákvæð þegar jákvæð spenna er á p með tilliti til n
- Mættisþröskuldurinn við samskeytin er lækkaður með framspennu V_f svo hann verður $(V_o - V_f)$
- Við bakspennu V_r hækkar mættisþröskuldurinn við samskeytin svo hann verður $(V_o + V_r)$

Samskeyti

- Nú er

$$W = \left[\frac{2\epsilon(V_o - V)}{q}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)\right]^{1/2}$$

- Rýmd er rituð

$$C = \left|\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}V}\right|$$

þar sem hleðslan Q ræðst af breidd berasnauðabilsins.

$$|Q| = qAx_{no}N_D = qAx_{po}N_A$$

eða

$$|Q| = A\left[2q\epsilon(V_o - V)\frac{N_D N_A}{N_A + N_D}\right]^{1/2}$$

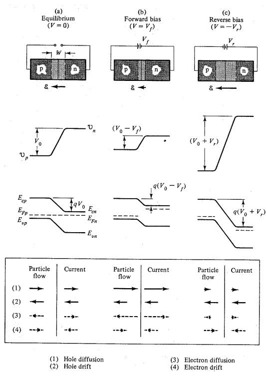
og rýmdin því

$$C = \frac{A}{2}\left[\frac{2q\epsilon}{(V_o - V)}\frac{N_D N_A}{N_A + N_D}\right]^{1/2}$$

eða

$$C \propto (V_o - V)^{-1/2}$$

Samskeyti



- Rafsviðið yfir skeytin lækkar við framspennu þar sem álagt svið er gagnstætt innra rafsviði
- Rafsviðið yfir skeytin hækkar við bakspennu þar sem álagt svið er samsíða innra rafsviði
- Breyting á rafsviði á samskeytum kallar á breytingu á vídd berasnauðabilsins

Heimildir

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

[2] B. G. Streetman, *Solid State Electronics*, Prentice-Hall, 1980

[3] G. W. Neuseck, *The PN junction diode, Modular series on solid state devices, volume II*, Addison-Wesley, 1983