

**Framleiðsla smárása:**

# **Tvistar**

## **Kafli 8**

**Jón Tómas Guðmundsson**

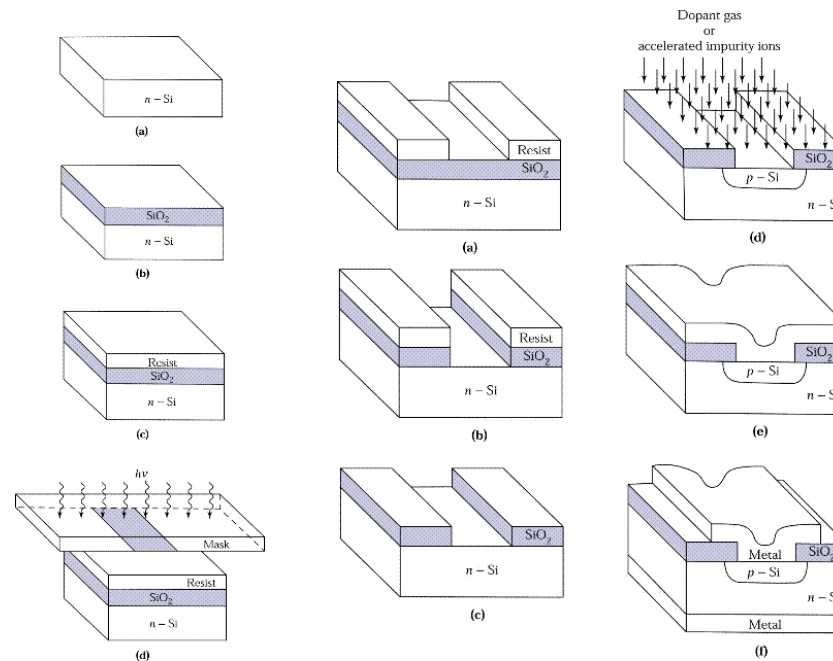
**tumi@hi.is**

**5. vika haust 2014**

## Samskeyti

- Flest hálfleiðaratól hafa í það minnsta ein samskeyti milli n- og p-leiðandi hálfleiðara
- Eiginleikar þessara p-n-skeyta eru nýttir í afriðun, mögnun, sem rofar og í aðrar aðgerðir í rafrásum

# Framleiðsla p-n-skeyta



- (a) Byrjað er með kísil af n-gerð, (b) Oxun, (c) Ljósviðnámslag lagt yfir (d) Lýst um grímu
- (a) Eftir framköllun, (b) Eftir að oxíð er fjarlægt, (c) Ljósviðnámslag fjarlægt, (d) p-n skeyti mynduð með sveimi eða jónaígræðslu, (e) Málmi húðað yfir

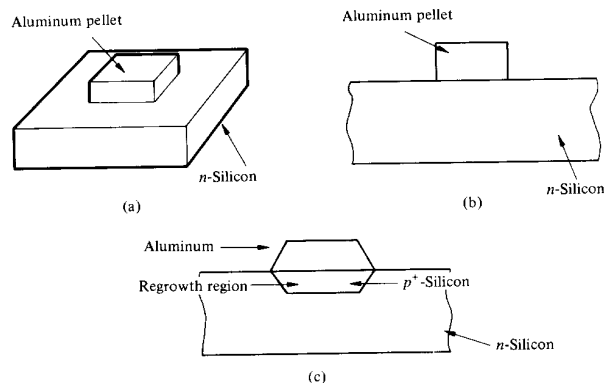
## Framleiðsla p-n-skeyta

- Við sækjumst eftir breytingu frá n-hálfleiðara í p-hálfleiðara innan einkristalls
- Til þessa má
  - breyta um íbótarefni á meðan á ræktun kristallsins stendur
  - innleiða íbót af annarri gerð en upphaflega var íbætt með inn á tiltekin svæði í kristallinum

## Framleiðsla p-n-skeyta – Lagvöxtur

- Á upphafsdögum hálfleiðarataækninnar var mikið notuð sú aðferð að rækta samskeytin. Þá var skipt skyndilega um íbótarefni í bráðinni þegar kristallinn var ræktaður
- Þessi aðferð er skyld því að rækta með lagvexti lag af einni leiðnigerð ofan á undirlag af annarri leiðnigerð. Þannig fást skörp skeyti
- Lagvöxt má fá fram með því að hita undirlag t.d. n-leiðandi kísil og láta gas sem inniheldur t.d.  $\text{SiCl}_4$  flæða yfir
- Við hitastig sem eru hærri en  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  leggst kísillag ofan á upphaflega kristallinn með sömu kristalbyggingu
- Íbótarefnum er blandað við burðargasið

## Framleiðsla p-n-skeyta – Málmhúðun-melmi

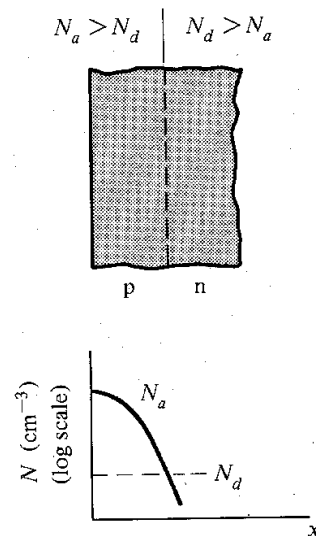


- Skörpustu p-n-skeytin fást með því að leggja íbótarefni á yfirborð hálfleiðarans íbótarefni (sem oft er málmur).
- Það er hitað þar til íbótin víxlverkar við hálfleiðarann
- Dæmi er n-leiðandi kísill sem íbættur er með áli á þennan hátt
- Al er rafþegi í kísli

## Framleiðsla p-n-skeyta – Málmhúðun-melmi

- Þegar hitað er upp í 580 °C mýkist álið upp og étur sig inn undir yfirborð kísilskífunnar og myndar lausn af Al og Si
- Þegar hitastigið er lækkað rólega, endurgrær kristallurinn. Þó nokkuð af Al atómum verður eftir. Þéttleiki Al er meiri en upphaflegur þéttleiki rafgjafaíbótarinnar
- Endurræktaða svæðið er því hálbætt p-svæði eða p<sup>+</sup>-svæði
- Mesti fjöldi Al atóma sem er mögulegur í kísli undir eðlilegum kringumstæðum er nefndur **leysnimörk storku** (e. solid solubility limit) og er  $3 \times 10^{18} /\text{cm}^3$  Al atóm í kísli við 580 °C
- Við þetta myndast skörp p<sup>+</sup>-skeyti
- Það sem eftir er af álinu situr á yfirborðinu og gefur góð tengi við p<sup>+</sup>-lagið

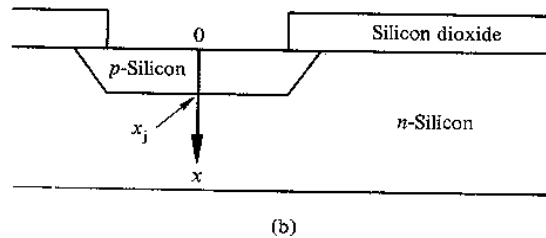
## Framleiðsla p-n-skeyta – Sveim



- Samskeyti þar sem breytingin frá n- í p-leiðni nær yfir mörg atómlög eru kölluð **aflíðandi samskeyti** (e. graded junction)
- Sveim úr gasfasa inn í hýsikristallinn er mikilvægasta aðferðin til að framkalla aflíðandi p-n-skeyti



## Framleiðsla p-n-skeyta – Sveim



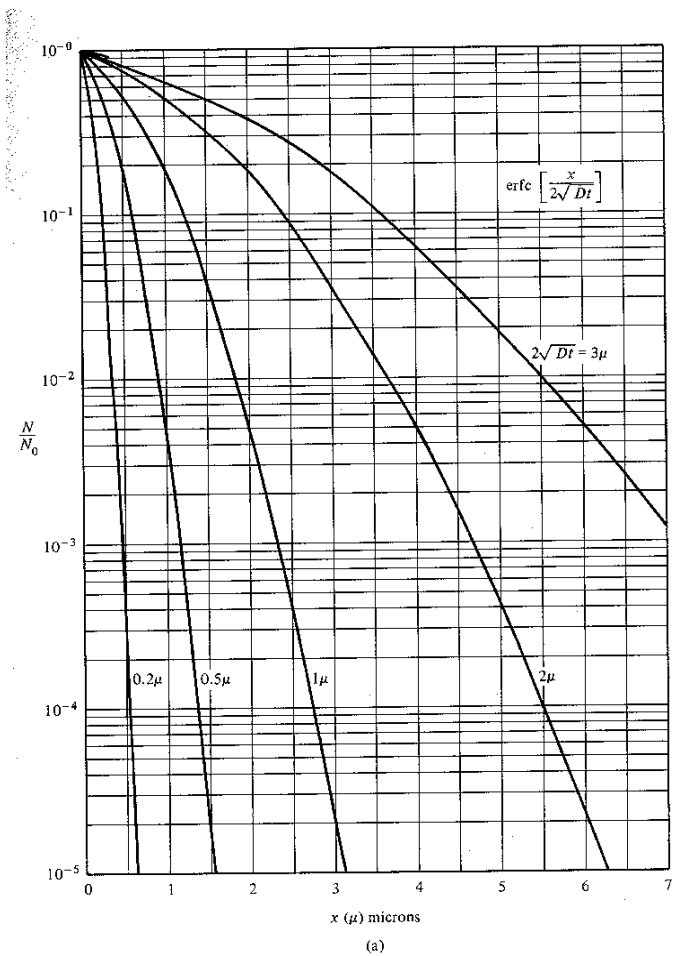
- Íbótarþéttleikinn er mestur næst yfirborði og fellur inn í kristallinn samkvæmt

$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

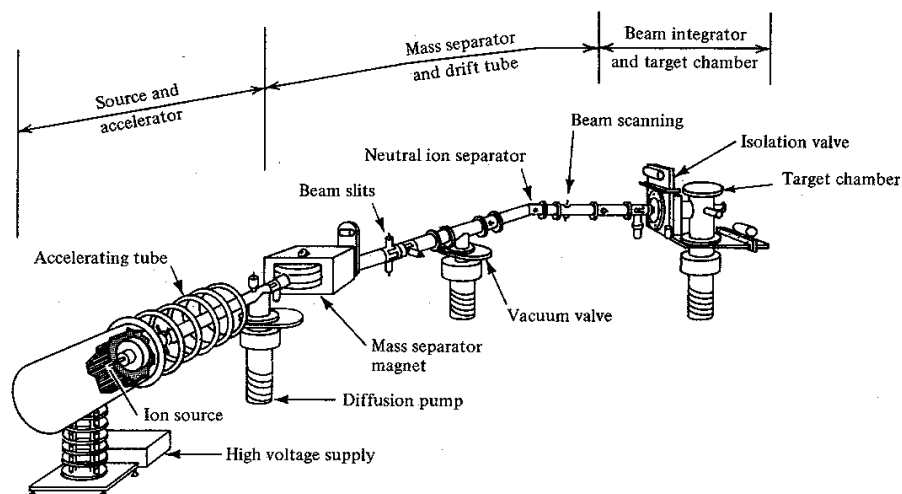
þar sem

- $D$  er sveimstuðull og ræðst af hitastigi
- $t$  er sveimtími
- $N_0$  er yfirborðspéttleiki íbótar

# Framleiðsla p-n-skeyta – Sveim

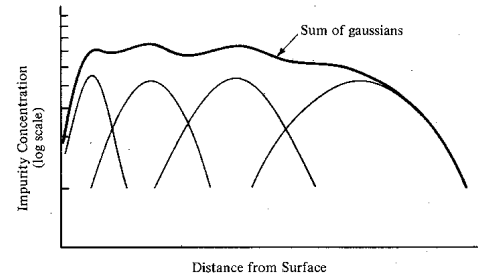
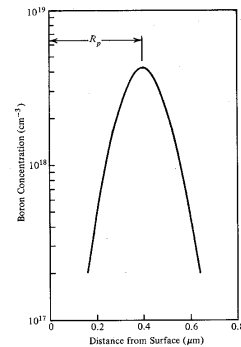


## Framleiðsla p-n-skeyta – Jónaígræðsla



- Með **jónaígræðslu** (e. ion implantation) má græða íbótaratóm inn í kristallsgrindina með jónahríð
- Íbótaratóm er jónuð og þeim hraðað með háu rafsviði upp í orku á bilinu 1 – 300 keV og skotið inn í kristallsgrindina

# Framleiðsla p-n-skeyta – Jónaígræðsla

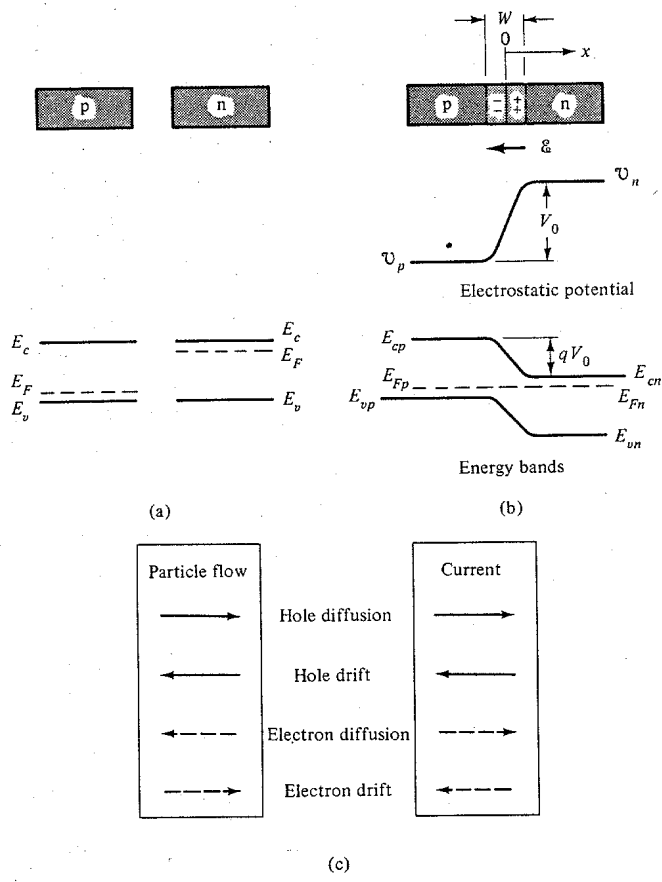


- Hröðunarorkan ákvarðar hve langt íbótin nær inn í kristallinn og margfeldi straums og tíma ákvarðar fjölda íbótaratóma
- Yfirborð kristallsins skemmist, en með hitameðferð má laga hann aftur
- Kostir við jónaígræðslu
  - nákvæm stjórn á magni og staðsetningu íbótar
  - lágt íbótarhitastig

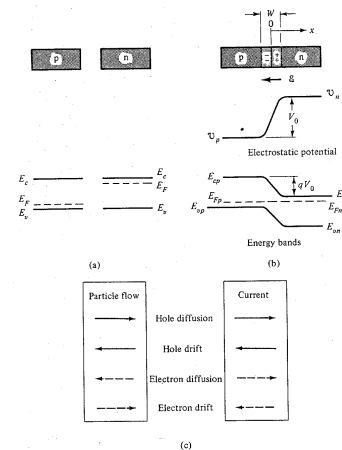
## Samskeyti

- 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
- Þegar p og n hálfleiðararnir koma saman sveima holur frá p-hálfleiðara til n-hálfleiðara

# Samskeyti

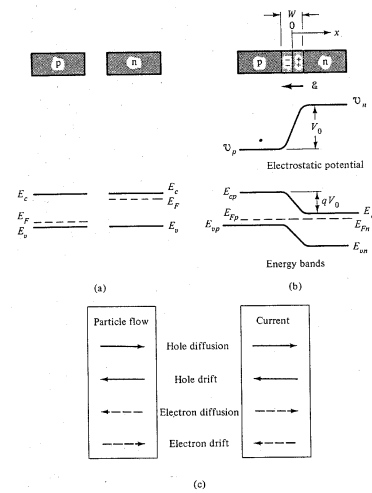


# Samskeyti



- 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 spennunur  $V_0$  yfir  $W$
- $V_0$  er kallað **snertimætti**
- Rek og sveim stýttist út í jafnvægi

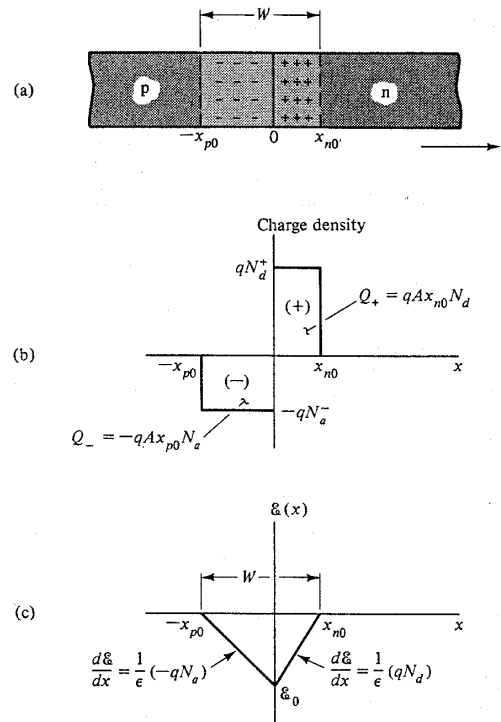
$$J(x) = q \left[ \mu_p p(x) \mathcal{E}(x) - D_p \frac{dp(x)}{dx} \right] = 0$$

eða

$$\frac{\mu_p}{D_p} \mathcal{E}(x) = \frac{1}{p(x)} \frac{dp(x)}{dx}$$

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

# Samskeyti



- Nú er rafsviðið tengt mættinu með

$$\mathcal{E}(x) = -\frac{dV(x)}{dx}$$

## Samskeyti

- Með jöfnu Einsteins

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

fæst

$$\frac{-q}{kT} \frac{dV(x)}{dx} = \frac{1}{p(x)} \frac{dp(x)}{dx}$$

- Tegrum

$$\frac{-q}{kT} \int_{V_p}^{V_n} dV = \int_{p_n}^{p_p} \frac{1}{p} dp$$

SVO

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

## Samskeyti

- Umritun gefur

$$V_0 = V_n - V_p = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{p_p}{p_n} \right)$$

þá er

$$\frac{n_n}{n_p} = \frac{p_p}{p_n} = \exp \left( \frac{qV_0}{kT} \right)$$

þar sem  $p_p n_p = n_i^2 = p_n n_n$

⇒ Dæmi 8.1.

## Samskeyti

- Í jafnvægi verður Fermiorkan að vera fasti yfir samskeytin í tólinu
- Þar sem  $p_n$  og  $p_p$  eru í varmajafnvægi utan við berasnauðabilið þá má rita

$$\frac{p_p}{p_n} = \exp \left[ \frac{qV_0}{kT} \right] = \frac{N_v \exp \left[ - \left( \frac{E_{Fp} - E_{vp}}{kT} \right) \right]}{N_v \exp \left[ - \left( \frac{E_{Fn} - E_{vn}}{kT} \right) \right]}$$

eða

$$\exp \left[ \frac{qV_0}{kT} \right] = \exp \left[ \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{kT} \right] \exp \left[ \frac{E_{vp} - E_{vn}}{kT} \right]$$

og þar með

$$qV_0 = E_{vp} - E_{vn}$$

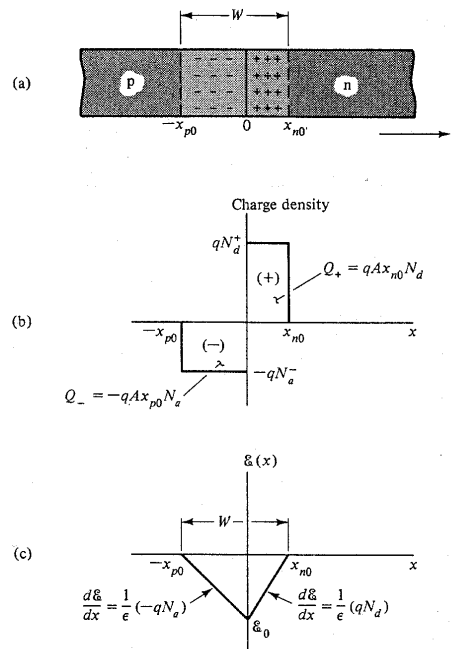
- Hér táknar  $v_p$  gildisborða p-megin samskeyta

## Samskeyti

- Orkuborðar sitt hvoru megin skeytanna eru aðskyldir með snertimættinu  $V_0$
- Þegar spenna er lögð á skeytin hækkar þröskuldsmættið eða lækkar miðað við snertimættið
- Við þetta breytist afstaða Fermiorkustiganna sitt hvoru megin skeytanna sem nemur orku sem jöfn er í eV þeirri spennu sem lögð er á skeytin í voltum

⇒ Dæmi 8.2.

# Samskeyti



- Með góðri nálgun getum við sagt að rúmhleðslan í bilinu  $W$  umhverfis samskeytin stafi einungis af  $N_D^+$  og  $N_A^-$  jónum
- Svæðið umhverfis skeytin er snautt hleðsluberum, **bera-snautt-bil**

## Samskeyti

- Á umbreytingarsvæðinu sveima rafeindir frá n til p en aðrar reka vegna rafsviðsins frá p til n (og sambærilegt má segja um holur)
- Tvípóllinn sem myndast um skeytin vegna rúmhleðslunnar verður að hafa sömu hleðslu beggja vegna skeytanna  $Q_+ = |Q_-|$
- Þannig getur vegalengdin sem berasnauða-bilið nær inn n- og p-efnið sitt hvoru megin skeytanna verið mislöng
- Fyrir skeyti með þverskurðarflatarmál  $A$  má rita

$$qAx_{p0}N_A = qAx_{n0}N_D$$

þar sem  $x_{p0}$  er stærð berasnauða-bilsins í p-hálfleiðaranum og  $x_{n0}$  er stærð berasnauðabilsins í n-hálfleiðaranum



## Samskeyti

- Til að finna rafsviðsdreifinguna yfir berasnauðabilið byrjum við með jöfnu Poisson

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = \frac{q}{\epsilon}(p - n + N_D^+ - N_A^-)$$

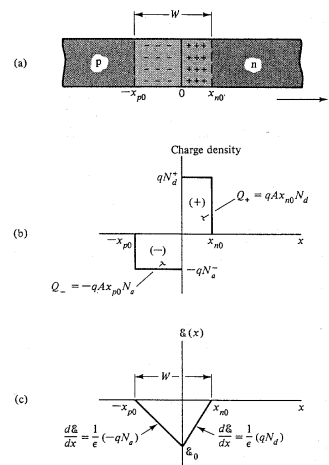
sem tengir stigul í rafsviði við rúmhleðsluna við  $x$

- Jafnan einfaldast þegar gert er ráð fyrir að engir hleðsluberar séu á svæðinu og gert er ráð fyrir fullkominni jónun íbótarinnar  $N_D^+ = N_D$  og  $N_A^- = N_A$

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = \frac{q}{\epsilon}N_D \quad \text{ef} \quad 0 < x < x_{n0}$$

$$\frac{d\mathcal{E}(x)}{dx} = -\frac{q}{\epsilon}N_A \quad \text{ef} \quad -x_{p0} < x < 0$$

# 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

## Samskeyti

- Við vissum fyrir að  $\mathcal{E}(x)$  var í  $-x$ -stefnu (frá n til p) vegna hleðslustraums
- Minnsta gildið á rafsviðinu er

$$\mathcal{E}_0 = -\frac{q}{\epsilon}N_Dx_{n0} = -\frac{q}{\epsilon}N_Ax_{p0}$$

- Viljum nú tengja rafsvið og snertispennu  $V_0$
- Vitum

$$\mathcal{E}(x) = -\frac{dV(x)}{dx}$$

eða

$$-V_0 = \int_{x_{p0}}^{x_{n0}} \mathcal{E}(x)dx$$

## Samskeyti

- Sem gefur

$$V_0 = -\frac{1}{2}\mathcal{E}_0(x)W = \frac{1}{2}\frac{q}{\epsilon}N_D x_{n0}W$$

- Notum  $x_{n0}N_D = x_{p0}N_A$  og að  $W = x_{p0} + x_{n0}$  þ.a.

$$x_{n0} = \frac{WN_A}{N_A + N_D}$$

eða

$$V_0 = \frac{1}{2}\frac{q}{\epsilon}\frac{N_A N_D}{N_A + N_D}W^2$$

sem við leysum fyrir  $W$

$$W = \left[ \frac{2\epsilon V_0}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \right]^{1/2}$$

## Samskeyti

- Þá er

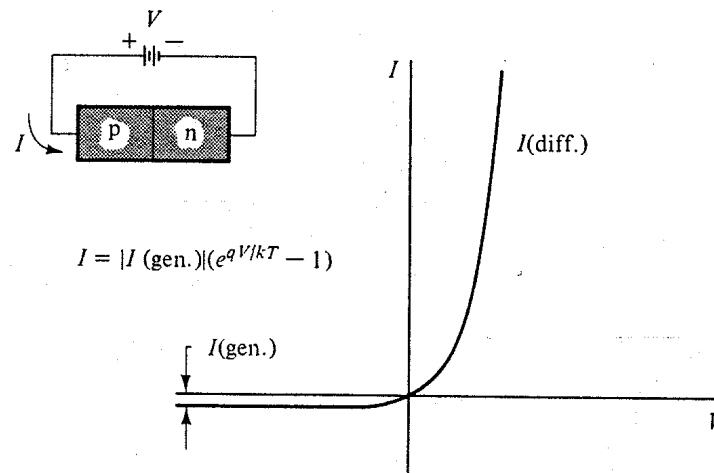
$$x_{p0} = \frac{W N_D}{N_A + N_D} = \frac{W}{1 + N_A/N_D}$$

$$x_{n0} = \frac{W N_A}{N_A + N_D} = \frac{W}{1 + N_D/N_A}$$

- Berasnauðabilið nær lengra inn í létt íbætta efnið
- Ef  $N_A \ll N_D$  þá er  $x_{p0}$  stærra en  $x_{n0}$
- Breidd berasnauða bilsins er í réttu hlutfalli við kvaðratrótina af spennunni yfir skeytin

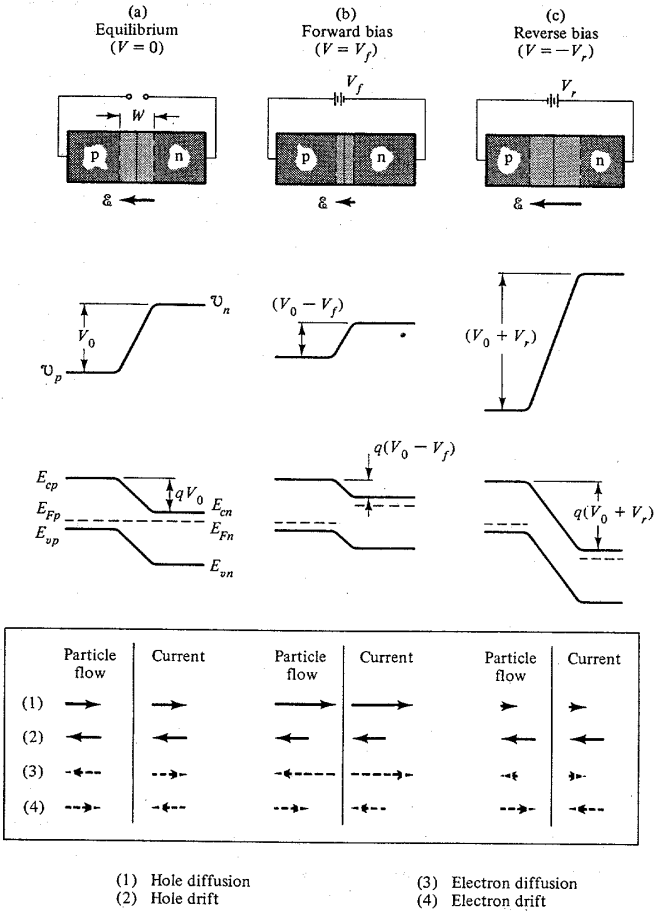
⇒ Dæmi 8.3.

# Samskeyti

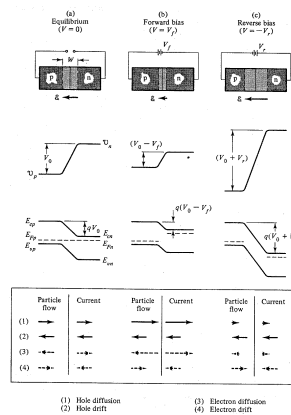


- Straumur rennur auðveldlega frá p til n þegar á p er lögð jákvæð spenna með tilliti til n, **framspennt**
- nær engin straumur rennur þegar p er neikvætt með tilliti til n, **bakspennt**
- Álögð spenna fellur að mestu yfir berasnauða bilið

# Samskeyti



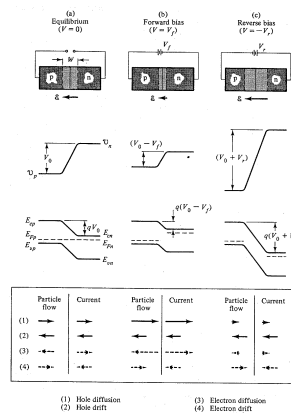
# Samskeyti



- 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  $(V_0 - V_f)$
- Við bakspennu  $V_r$  hækkar mættisþröskuldurinn við samskeytin svo hann verður  $(V_0 + V_r)$



# 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

## Samskeyti

- Sveimstraumur samanstendur af ríkjandi hleðsluberum, n-megin rafeindum, sem yfirvinna mættisþröskuldinn og sveima yfir í p-efnið
- Á sama hátt sveima holur frá p-efni til n-efnis
- Við framspennt skeyti er þessi þröskuldur lækkaður í  $(V_0 - V_f)$  og fleiri rafeindir n-megin skeytanna hafa næga orku til að sveima yfir þröskuldinn
- Við bakspennu hækkar þröskuldurinn og verður það hár  $(V_0 + V_r)$  að nær engar rafeindir n-megin eða hvar p-megin hafa næga orku til að komast yfir
- Þess vegna eru óverulegir sveimstraumar um bakspennt skeyti

## Samskeyti

- Rekstraumur er tiltölulega óháður hæð þröskuldsins og rek rafeinda og hola þess vegna nær óháð álagðri spennu
- Fjöldi víkjandi bera takmarkar rekstrauminn sem ræðst því af framköllun víkjandi bera nálægt skeytunum til að fæða strauminn
- Heildarstraumurinn sem fer um skeytin er summa sveim- og rekstraums
- Við bakspennu eru sveimstraumar óverulegir og aðeins örlítill straumur fer um skeytin vegna myndunar rafeinda-holupara í eða við berasnauðabilið

## Samskeyti

- Framspenna  $V = V_f$  eykur líkur á að hleðsluberi geti sveimað um skeytin og því verður straumur um skeytin jafnvægisgildið margfaldað með  $\exp(qV_f/kT)$
- Við óspennt skeyti er sveimstraumurinn jafnstór myndunarstraumnum að tölugildi  $|I(\text{sveim})| = |I(\text{myndun})|$
- Við framspennt skeyti verður sveimstraumurinn  $|I(\text{myndun})| \exp(qV_f/kT)$
- Heildarstraumurinn er þá sveimstraumurinn að frádregnu tölugildi myndunarstraumsins  $|I(\text{myndun})|$  sem við köllum  $I_0$  og þar með

$$I = I_0(\exp(qV_f/kT) - 1)$$

sem nefnd er **tvístjafnan**

## Skeytarýmd

- Það eru tvær gerðir rýmdar á samskeytum n- og p-hálfleiðara
  - **Skeytarýmd** vegna tvíþólsins á rúmhleðslusvæðinu
  - Rýmd sem stafar af því að spennan fylgir ekki eftir þegar straumur breytist um skeytin, geymd hleðsla
- Báða þessa rýmdarþætti þarf að taka til greina við hönnun p-n-skeyta
- Auðvelt er að sjá fyrir sér skeytarýmd vegna hleðsludreifingar á rúmhleðslusvæðinu

## Skeytarýmd

- Breidd berasnauðabilsins er

$$W = \left[ \frac{2\epsilon(V_0 - V)}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \right]^{1/2}$$

- Rýmd er rituð

$$C = \left| \frac{dQ}{dV} \right|$$

þar sem hleðslan  $Q$  ræðst af breidd berasnauðabilsins.

$$|Q| = qAx_{n0}N_D = qAx_{p0}N_A$$

eða

$$|Q| = A \left[ 2q\epsilon(V_0 - V) \frac{N_D N_A}{N_A + N_D} \right]^{1/2}$$

## Skeytarýmd

- Rýmdin er því spennuháð

$$C = \frac{A}{2} \left[ \frac{2q\epsilon}{(V_0 - V)} \frac{N_D N_A}{N_A + N_D} \right]^{1/2}$$

eða

$$C \propto (V_0 - V)^{-1/2}$$

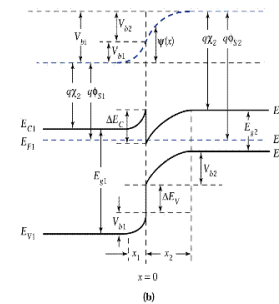
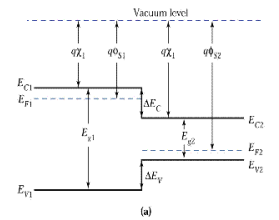
- Við sjáum einnig að ef  $N_A \gg N_D$  og  $x_{n0} \approx W$  þegar  $x_{p0}$  er óvera þá er

$$C = \frac{A}{2} \left[ \frac{2q\epsilon}{(V_0 - V)} N_D \right]^{1/2}$$

- Það má því finna íbótarþéttleikann í n-efninu, sem er minna íbætt, með því að mæla rýmd

⇒ Dæmi 8.4.

# Fjölsamskeyti



*Semiconductor Devices, 2/E by S. M. Sze*  
Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

- Fjölsamskeyti (e. heterojunction) eru samskeyti á milli tveggja ólíkra hálfleiðara
- Mynd (a) sýnir orkuborða tveggja einangraðara hálfleiðara áður en fjölsamskeyti eru mynduð



## Fjölsamskeyti

- Gert er ráð fyrir hálfleiðararnir hafi ólíka orkugeil  $E_g$ , rafsvörnarstuðul  $\epsilon_s$ , vinnuföll  $q\phi_s$  og rafeindasækni  $q\chi_s$
- Vinnufallið er skilgreint sem orkan sem þarf til að fjarlægja rafeind frá Fermiorkustiginu og út fyrir efnið (e. vacuum level)
- Rafeindasækni er orkan sem þarf til að fjarlægja rafeind á lægstu stöðu í leiðniborða og út fyrir efnið (e. vacuum level)
- $E_{\text{vac}}$  er mættisviðmið þar sem rafeindin sér enga krafta
- Fermiorkan verður að standast á yfir skeytin í varmajafnvægi og vacuum level verður að vera samfelld og samsíða borðabrún

## Fjölsamskeyti

- Við verðum þess vegna að innleiða staðbundið mættisviðmið  $E_{\text{vac}}(\text{loc})$  sem liggur samsíða leiðniborða þ.a. rafeindasækni sé fasti
- Við væntum ósamfelli í leiðniborða  $\Delta E_C$  og gildisborða  $\Delta E_V$  hálfleiðaranna tveggja
- Mismunur í orku neðsta hluta leiðniborða er ritaður (Sækniregla Anderson)

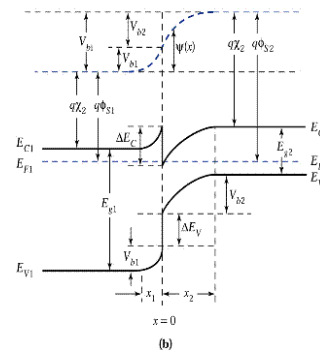
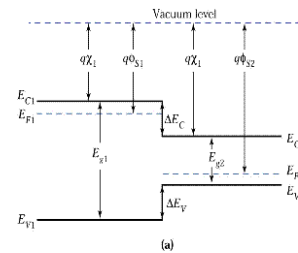
$$\Delta E_C = q(\chi_2 - \chi_1)$$

og fyrir gildisborða

$$\Delta E_V = E_{g1} + q\chi_1 - (E_{g2} + q\chi_2) = \Delta E_g - \Delta E_C$$

þar sem  $\Delta E_g$  er mismunur í stærð orkugeilar  $\Delta E_g = E_{g1} - E_{g2}$

# Fjölsamskeyti



*Semiconductor Devices, 2/E* by S. M. Sze  
 Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

- Mynd (b) sýnir orkuborðana eftir að skörp skeyti hafa verið mynduð

## Fjölsamskeyti

- Snertispennan er

$$V_{bi} = V_{b1} + V_{b2}$$

þar sem  $V_{b1}$  og  $V_{b2}$  eru rafstöðumætti hálfleiðara 1 og 2 í jafnvægi

- Til að finna hvernig snertispennunni er skipt upp á milli hálfleiðaranna þarf að leysa jöfnu Poisson
- Eitt randskilyrða er samfelldni raffærslu þ.e.  $\epsilon_1 \mathcal{E}_1 = \epsilon_2 \mathcal{E}_2$  þar sem  $\mathcal{E}_1$  og  $\mathcal{E}_2$  eru rafsvið við samskeytin ( $x = 0$ )
- $V_{b1}$  og  $V_{b2}$  eru gefin með

$$V_{b1} = \frac{\epsilon_2 N_2 (V_{bi} - V)}{\epsilon_1 N_1 + \epsilon_2 N_2}$$

$$V_{b2} = \frac{\epsilon_1 N_1 (V_{bi} - V)}{\epsilon_1 N_1 + \epsilon_2 N_2}$$

## Fjölsamskeyti

- Hér eru  $N_1$  og  $N_2$  eru íbótarþéttleikar hálfleiðara 1 og 2
- Berasnaðu breiddirnar  $x_1$  og  $x_2$  eru gefnar með

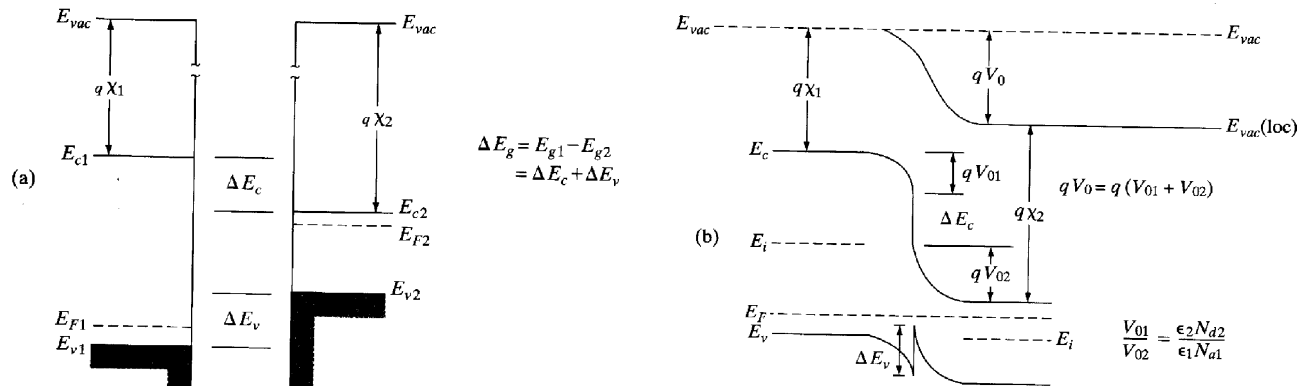
$$x_1 = \sqrt{\frac{2\epsilon_1\epsilon_2N_2(V_{bi} - V)}{qN_1(\epsilon_1N_1 + \epsilon_2N_2)}}$$

$$x_2 = \sqrt{\frac{2\epsilon_1\epsilon_2N_1(V_{bi} - V)}{qN_2(\epsilon_1N_1 + \epsilon_2N_2)}}$$

## Fjölsamskeyti

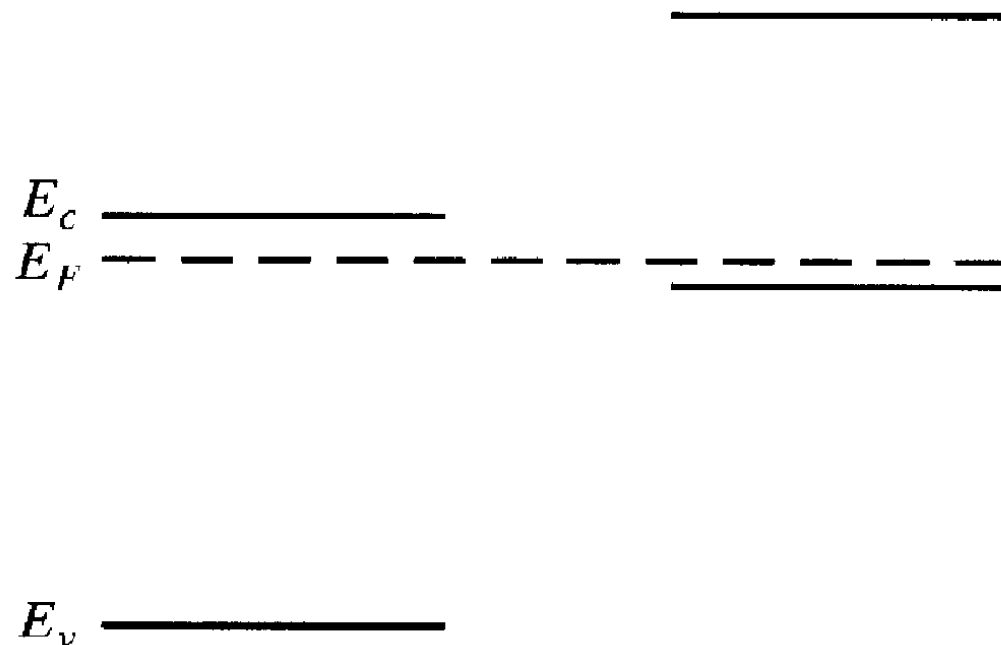
- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  með  $x$  á milli 0 og 1 er mikilvægasti hálfleiðarinn til myndunar á fjölsamskeytum
- Þegar  $x = 0$  höfum við GaAs með orkugeil 1.42 eV og grindarfasta 5.6533 Å við 300 K
- Orkugeil  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  eykst með  $x$  en grindarfastinn er nær óbreyttur
- Þegar  $x = 1$  höfum við AlAs með orkugeil 2.17 eV og grindarfasta 5.6605 Å við 300 K
- Þegar  $x = 0$  er breytt í  $x = 1$  breytist grindarfastinn aðeins um 0.1 %

# Fjölsamskeyti



- Til að draga upp borðamynd af fjölsamskeytum verður að leysa jöfnu Poisson yfir skeytin og taka tillit til íbótar og rúmhleðslu
- Jöfnuna þarf þess vegna að leysa tölulega
- Rissa má graf á nákvæmra reikninga gefið að við þekkjum  $\Delta E_v$  og  $\Delta E_c$

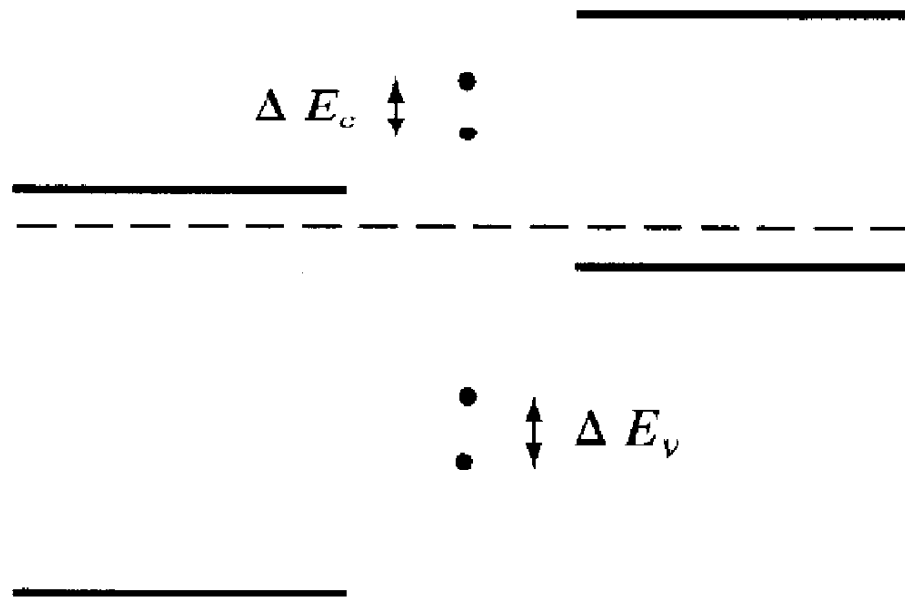
# Fjölsamskeyti



1. Látta skal Fermiorkustig beggja hálfleiðaranna standast á.  
Skilja á eftir pláss fyrir umskiptasvæðið



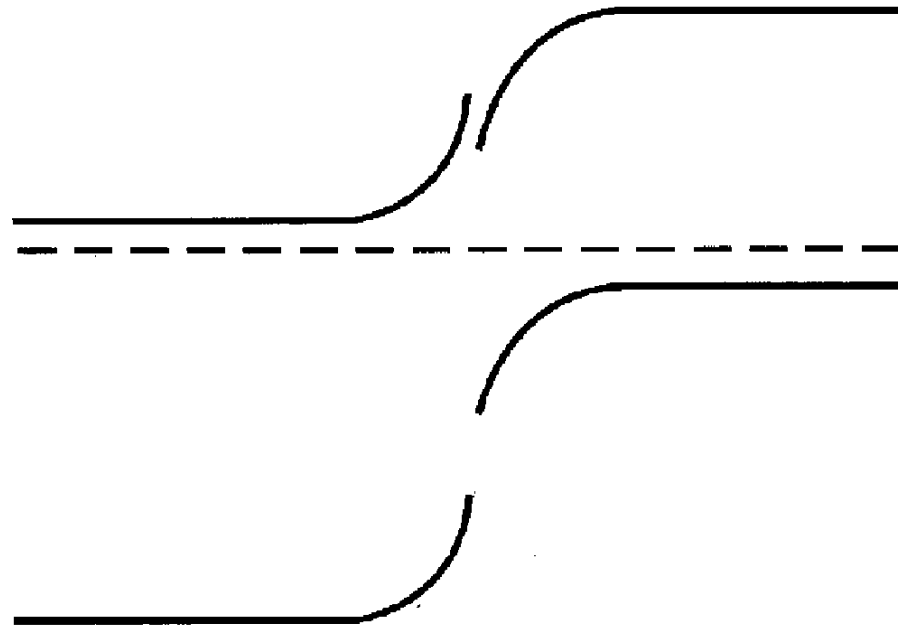
# Fjölsamskeyti



2. Skeytin ( $x = 0$ ) eru staðsett nær meira íbættu hliðinni.

Við  $x = 0$  setjum við  $\Delta E_v$  og  $\Delta E_c$  sem eru aðskilin með viðeigandi orkugeil

## Fjölsamskeyti

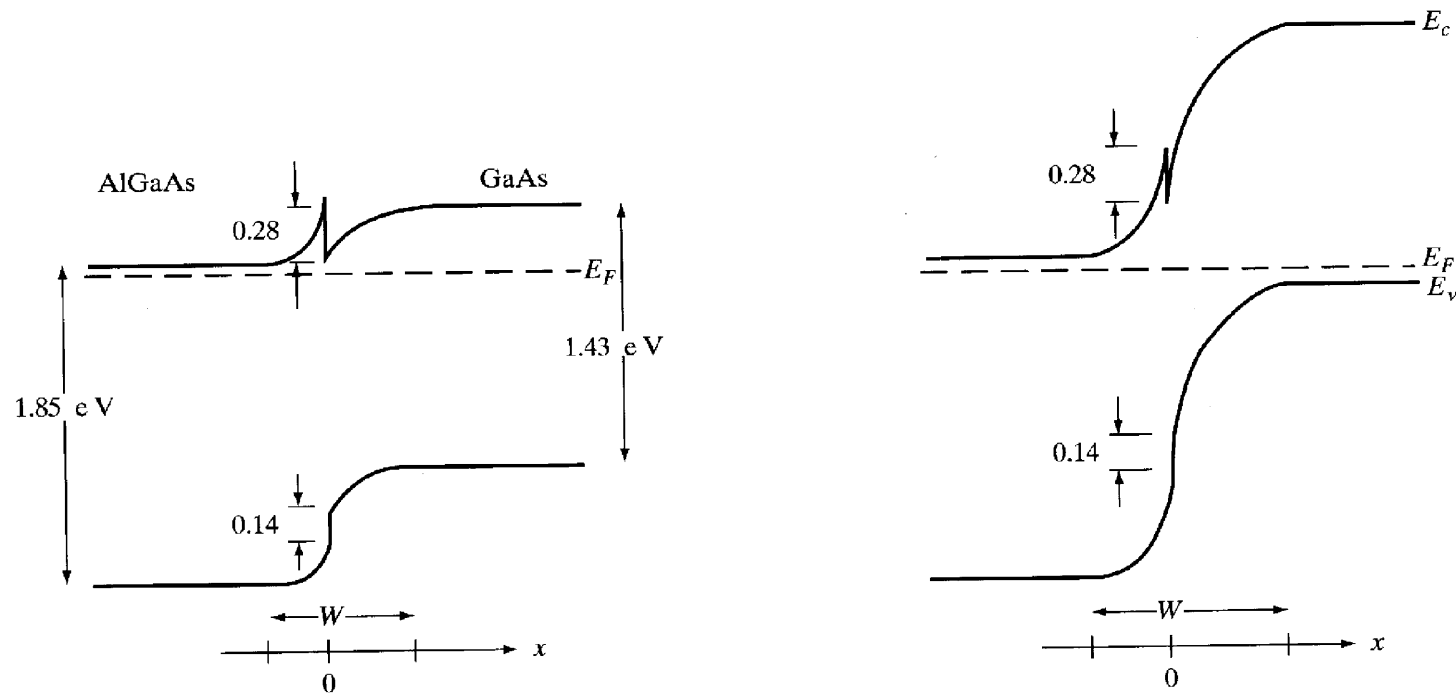


3. Tengja leiðniborða og gildisborða þ.a. orkugeilin sé föst í hvorum hálfleiðara

## Fjölsamskeyti

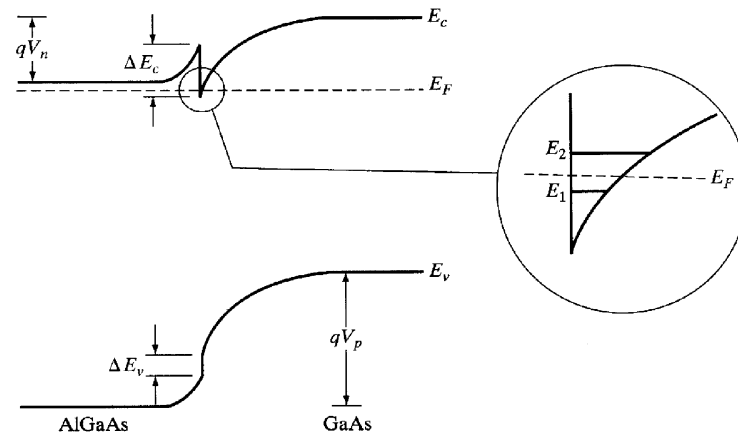
- Fyrir fjölsamskeyti í  $\text{GaAs-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , er munur í beinni orkugeil ( $\Gamma$ )  $E_g^\Gamma$  fengin með um  $\frac{2}{3}$  í leiðniborða og  $\frac{1}{3}$  í gildisborða
- Fyrir  $x = 0.3$  er  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  með beina orkugeil  $E_g^\Gamma = 1.85 \text{ eV}$
- Rissa skal borðamynd fyrir fjölsamskeyti með  $N^+ - \text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  á  $n$ -leiðandi GaAs og  $N^+ - \text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  á  $p^+$ -leiðandi GaAs
- Þegar um fjölsamskeyti er að ræða eru notaðir stórir stafir  $P$  og  $N$  fyrir efnið með víðari orkugeil
- Setjum  $\Delta E_g = 1.85 - 1.43 = 0.42 \text{ eV}$  og munur í broðum er  $\Delta E_C = 0.28 \text{ eV}$  og  $\Delta E_V = 0.14 \text{ eV}$ .
- Þá er dregið upp Fermiorkustigið og borðar fjarri skeytunum og síðan er borðamuninum bætt við

# Fjölsamskeyti



- (a)  $N^+$ -Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As á  $n$ -leiðandi GaAs
- (b)  $N^+$ -Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As á  $p^+$ -leiðandi GaAs

# Fjölsamskeyti



- Mikilvægt tilfelli er þegar mikið íbætt  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  af  $n$ -gerð er ræktað á létt íbætt GaAs
- Ósamfella í leiðniborða leyfir rafeindum frá  $N^+ - \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  að leka inni í GaAs þar sem þær eru hremmdar í mættisbrunni
- Rafeindir safnast því í GaAs hliðinni og flytja Fermiorkustigið upp í leiðniborða GaAs nægt samskeytunum

## Fjölsamskeyti

- Í slíku tóli er leiðnin samsíða samskeytunum og rafeindir í slíkum mættisbrunni mynda 2-vítt rafeindagas með ýmsa áhugaverða eiginleika
- Rafeindirnar hafa afar mikinn hreyfanleika, nær engin dreifing er vegna veilna og hreyfanleikinn ræðst bara af dreifingu vegna grindartitrings (hljóðeinda)

# Heimildir

- [1] S. M. Sze, *Semiconductor Devices: Physics and Technology*, 2ed., John Wiley & Sons, 2002, kafli 4
- [2] Ben G. Streetman og Sanjay Banerjee, *Solid State Electronic Devices*, 5th ed., Prentice Hall, 2000, kafli 5
- [3] G. W. Neuseck, *The PN junction diode, Modular series on solid state devices, volume II*, Addison-Wesley, 1983