

Smárásir: Tvistar

Kaffi 8

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

5. vika vor 2010

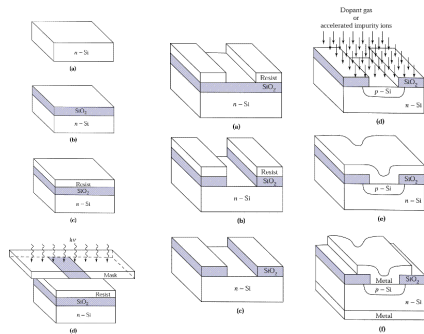
1

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

2

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 jónaigræðslu, (e) Málmi húðað yfir

3

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

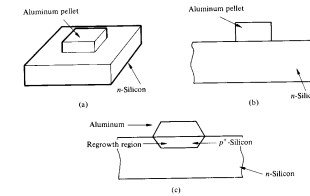
4

Framleiðsla p-n-skeyta – Lagvöxtur

- Á upphafsdögum hálfleiðaratækninnar 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. 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

5

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

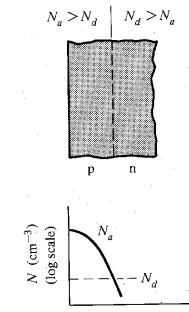
6

Framleiðsla p-n-skeyta – Málmhúðun-melmi

- Þegar hitað er upp í $580\text{ }^\circ\text{C}$ 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 háibætt p-svæði eða p^+ -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 $580\text{ }^\circ\text{C}$
- Við þetta myndast skörp p^+ -skeyti
- Það sem eftir er af álinu situr á yfirborðinu og gefur góð tengi við p^+ -lagið

7

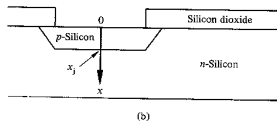
Framleiðsla p-n-skeyta – Sveim



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

8

Framleiðsla p-n-skeyta – Sveim



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

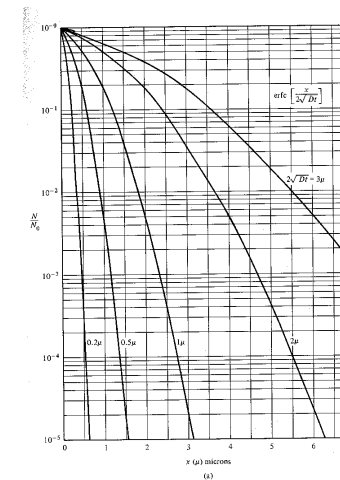
$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

þar sem

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

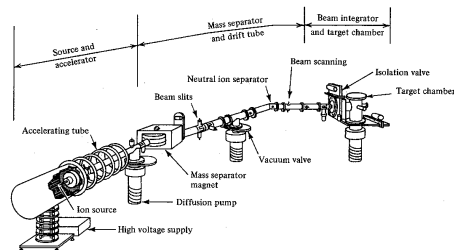
9

Framleiðsla p-n-skeyta – Sveim



10

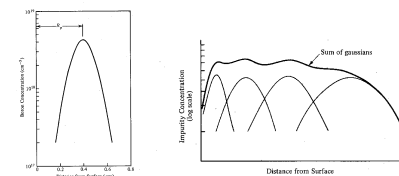
Framleiðsla p-n-skeyta – Jónaígræðsla



- 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

11

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

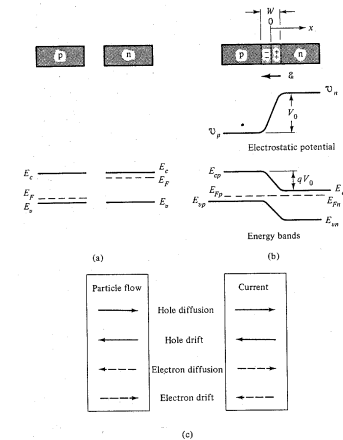
12

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

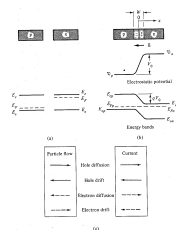
13

Samskeyti



14

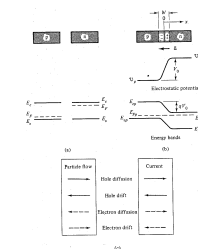
Samskeyti



- 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

15

Samskeyti



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

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

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

16

Samskeyti

- Rafsviðið byggist upp þangað til heildarstraumurinn er núll í jafnvægi
- Rafsviðið myndast á svæði af breidd W umhverfis skeytin og það myndast spennunumur V_0 yfir W
- V_0 er kallað **snertimætti**
- Rek og sveim styttest út í jafnvægi

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

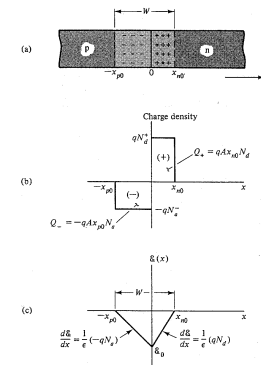
eða

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

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

17

Samskeyti



- Nú er rafsviðið tengt mættinu með

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

18

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

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

svo

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

19

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.

20

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

21

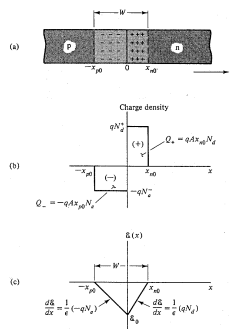
Samskeyti

- Orkuborðar sitt hvoru megin skeytanna eru aðskyldir með snertimættinu V_0
- Þegar spenna er lögð á skeytin hækkar þröskuldsættið 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.

22

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**

23

Samskeyti

- Á umbreytingarsvæðinu sveima rafeindir frá n til p en aðrar reka vegna rafsviðsins frá p til n (og sambærilegt má segja um holur)
- Tvíþóllinn 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 mismörg
- 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-hálfléiðaranum og x_{n0} er stærð berasnauðabilsins í n-hálfléiðaranum

24

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

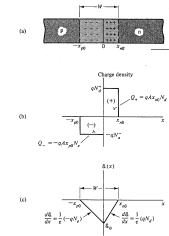
- Jafnan einfaldast þegar gert er ráð fyrir að engir hleðsluberar séu á svæðinu og gert er ráð fyrir fullkominni jónun íbótarinnar $N_D^+ = N_D$ og $N_A^- = N_A$

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

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

25

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 laggildi við $x = 0$
- $\mathcal{E}(x)$ er neikvætt allsstaðar á bilinu

26

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

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

27

Samskeyti

- Sem gefur

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

- 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

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

28

Samskeyti

- Þá er

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

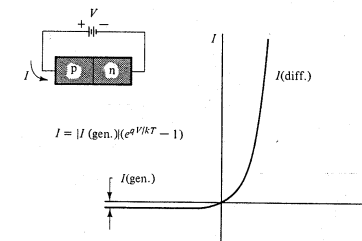
$$x_{n0} = \frac{WN_A}{N_A + N_D} = \frac{W}{1 + N_D/N_A}$$

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

⇒ Dæmi 8.3.

29

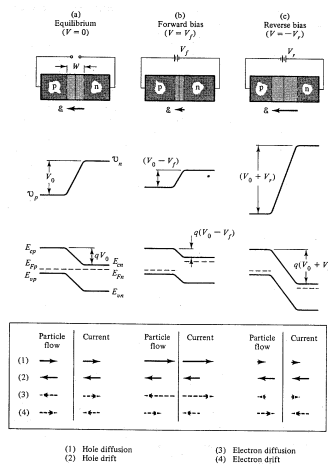
Samskeyti



- 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 berasnaða bilið

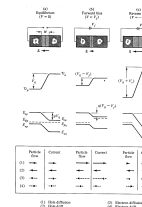
30

Samskeyti



31

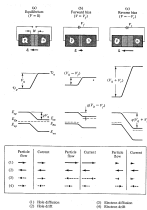
Samskeyti



- 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 $(V_0 + V_r)$

32

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

33

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 holar p-megin hafa næga orku til að komast yfir
- Þess vegna eru óverulegir sveimstraumar um bakspennt skeyti

34

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

35

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**

36

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

37

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

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

38

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

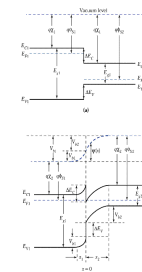
$$C = \frac{A}{2} \left[\frac{2q\epsilon}{(V_0 - V)} N_D \right]^{1/2}$$

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

⇒ Dæmi 8.4.

39

Fjölsamskeyti



Small text below the diagrams: 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 orkubörða tveggja einangraðara hálfleiðara áður en fjölsamskeyti eru mynduð

40

Fjölsamskeyti

- Gert er ráð fyrir hálfleiðararnir hafi ólíka orkugeil E_g , rafsvörnarstuðul ϵ_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_{vac} er mættisviðmið þar sem rafeindin sér enga krafta
- Fermiorkan verður að standast á yfir skeytin í varmajafnvægi og vacuum level verður að vera samfellt og samsíða borðabrún

41

Fjölsamskeyti

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

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

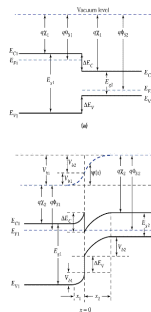
og fyrir gildisborða

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

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

42

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

43

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 snertispennunnar er skipt upp á milli hálfleiðaranna þarf að leysa jöfnu Poisson
- Eitt randskilyrði 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

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

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

44

Fjölsamskeyti

- Hér eru N_1 og N_2 eru íbótarpéttleikar hálfleiðara 1 og 2
- Berasnaudu breiddirnar x_1 og x_2 eru gefnar með

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

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

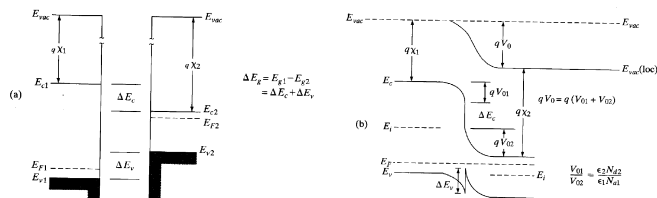
45

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 %

46

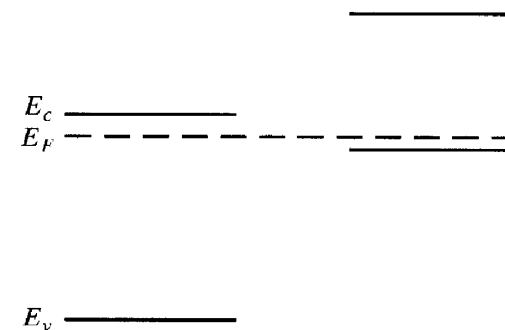
Fjölsamskeyti



- 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 ΔE_V og ΔE_C

47

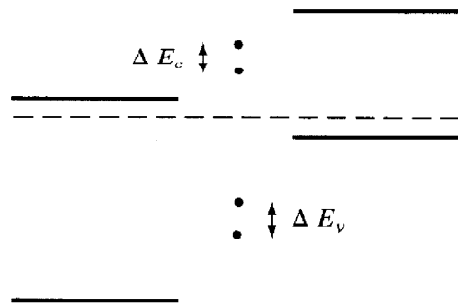
Fjölsamskeyti



1. Láta skal Fermiorkestig beggja hálfleiðaranna standast á. Skilja á eftir pláss fyrir umskiptasvæðið

48

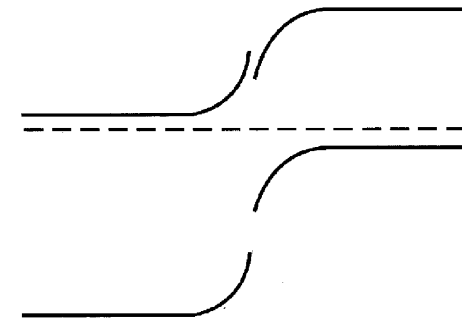
Fjölsamskeyti



- Skeytin ($x = 0$) eru staðsett nær meira íbættu hliðinni. Við $x = 0$ setjum við ΔE_V og ΔE_C sem eru aðskilin með viðeigandi orkugeil

49

Fjölsamskeyti



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

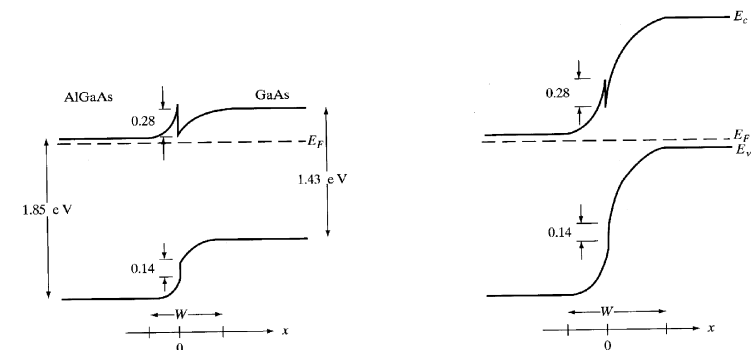
50

Fjölsamskeyti

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

51

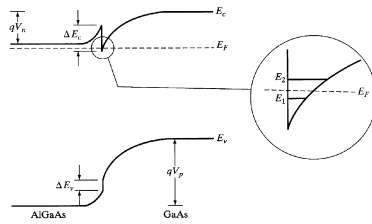
Fjölsamskeyti



- (a) N^+ -Al_{0.3}Ga_{0.7}As á n -leiðandi GaAs
- (b) N^+ -Al_{0.3}Ga_{0.7}As á p^+ -leiðandi GaAs

52

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

53

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)

54

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

55