

Árangur hinnar geysimiklu viðleitni rafeindaiðnaðarins til þess að auka áreiðanleika og gæði framleiðslu sinnar, en gera hana um leið smærri og kostnaðarminni, hefur verið svo mikill, að varla hefði neinn dirfzt að spá honum fyrir um það bil tíu árum. Um það leyti var samskeytatransistorinn (junction transistor), sem var endurbót á punkttransistorum (er fundinn var upp 1947), aðeins fimm ára gamall. Hinir fáu transistorar á markaðnum kostuðu of fjár, og jafnvel hinir beztu þeirra voru óáreiðanlegir ásamt því að vera takmarkaðir við lága vinnslutíðni. Árið 1955 voru transistorar svo til eingöngu notaðir í magnara fyrir heyrnadaufa, og fyrsta transistorviðtækið kom þá á markaðinn. Ekki var farið að nota transistora í rafreikna fyrr en þrem árum síðar.

Síðastliðin 10 ár hefur þróast í rafeindaiðnaðinum hin eftirtektarverða smágervingatækni, sem hefur minnkað transistora, mótstöður, þétta og annað slíkt, svo að það er vart sýnilegt berum augum. Unnt er t.d. að gera fullkomna rás, er samanstendur af 10 til 20 transistorum og 40 til 60 mótstöðum, úr kísilsneið, sem aðeins er 2 til 3 mm á kant. Milli 100 og 500 slíka smágervinga er unnt að framleiða í einu úr kísilsneið, sem er 2 til 3 cm að þvermáli og minna en fjórðungur úr mm að þykkt.

Megintilgangur þessarar einstæðu smækkunar er ekki að gera

fyrirferðalitlar rásir, heldur framleiða rásir, sem eru traustar, endingagóðar, ódýrar og geta starfað með ofsahraða. Þó skiptir smæð þeirra miklu máli í sérstökum tilvikum, svo sem í eldflaugum, geimförum og heyrnartækjum.

Með hinni nýju smágervingatækni er litlu dýrara að framleiða 100 frumhluta úr kísilsneið en framleiða 1, 10 eða 50. Auk þess er unnt að fara með hina 100 frumhluta sem eina einingu við samsetningu á t.d. rafreikni. Fyrir sama verð og góður transistor fæst, er hægt að kaupa smágerving með nokkrum tugum transistora og annarra frumhluta.

Grundvallartilgangur transistors er að stjórna rafstraum í samræmi við utanaðkomandi merki. Viðbragðsflýtir hans er fyrst og fremst háður stærðinni: því smærri sem hann er, því viðbragðsfljótari er hann.

Transistorar voru, þótt þeir hafi verið litlir í samanburði við lampa, í raun og veru geysistórir í samanburði við þau svæði, sem rafeindastarfsemin fer fram í, og því voru þeir tiltölulega viðbragðsseinir. Þeir gátu svarað nokkrum milljón sinnum á sekúndu, en það var nægur hraði fyrir útvarpstæki og heyrnartæki, en fjarri því að vera nægilegt fyrir rafreikna eða örbylgju-fjarskiptakerfi sem þau, er notuð eru í geimförum. Í rauninni var það viðleitni til að minnka transistorinn, svo að hann gæti starfað með meiri hraða, sem leiddi til smágervingatækninnar. Þessi nýja tækni varð að raunveruleika á árunum 1960-1963, að mestu sökum knýjandi nauðsynjar að framleiða ný fjöldamorðvopn.

Með því að stytta bilið milli einstakra frumhluta rásanna er einnig kleift að auka viðbragðsflýtin. Sá þáttur, er takmarkar starfshraða rafreiknis og sérhvers annars rafeindatækis, er ljóshraðinn, sem einnig setur hraða rafstraums í leiðslu takmörk. Ljósið fer um 30 cm á 10^{-9} sek., svo að ef rásin á að svara nokkrum þúsund milljón sinnum á sekúndu, mega leiðararnir, er tengjã saman einstaka frumhluta aðeins vera brot úr cm að lengd. Smágervingatæknin gerir svo stuttar tengingar framkvæmanlegar.

Tegundir frumhluta smágervingatækninnar

Áður en lengra er haldið í lýsingu á hinn nýju tækni, væri ekki úr vegi að minnst fáum orðum á þá fjóra frumhluta, sem koma fyrir í rafeindatækjum: mótstöður, þétta, díóður og transistora. Sérhver hefur sitt ákveðna hlutverk í stjórn elektrónanna í straumrásinni. Í útvarpstæki er starfið t.d. í því fólgið að breyta mjög veikum rafsegulbylgjum í mjög magnað merki með lægri tíðni, sem síðan er unnt að láta knýja hátalara.

Frumhlutarnir eru ýmist nefndir virkir eða óvirkir eftir því, hvernig þeir breyta merkinu í straumrásinni. Hlutverk óvirkra frumhluta eins og mótstaða og þétta er að beina orkunni rétta leið eða geyma hana. Þeir geta aftur á móti ekki framleitt, mót- að né magnað merkið. Díóður eru einnig óvirkar. Þegar rið-straumur er leiddur í þær, hleypa þær aðeins hinum jákvæða eða neikvæða hluta hvernar öldu í gegnum sig, svo að útkoman verður jafnstraumur. Hlutverk virkra frumhluta, eins og lampa og transistora, er að framleiða, magna eða breyta stefnu merkisins. Án þeirra væri rafeindatæknin ekki til.

Áður en transistorinn var fundinn upp, árið 1947, var lampinn eini virki frumhlutinn í rafeindatækjum. Af lömpum voru til svo margar tegundir, að 1947 virtist fífljarft að halda, að transistorinn yrði lampanum nokkurn tíma skæður keppinautur. Fyrstu transistorarnir höfðu enga sérstaka yfirburði fram yfir minnstu lampana, auk þess sem þeir voru - og héldu áfram að vera í mörg ár - rándýrir. Eini meginkosturinn var sparneytnin, sem þó var nógu mikið atriði til að réttlæta hina geysimiklu viðleitni til að endurbæta hann.

Harðstjórn fjöldans

Fyrsti rafreiknirinn, er kallaður var ENIAC, var smíðaður árið 1945. Hann var á stærð við meðalstóra íbúð og samanstóð af 19000 lömpum auk annarra hluta. Menn sáu þá óljóst fyrir sér, hvernig "harðstjórn fjöldans" myndi ráða ríkjum í rafeindaiðnaðinum, eftir því sem ríki og iðnaður yrðu háðari rafeindatækninni með öllum skýrslugerðarvélunum og sjálfvirkninni.

Símaverkfræðingar voru líklega meðal hinna fyrstu til að gera sér grein fyrir þessari harðstjórn. Þeir höfðu þegar skipulagt og smíðað sjálfvirka skiptistöð með mörg hundruð þúsund mekanískum rafliðum (relays) og þekktu því kostnaðinn og erfiðleikana við það að smíða slíkt tæki, er starfað gæti vandræðalaust árum saman. Þótt þeir hefðu gert sér grein fyrir hinum mörgu kostum þess að koma upp rafeindakerfum í stað hinna rafmekanísku, sáu þeir ekki fram á neina leið til að standast kostnaðinn og kröfurnar um öryggi með tækni, grundvallaðri á lömpum.

Transistoratæknin hefur að mestu rutt kostnaðarþröskuldinum, sem var samfara lampatækninni, úr vegi. Gæði, kostnaður og áreiðanleiki transistorsins hafa batnað geysilega á síðasta áratug. Á þeim tíma hafa gæði rafeindatækja margfaldað með notkun á sífelld fleiri frumhlutum. Nýtísku rafreiknar innihalda t. d. nokkur hundruð þúsund frumhluta, og rafeindaskiptikerfi fyrir síma innihalda meir en milljón.

Þótt frekari endurbóta á transistornum sé að vænta, verða þær vart eins stórkostlegar og undanfarið. Raunveruleg takmörk framleiðslu og gerðar nálgast, um leið og tækjasmíðurinn nálgast takmörk þeirrar stærðar, sem hann getur sett saman lið fyrir lið úr sérstökum einingum.

Árið 1950 var á vegum bandaríska hersins samin hin svokallaða "Tinkertoy" áætlun. Samkvæmt henni voru staðlaðar rásir smíðaðar í lítil einslaga hylki, sem síðan var unnt að tengja saman á ýmsa vegu með sjálfvirkum vélum. Með áætlun þessari er stærðarvandamálið leyst að nokkru leyti. Þannig var kleift að koma upp átta frumhlutum í hvern rúmpumlung. Þó var ekki unnt að fækka frumhlutum og tengingum með þessu móti.

Þróun eldflauga og geimrannsóknartækja krafðist sífelld smærri og margbrotnari rafeindatækja. Kom þá fram ný tækni, er kallast "micromodule". Með henni er unnt að koma um 400 frumhlutum fyrir í hverjum rúmpumlungi. Micromodule-tæknin hefur sama ókost og hinar fyrri: Fjöldi frumhluta og tenginga er hinn sami og í venjulegu rafeindatæki.

Ennþá alvarlegri var sá galli, að áreiðanleiki tækisins var í

öfugu hlutfalli við fjölda frumhlutanna: því fleiri frumhlutar og tengingar, því óáreiðanlegra var kerfið. Þannig var stærð not-hæfra tækja enn takmörk sett.

Smágervingar eða integreraðar rásir

Tvær óháðar þróunarleiðir leiddu til nýjustu tækninnar, smágerv- inga eða integreraðra rása, sem eru nefndar svo vegna þess, að allir frumhlutar eru órjúfanlega tengdir hver öðrum. Önnur grundvallast á hálfleiðarataekninni, sem m.a. er notuð við fram- leiðslu á transistorum og díóðum. Hin leiðin er svokölluð þunn- himnutækni, sem notuð er við framleiðslu á nákvæmum þéttum og mótstöðum. Með hálfleiðarataekninni er kleift að framleiða transistora, díóður, þétta og mótstöður úr einni og sömu kísil- sneiðinni. Þar sem þannig framleiddar mótstöður og þéttar eru ekki nægilega góð í einstöku tilvikum, er reynt að sameina þess- ar tvær aðferðir. Nefnast rásir þær hybrid-rásir, sem þannig hafa verið gerðar.

Þunnhimnutækni

Jafnvel áður en transistorinn var fundinn upp, höfðu menn rann- sakað eiginleika þunnra málmhimna á einangrandi efni. Þykkt slíkra himna er breytileg frá broti úr míkroni upp í nokkur míkron (1 míkron jafngildir milljónasta hluta úr metra).

Þunnhimnumótstaða er gerð úr örgrannri málmínu á einangrandi efni. Lengd línunnar ákveður viðnám mótstöðunnar, og ef um há gildi er að ræða, er línan höfð hlykkjótt. Þéttar eru gerðir með því að hafa þunna himnu úr einangrandi efni milli málm- laganna. Gildi þeirra ákvarðast af stærð yfirborðsins og þykkt einangrarans.

Þunnar himnur eru venjulega lagðar með "uppgufun" og þéttingu eða, ef erfitt er að breyta efninu í gufukennt ástand, með svo- nefndri katóðudreifingu. Við fyrrnefndu aðferðina er efnið hitað upp fyrir bræðslumark í lofttæmi og gufan síðan látin þéttast á glerplötu eða öðrum einangra. Þannig er unnt að framleiða

himnu með hæfilegri þykkt á fáum mínútum.

Við katóðudreifingu eru jákvætt hlaðnar jónir lofttegundar látnar skella á neikvæðu skotmarki, katóðu, gerðri úr málminum, sem gera á himnuna úr. Gasjónirnar orka sem hraðfleyg skeyti á skotmarkið og rífa einstök atóm úr því, en þau lenda síðan á grunni þeim, sem nota á fyrir smágervínginn, og mynda þar himnu. Þessi aðferð er einnig mjög fljótverk.

Stærð á þéttum og mótstöðum er stjórnað með tvennum hætti. Við aðra aðferðina er skermur með götum í samræmi við lögun frumhlutanna hafður fyrir framan grunninn. Húðast þá aðeins þau svæði, sem eru hlífðarlaus. Þannig er unnt að hafa hvaða lögun sem er á frumhlutunum með því einu að skipta um skerm. Til dæmis væri fyrst unnt að gera mótstöður, síðan þetta (í þrem stigum: málmhúð, einangrari, málmhúð) og að lokum allar tengingar. Önnur aðferð er að setja himnu á allan flötinn og þekja hann síðan með ljósnæmu lakki. Ljósmyndafilma með rásunum er lögð þar á, og flöturinn síðan lýstur með útfjólubláu ljósi. Við framköllun eru þau svæði lakksins, er ljós hefur ekki skinið á, leyst upp ásamt himnunni. Þessi aðferð er mun nákvæmari, þar sem unnt er að teikna straumrásirnar í stórum hlutföllum, en smækka þær síðan, gagnstætt því, sem gert er við stækkun ljósmynda.

Mótstöður og þéttar, sem framleidd eru með þessum aðferðum, hafa áætlaða skekkju 5-10%, en það er vel sambærilegt við frumhluta af venjulegri stærð. Sú mótstaða, sem unnt er að framleiða með þessum aðferðum, er frá minna en einu óhmi til meira en milljón óhma.

Í annarri aðferð, sem er athyglisverð vegna þess, hversu einföld hún er, en þó einstaklega nákvæm, er hagnýttur málmurinn tantalum og nokkur sambönd hans. Mótstöður eru framleiddar með línunum úr tantalum-nítríði, þéttar úr tantalum og tantalum-oxíði á víxl, en síðarnefnda efnasambandið er ágætur einangrari. Gildi frumhlutanna er hagrætt með rafgreiningu, þ. e. þykkt þess leiðaralags, sem sezt á grunninn, og mótstöður þaktar með oxíð-lagi til hlífðar. Tengingar milli einstakra frumhluta eru sömuleiðis úr tantalum. Með þessari aðferð er unnt að halda skekkjunni innan við 1%.

Hálfleiðarataekni

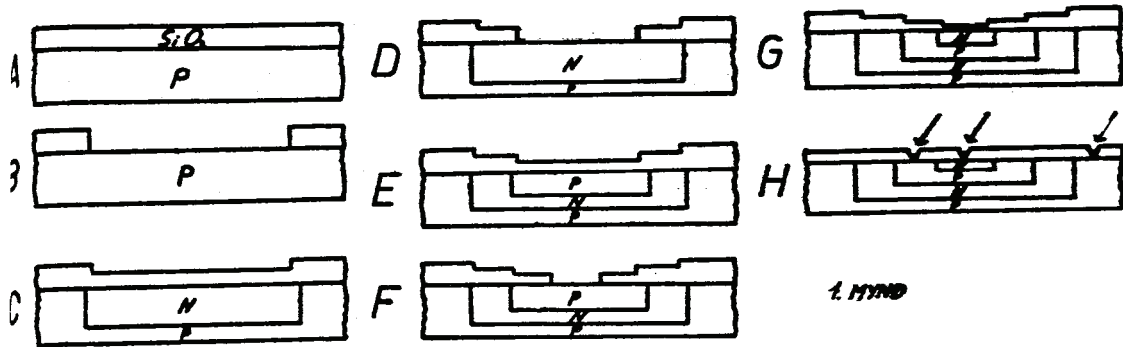
Hálfleiðarasmágervingar eru grundvallaðir á þeirri meginreglu, að ákveðin frumefni, eins og hreint germaníum, kísill o. fl. hafa sérstaka eiginleika, ef í þau er blandað örlitlu magni af "óhreinindum", til dæmis úr arseníum eða antímóni annars vegar og hins vegar úr alumíníum eða indíum. En þetta er einmitt það, sem transistorar grundvallast á. Sú uppgötvun, að ekki er eingöngu unnt að nota hálfleiðara í díóður og transistora, heldur og í aðra tvo mikilvægustu hluta rafeindatekninnar, mótstöður og þetta, ásamt fullkornun framleiðsluaðferða, leiddi að lokum til smágervingatekninnar.

Meginatriðin í framleiðslu á hálfleiðarasmágerving mundu vera þessi: Rásin er í upphafi gerð úr frumhlutum af venjulegri stærð og reynd þannig, en síðan endursmíðuð sem smágervingur. Skermar, er samsvara straumrásinni, eru teiknaðir með einstakri nákvæmni í þúsundfaldri stærð, en síðan smækkaðir með aðstoð ljósmyndatekninnar. Þessir skermar eru síðan notaðir til þess að lýsa ákveðin svæði grundvallarefnisins á svipaðan hátt og lýst var hér á undan í sambandi við þunnhimnusmágervinga.

Svæði, sem hafa mismunandi eiginleika gagnvart rafstraumi, eru gerð með því að breyta eiginleikum hálfleiðarans. Það er gert með því að bæta örlitlu magni af "óhreinindum" í hálfleiðarann, svo að hann skiptist í svokölluð "p" og "n" svæði. Hin svonefnda planar aðferð við þessa breytingu er sýnd nánar á l. mynd. Þetta er endurtekið unz kísilsneiðin inniheldur öll lögin, sem á þarf að halda. Síðan er oxíðlag sett á hana til hlífðar og lítil göt fyrir tengingar tærð þar á. Tengingar eru venjulega gerðar með því að setja alumíníumlög fyrir oxíðlagið og beita síðan smækkunaraðferð þeirri, sem fyrr greinir.

Slíkar smágervingarásir eru ekki framleiddar einstakar. Algeng stærð á einni slíkri rás er um 2x3 mm. Kísilsneiðin, sem smágervingarásir eru framleiddar úr, er brot úr millímetra á þykkt og 2-3 cm á kant og inniheldur e.t.v. 100 fullkornar rásir, sem hver samanstendur af um 70 frumhlutum.

Transistorar og díóður eru gerðar umhverfis svonefnd p-n og



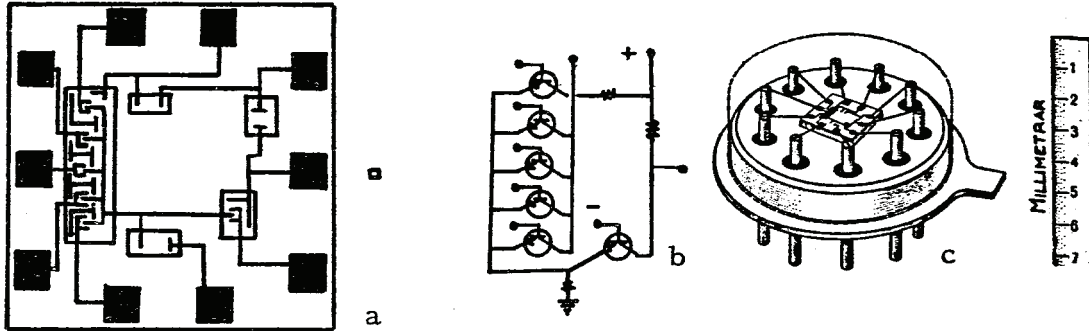
Hin svonefnda "planar" aðferð við framleiðslu á ýmsum frumhlutum (transistorum, díóðum, mótstöðum og þéttum) er sýnd hér. Dæmið, sem tekið er, sýnir framleiðslu á n-p-n transistor, en í grundvallaratriðum er það sama aðferðin og notuð er við framleiðslu á öðrum frumhlutum.

(A) kísildíoxíðlag er "ræktað" á kísilsneið. (B) "Gluggi" fyrir fyrstu blöndunina er gerður með aðstoð ljósmyndatekninnar (SiO_2 -lagið er þakið með ljósnæmu lakki og síðan lýst með útfjólubláu ljósi gegnum skerm, en við það verða þau svæði, er ljós hefur ekki skinið á, uppleysanleg). Kísilsneiðin er nú hituð upp og "óhreinindum" af réttri gerð blandað í sneiðina niður að ákveðnu dýpi, en við það breyta þau p-kísil í n-kísil. (C) "Glugganum" er lokað með SiO_2 -lagi. (D) Annar minni gluggi er gerður með sömu aðferð og hinn fyrri og "óhreinindum" blandað í n-lagið til þess að breyta hluta þess í p-lag. Þessu næst er "glugginn" þakinn SiO_2 -lagi (E). Þetta er endurtekið einu sinni enn til þess að framleiða þriðja lagið, sem nauðsynlegt er í transistorinn. Árangurinn (G) er n-p-n transistor í p-gerð grunns, sem þakinn er með SiO_2 -lagi til hlífðar. (H) Að lokum eru öremá gót tærð í SiO_2 -lagið, svo að unnt sé að tengja leiðslur í hin þrjú lög transistorsins.

n-p (pósítíf-negatíf) samskeyti (sjá greinina "Transistorar", De rerum natura 2.tbl. 1965), líkt og gert er, þegar venjulegir transistorar eru framleiddir. Ef spenna er sett öfugt yfir p-n díóðu (þ.e.a.s. þá leiðir hún ekki), vinnur hún sem þéttir. Rýmd þeirri, sem þannig er náð, er unnt að breyta innan óákveðinna takmarka með breytingum á spennumni. Þennan eiginleika díóðunnar hafa menn notfært sér í smágervíngum. Ókostir slíks þéttis eru þeir, að hann er einstefndur (vinnur sem afriðill), sérhver breyting á spennu breytir rýmdinni, og síðast en ekki sízt er rýmd hans takmörk sett (enn sem komið er um 200 pf).

Annar mikilvægan frumhluta, mótstöðuna, er einnig unnt að gera beint í kísilsneiðina með því að breyta leiðni einstakra hluta hennar. Viðnámið er þá háð lengd, breidd og dýpt þessa svæðis svo og magni óhreininda í því. Þannig er unnt að ná viðnáms-

gildum, sem eru allt að 30 kílóóhmum. Til einangrunar milli mótstöðu og grundvallarefnis eru notaðar díóður með öfugri forspennu. Einn mikill ókostur slíkra mótstaðna er breyting sú, sem verður á viðnámsgildi við hitasveiflur.



Mynd 2 a er 25-falt stækkuð mynd af smágerving, sem ætlaður er til nota í rafreikni. Til hliðar við hana er hann sýndur í eðlilegri stærð. Smágervingur þessi hefur verið framleiddur með hálfleiðaraaðferðinni, sem nánar segir frá í greininni. Straumrásin, sem inniheldur sex transistora og þrjár mótstöður, er sýnd á mynd 2 b. Eins og sjá má er hér um ótrúlega smækkun að ræða, en þó eru rásir stundum smækk- aðar enn meira. Lokastig framleiðslunnar er í því fólgið, að smá- gervingnum er komið fyrir í lofttómu hylki, eins og sýnt er á mynd 2 c.

Áður hefur verið dregið á eina aðferð við að einangra frumhluta hvorn frá öðrum með því að nota díóður með öfugri forspennu. Sumir framleiðendur kjósa þó að nota ekki einungis þessa aðferð við að aðskilja frumhlutana, heldur einnig að kljúfa straumrásina í nokkrar einingar, sem síðan eru tengdar saman með venjulegum grönnum leiðslum. Sú tækni að gera alla frumhlutana úr einni kísilsneið er kölluð "monolithic" (úr einum steini), en sé straumrásinni skipt í nokkrar einingar, er hún kölluð "polylithic" eða "multichip".

Hybrid-rásir

Sérhver þeirra gerða af rásum, sem lýst hefur verið, hefur sína annmarka, sem takmarka notagildi þeirra á mörgum sviðum. Aftur á móti hefur sérhver ákveðinn kost fram yfir hinar. En unnt er að sameina þessar aðferðir á marga vegu og auka þannig

notagildi smágervinga. Þetta hefur leitt til hinna svonefndu "hybrid-rása".

Erfiðleikarnir við það að hafa mótstöður og þetta í hálfleiðarasmágerving, hafa valdið því, að margir framleiðendur hafa komið öðrum hlutum fyrir í þessari gerð smágervinga. Í stað þess að tengja saman hálfleiðararásir og þunnhimnurásir með vírum, en það eykur að mun óáreiðanleika tækisins, hafa menn hallazt að því að mynda þunnhimnumótstöður og þetta ofan á kísildíoxíðlagið á kísilgrunninum. Til dæmis er unnt að útbúa þétti með því að setja örþunna alúmíníumhimnu ofan á oxíðlagið. Alúmíníumhimnan er þá annað skautið, kísildíoxíðlagið einangrari og "óhrein" hálfleiðari ofan á kísilgrunninum hitt skautið. Einnig er kleift að hafa allan þéttinn ofan á oxíðlaginu og nota þá jafnvel efni, sem hefur háan díeletrískan stuðul fyrir einangrara. Þannig er með góðu móti unnt að ná rýmdinni 3000 pf og halda henni innan 20% skekkjumarka. Mótstöður er einnig unnt að útbúa á kísildíoxíðlagið, og þá venjulega úr málminum nichrome og ná með því móti allt að 50 kílóhma viðnámi.

Önnur aðferð við sameiningu þunnhimnu- og hálfleiðarasmágervinga er gagnstæð hinna fyrrnefndu. Í stað þess að nota hálfleiðaragrunninn sem grundvöll fyrir þunnhimnufrumhluta, er unnt að koma einingu, sem inniheldur nokkra transistora og díóður, fyrir á gler eða keramikgrunni, er inniheldur óvirku frumhlutana, gerða með þunnhimnuaðferðinni. Er þessi aðferð nefnd "flip-chip".

Sá frumhluti, sem enn er ókleift að breyta í smágerving, er spóla. Erfiðleikarnir eru fólgnir í því, að ekki er kleift að ná nægilega miklu rúmi á eða í grunninum fyrir ákveðið segulsvið. Reyndar er unnt að framleiða slíka spólu með þunnhimnuaðferðinni, en "Q" (ákveðinn mælikvarði á gæði) hennar ef of lítið til þess, að hún sé nothæf. Þó að mikið hafi verið reynt til þess að bæta úr þessu, t.d. með nýjum kjörnum, er hafa sérstaklega mikið "permeability", verður ennþá annað hvort að nota spólur af venjulegri stærð eða reyna að komast hjá því að nota þær. Í þeirra stað eru þá notaðir píezo-elektrískir kristallar (sjá *De rerum natura*, 2. tbl. 1965), keramískar síur eða R-C (mótstöðu-þétti)liðir.

Áreiðanleiki smágervinga

Transistorinn er óvæfengjanlega margfalt áreiðanlegri en lampinn. Vegna þess, að aðferðir við framleiðslu á smágervingum eru mjög sambærilegar aðferðum við framleiðslu á transistorum, eru smágervingar a.m.k. jafnáriðanlegir og transistorar. Ein aðal-
hættan, hvað áreiðanleika snertir, liggur í samtengingum einstakra frumhluta. Vegna þess, að komið er í veg fyrir margar tengingar, er smágervingur að öllum líkindum áreiðanlegasta tækið, sem inniheldur bæði virka og óvirka frumhluta.

Sem dæmi um áreiðanleika væri ekki úr vegi að geta um tilraun, sem vísindamaður Philco-fyrirtækisins framkvæmdu. Sveifluvaki var settur saman úr smágervingum, er samanstóðu af 459 frumhlutum, þannig að ef einn bilaði, hlaut tækið að hætta að vekja sveiflur. Tækið var látið vinna í milljón frumhluta-stundir við 25°C og síðan aðra milljón við 75°C án þess að nokkur bilun kæmi í ljós. Önnur fyrirtæki, er framkvæmt hafa svipaðar tilraunir, hafa komið að sömu niðurstöðu. Rannsóknarstofa MIT, sem vinnur að Apollo-áætluninni, hefur framkvæmt áreiðanleika-prófun á smágervingum í samtals yfir 50 milljón frumhluta-stundir án nokkurrar bilunar.

Á. H. B. 6. Y.

Heimildir :

Scientific American, - nóv. 1965
 Interadio (4UITU Calling), 1965
 Electronics World, - nóv. 1965
 Radio-Electronics, - okt. 1963
 Electronics, - 9. ág. 1963
 " - 28. júní 1963

"Heimurinn víkur úr vegi þess manns, sem veit, hvert hann ætlar."

- David S. Jordan.

DE RERUM NATURA

6. árg. - 2. blað - Apríl 1966

E F N I

Um forsiðumynd	2.
Úr þróunarsögu manna	4
Nýjungar í stjörnufræði	15
Erasmus Darwin	21
Landarek og útpensla Jarðar	26
Gervihjörtu	37
Reyniviður	45
Smágervingar	48
Um útrýmingu skaðlegra lífvera	62
Halastjörnur	65
Fróðleiksmolar	74
Á skotspónum	77
Bækur og blöð	83
Um baksíðumynd	87

FORSÍÐUMYNDIN

Fljótt á litið mætti halda, að forsíðumyndin væri af yfirborði tunglsins eða af einhverjum öðrum álíka hrjóstrugum stað. Svo er þó ekki, heldur er þetta mynd af frumuvef úr mús (nánar tiltekið úr þekjuvef smáþarmanna), stækkuð u.þ.b. 250 þús. sinnum. Mynd þessi er að því leyti frábrugðin öðrum slíkum, sem sjá hefur mátt í ritum um líffræði, að hún sýnir hluta vefsins í þrívíðu rúmi, en oftast eru myndir þessar aðeins í tveim víddum. Frh. á bls. 59.

Ritstjórn : Jón Erlendsson 6.-Z ritstjóri
Matthías Matthíasson 6.-Z
Einar H. Guðmundsson 5.-S
Jón Pétursson 5.-Y

Ábyrgðarmaður : Björn Bjarnason yfirkennari

Greinar í blaðinu lásu yfir kennararnir Björn Bjarnason, Örnólfur Thorlacius, Sigurður Steinþórsson, Þórarinn Guðmundsson og Örn Helgason.

Málfar greina leiðréttu Magnús Finnbogason yfirkennari og Tryggvi Gíslason kennari.

Fyrirsagnir drógu þeir Kristján Linnet 6.-Z, Bjarki Zóphóniasson 6.-Z og Ólafur S. Ásgeirsson 5.-S.

Kann ritstjórn mönnum þessum beztu þakkir.

Kápumyndir voru prentaðar hjá Offsetmyndum s.f.

Fjölritun annaðist Fjölritunarstofa Daníels Halldórssonar.

Gefið út í Menntaskólanum í Reykjavík.