

**Framleiðsla smárása:**

# **Framleiðsla smárása – yfirlit**

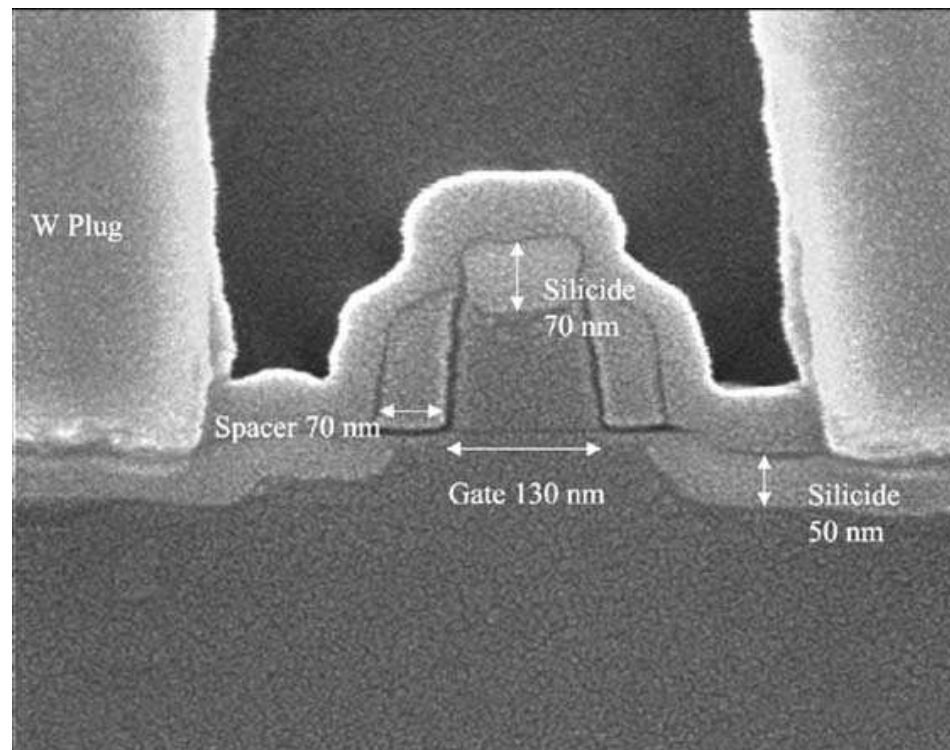
**Kaflí 14**

**Jón Tómas Guðmundsson**

**tumi@hi.is**

**9. vika haust 2016**

# Framleiðsla smárása



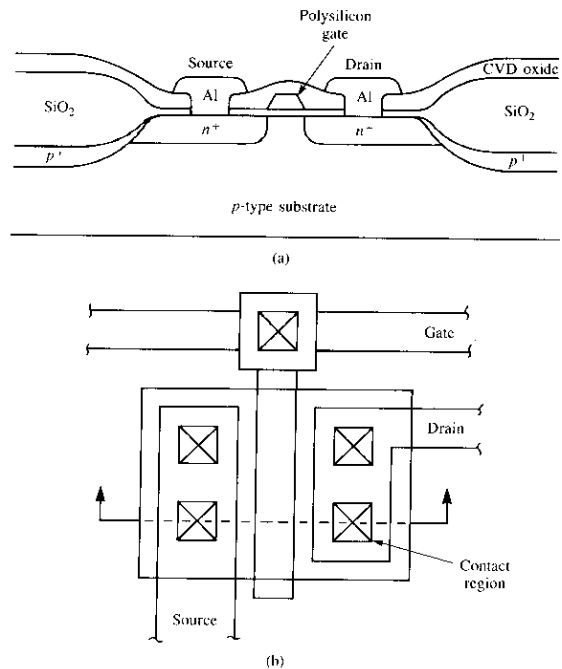
Mynd LSI Logic, Inc.

- Framleiðsla órofa smárása

## n-MOS

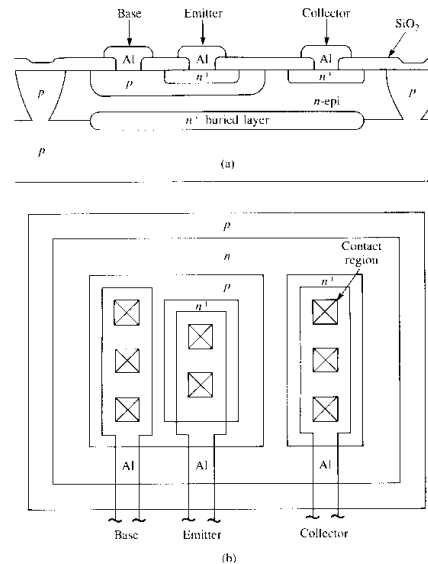
- $n$ -gerðar MOS smári er myndaður á  $p$ -leiðandi undirlag
- Lind- og svelgsvæðin eru mynduð með því að breyta leiðnigerð grunnra svæða við yfirborðið í  $n$ -leiðni
- Þunn og þykk kísiloxíðlög á yfirborðinu mynda gáttaroxíð smárans og einagra eitt tól frá öðru
- Þunn húð úr fjölkristölluðum kísli myndar gátt smárans
- Ál er notað sem snerta við lind og svelg
- Tengi milli tóla eru gerð með lögum úr fjölkristölluðum kísli og málm

# n-MOS



- Grunngerð  $n$ -rásar sviðssmára  $n$ -MOS (e. metal-oxide-semiconductor)(NMOS), lóðrétt þversnið smárans
- Samsett mynd af þeim grímum sem eru notaðar við framleiðslu smárans

# Tvískeyttir smárar



- Í tvískeyttum smára skiptast á  $n$ - og  $p$ -leiðandi lög mynduð valkvæmt í  $p$ -leiðandi undirlag
- Kísiloxíð er notað sem einangrari og ál í snertur við eimi, beini og gleypi

## Framleiðsla smárása

- Slík mannvirki eru byggð með fjölda endurtekinna framleiðsluferla:
  - oxun (e. oxidation)
  - photolithography
  - æting (e. etching)
  - sveim (e. diffusion)
  - evaporation og spætun (e. sputtering)
  - efnaútfellingu úr gasfasa (e. chemical vapor deposition (CVD))
  - jónaígræðslu (e ion implantation)
  - lagvexti (e. epitaxy)

## Framleiðsla smárása

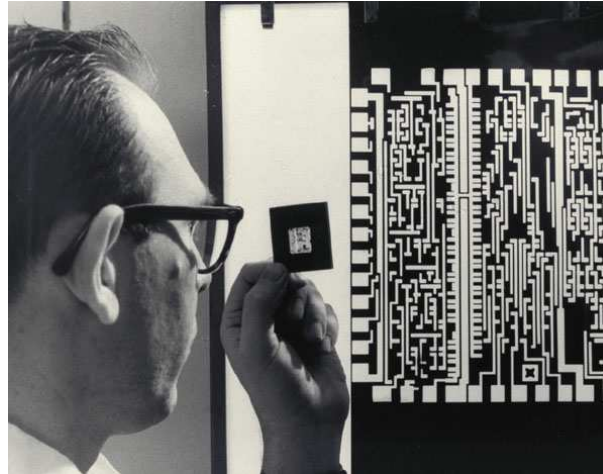
- Kísiloxíð má mynda með því að hita kísilskífu í súrefnisumhverfi upp í hátt hitastig (1000 – 1200 °C). Þetta ferli er nefnt **oxun**
- Málmi má húða með uppgufun, þ.e. hita málmm upp fyrir bræðslumark sitt í lofftæmi
- Þunnar kísinnítríð- og kísiloxíðhúðir sem og húðir úr fjölkristölluðum kísli má mynda með því að fella út (e. deposit) efni úr gasblöndu á skífuna (CVD)
- Málmmum og einangrurum má húða með spætun
- Grunn *n*– eða *p*–leiðandi lög eru mynduð með háhitasveimi (1000 – 1200 °C) rafgjafa- eða rafþegaíbótar eða með jónaígræðslu (e. ion implantation)

## Framleiðsla smárása

- Í jónaígræðslu er skotið á skífuna háorku jafgjafa- eða rafþegajónum með háspennu agnahraðli
- Til að byggja tól og rásir verður að mynda  $n-$  og  $p-$ svæði valkvæmt í yfirborð skífunnar
- Kísiloxíð, kísilnítíð, fjölkristallaðan kísil, sem og önnur efni má nota til að skýla svæðum á yfirborði skífunnar við íbót með sveimi eða jónaígræðslu
- Gluggar eru myndaðir í skuggaefnið með ætingu með sýrum eða rafgasi
- Gluggamynstrið er flutt á yfirborð skífunnar frá grímum með ljóstækni



## Framleiðsla smárása



- Grímurnar eru einnig framleiddar með ljósmyndataekni
- Photolithography innifelur framleiðslu gríma og flutning á mynstri yfir á yfirborð skífu
- Photolithography gegnir lykilhlutverki við framleiðslu smárása og fjöldi gríma er gjarnan notaður sem mælikvarði á hve flókið framleiðsluferlið er

## n-MOS ferli

- Upphaflega er ræktaður á skífuna þunnur oxíð-púði úr kísiloxíði til verndar yfirborði skífunnar
- Því næst er ræktuð kísilnítíð húð með efnaútfellingu við lágan þrýsting (e. Low-pressure chemical vapor deposition (LPCVD))
- Gríma # 1 skilgreinir svæðið þar sem smárinn er byggður
- Nítíð/oxíð samlokan er ætt í burtu nema þar sem byggja á smárann
- Þá er bór skotið inn með jónahraðli og oxun er framkvæmd. Nítíð er gríma fyrir hvorutveggja bórígræðluna og oxunina
- Þegar nítíðið og oxíð-púðinn hafa verið fjarlægð er ræktað nýtt oxíðlag, sem verður gáttaroxíð smárans

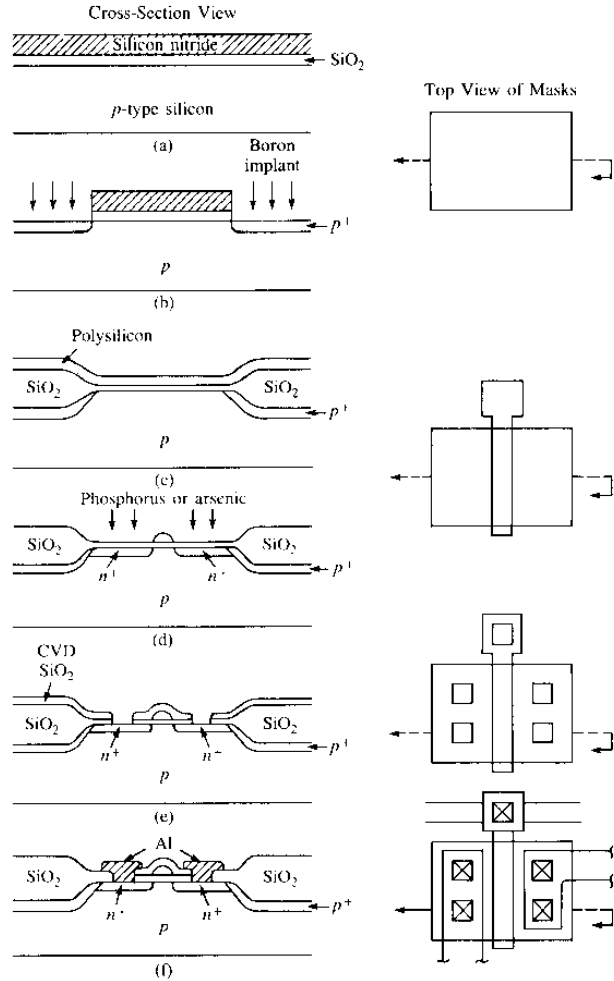
## n-MOS ferli

- Eftir að gáttaroxíðið er komið er gjarnan fylgt eftir með bórígræðslu til að stilla af þröskuldsspennuna
- Þessu næst er fjölkristallaður kísill lagður yfir alla skífuna með efnagufuágræðslu
- Önnur gríman skilgreinir gáttarsvæði smárans og fjölkristallaði kísillinn er ættur í burtu alls staðar nema yfir gáttarsvæðinu og þar sem eiga að koma millitengi
- Þessu næst eru lindar- og svelgsvæðin ígrædd í gegnum þunna oxíðlagið
- Þá má stilla af dýptina á lindar- og svelgsvæðunum með háhita sveimi

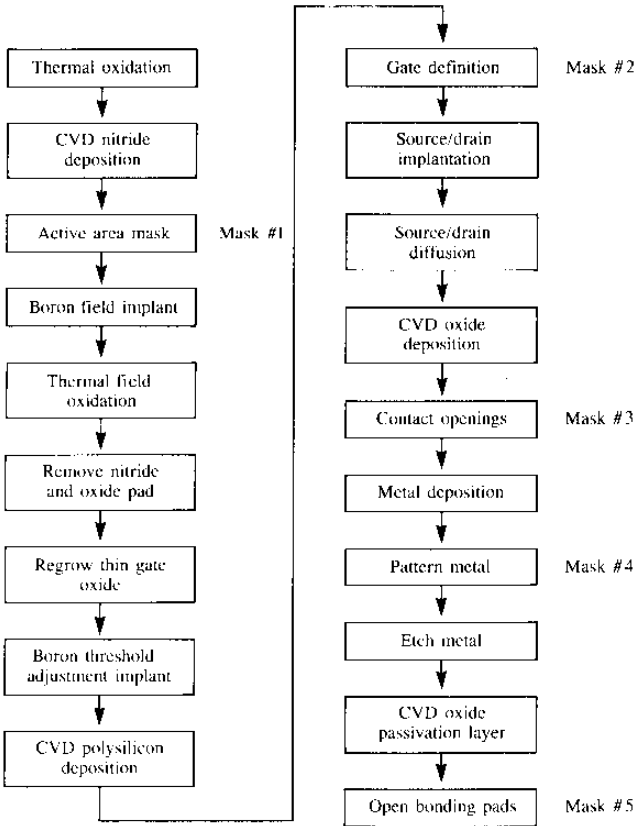
## n-MOS ferli

- Þá er aftur ræktað oxíð lag og snertur skilgreindar með þriðju grímunni
- Málmi er þá húðað yfir yfirborð skífunnar með uppgufun eða spætun
- Fjórða gríman skilgreinir hvernig millitengin eru ætt í málminn
- Passivation lag af phosphosilicate gleri er þá lagt yfir alla skífuna
- Fimmta gríman skilgreinir svo glugga þar sem tengivírar ná til flögunnar
- Þeir tengja smárann við tengiflöt

# n-MOS ferli



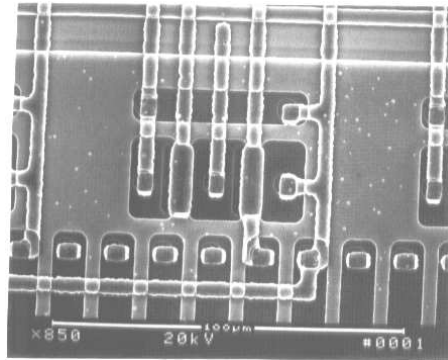
# n-MOS ferli



## n-MOS ferli

- Þetta einfalda ferli þarf 5 grímur
- Ferlið er frádráttarferli (e. subtractive process)
- Allt yfirborð skífunnar er þakið með tilteknu efni og mest af efninu er fjarlægt með votri efnaætingu eða rafgasætingu

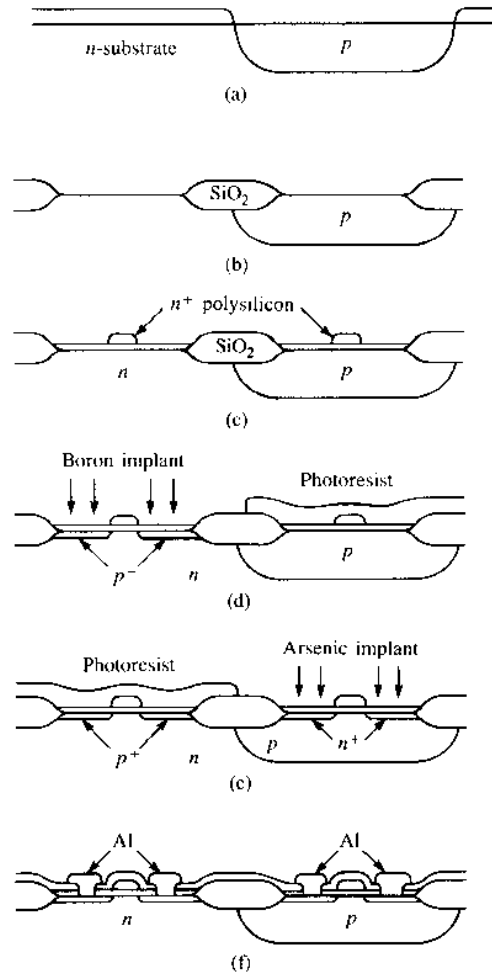
## CMOS ferli



- Til að mynda CMOS þarf að bæta við grímu sem skilgreinir  $p$ -brunn sem verður undirlag  $n$ -rásar tóls
- Að auki þar síðan grímu til að skilgreina lindar- of svelgsvæði  $p$ -rásar smárans
- Að auki kann að vera þörf á grímum þegar þröskuldsspenna smáranna er stillt af
- Stundum er gerður  $n$ -brunnur í stað  $p$ -brunns



# CMOS ferli



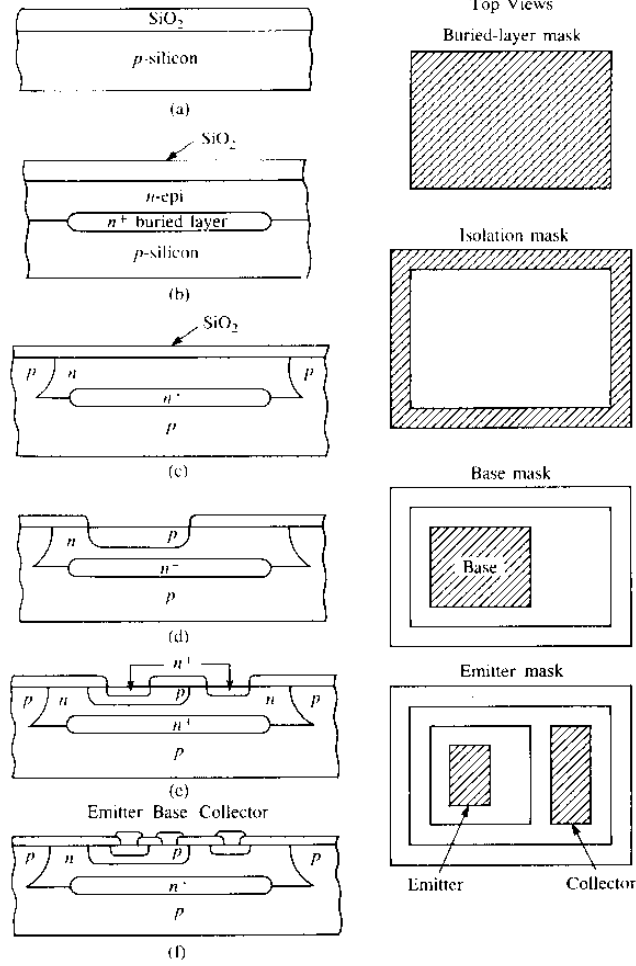
## Tvískeyttur smári

- Flóknara er að framleiða tvískeyttan smára en einrásar MOS smára
- Fyrst er skífa úr  $p$ -leiðandi kísli oxuð
- Fyrsta gríman er notuð til að skilgreina sveimsvæði sem nefna má **grafið lag** (e. buried layer) eða **undirgleypi** (e. subcollector)
- Með þessu sveimferli er viðnám gleypis tvískeytta smárans lækkað
- Þessu næst er ræktaður á alla skífuna, með **lagvexti**,  $n$ -leiðandi einkristallur. Með lagvexti er ræktað hágæða kísillag sem hefur sömu kristallagerð og undirlagið
- Þá er yfirborðið oxað
- Gríma # 2 skilgreinir glugga fyrir  $p$ -sveim, sem einangrar einn tvískeyttan smára frá öðrum

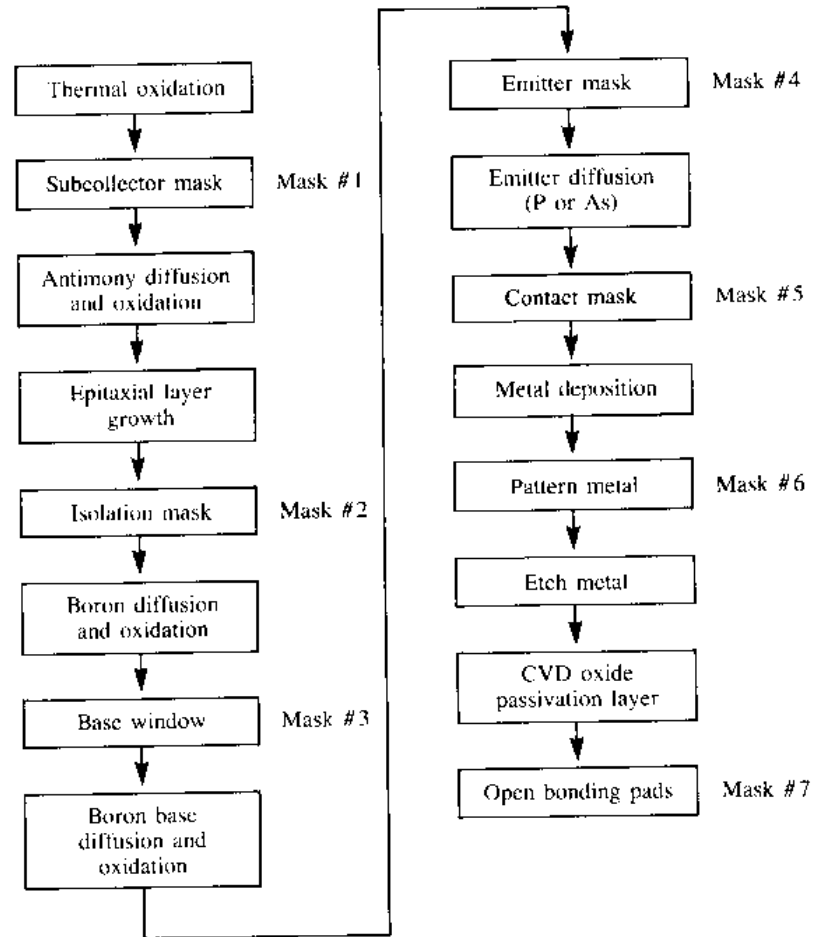
## Tvískeyttur smári

- Þá er yfirborðið oxað aftur
- Þriðja gríman opnar glugga í oxíðlagið til að mynda p-leiðandi beini með sveimi
- Gjarnan er yfirborðið oxað jafnframt sveiminu
- Gríma fjögur er þá notuð til að skilgreina glugga til að mynda megi eimi með sveimi
- Með sama sveimferli er myndað  $n^+$  svæði í gleypi þannig að mynda megi góð ohmsk skeyti þegar málmur er tengdur hálfleiðaranum
- Grímur 5, 6 og 7 eru notaðar til að skilgreina málmalagið og opna glugga fyrir passivation lag
- Grunnferlið til að mynda tvískeyttann smára þarf því 7 grímur

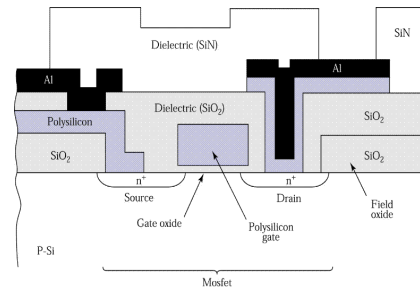
# Tvískeyttur smári



# Tvískeyttur smári



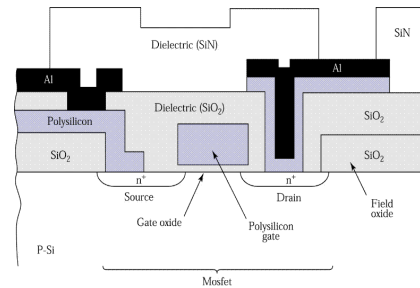
# Þunnar húðir



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

- Það er notaður þó nokkur fjöldi af þunnum húðum
  - varmaoxíð
  - rafsvavarar
  - fjölkristallaður kísill
  - málmhúðir
- Myndin sýnir þversnið af dæmigerðum  $n$ -rásar MOSFET þar sem þessar fjórar mismunandi húðir koma fyrir

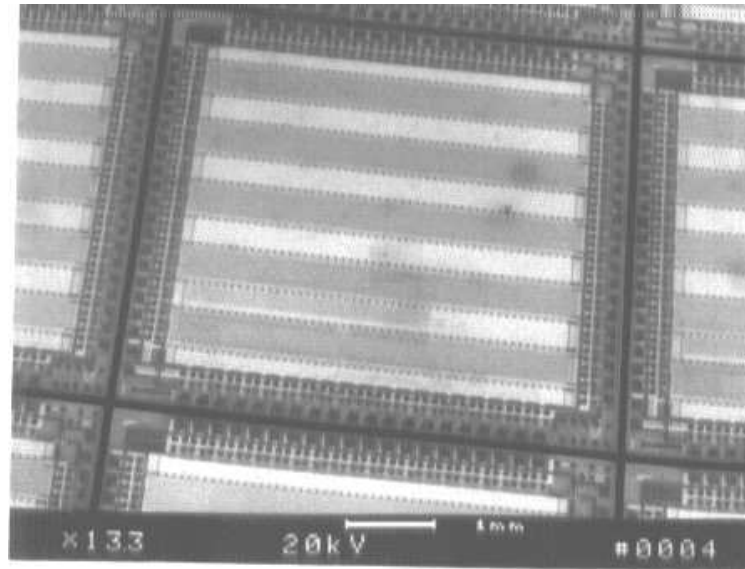
# Punnar húðir



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

- Gáttar oxíð er oftast varmaoxíð
- Rafsvarar eru notaðir sem einangrar á milli leiðara, og sem grímur fyrir sveim og jónaígræðslu
- Fjölkrystallaður kísill er notaður sem gátt, og leiðari í fjöllum tengjum
- Málmhúðir eins og ál og siliköt eru notað í lágviðnáms millitengi, ohmskar snertur eða afriðandi Schottky skeyti

## Að lokum



- Eftir að ferlinu til að mynda MOS eða tvískeytta smára er lokið, er sérhver flaga á skífunni prófuð
- Þær flögur sem eru í lagi eru tengdar og þeim pakkað fyrir lokapróf, sölu og notkun



# Heimildir

[1] R. C. Jaeger, *Introduction to microelectronic fabrication*, Addison-Wesley, 1988, kafi 1