

Smárásir:

# Framleiðsla smárása – yfirlit

Kaflí 14

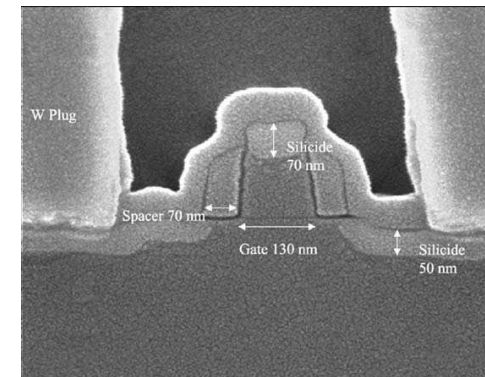
Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

9. vika vor 2010

1

## Framleiðsla smárása



Mynd LSI Logic, Inc.

- Framleiðsla órofa smárása

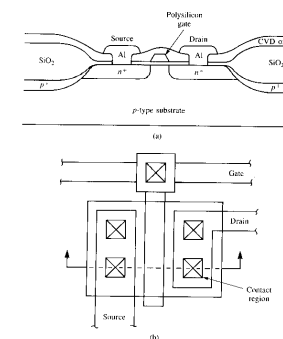
2

## 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
- Tenging milli tóla eru gerð með lögum úr fjölkristölluðum kísli og málmi

3

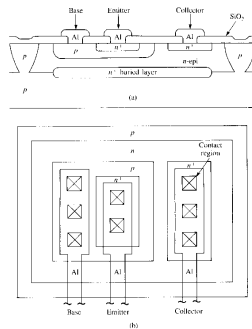
## n-MOS



- 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

4

## 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

5

## 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)

6

## 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 málm 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)
- Málmum 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)

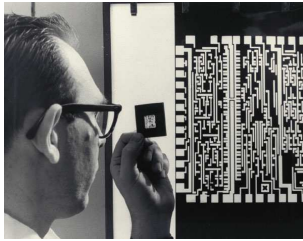
7

## Framleiðsla smárása

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

8

## Framleiðsla smárása



- Grímurnar eru einnig framleiddar með ljósmyndatækni
- 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

9

## n-MOS ferli

- Upphaflega er ræktaður á skífuna þunnur oxíð-púði úr kísiloxíði til verndar yfirborði skífunnar
- Því næst er ræktað 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 bórigræðluna og oxunina
- Þegar nítíðið og oxíð-púðinn hafa verið fjarlægð er ræktað nýtt oxíðlag, sem verður gáttaroxíð smárans

10

## n-MOS ferli

- Eftir að gáttaroxíðið er komið er gjarnan fylgt eftir með bórigræðslu 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

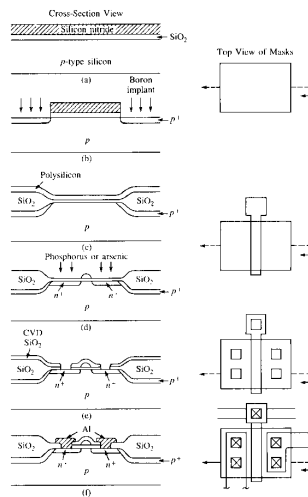
11

## 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

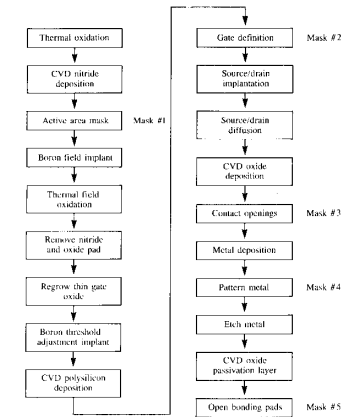
12

## n-MOS ferli



13

## n-MOS ferli



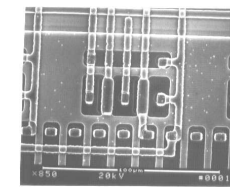
14

## n-MOS ferli

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

15

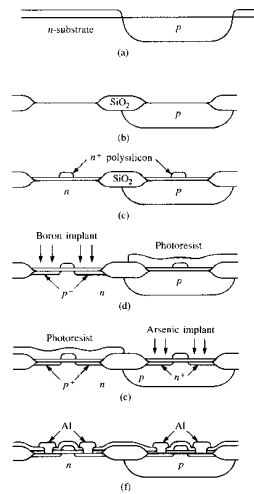
## CMOS ferli



- 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  $p$ -brunnis

16

## CMOS ferli



17

## 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

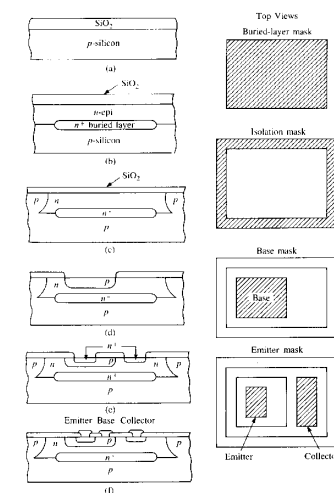
18

## 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 málmagið og opna glugga fyrir passivation lag
- Grunnferlið til að mynda tvískeyttan smára þarf því 7 grímur

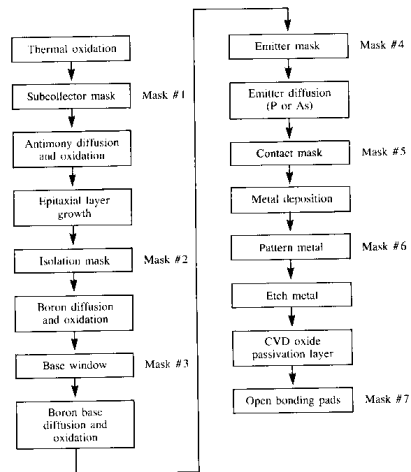
19

## Tvískeyttur smári



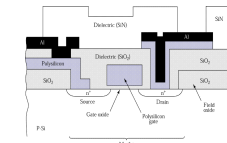
20

## Tvískeyttur smári



21

## Þunnar húðir

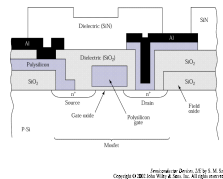


Copyright © 2003 Intel Corporation. All rights reserved.

- 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

22

## Þunnar húðir

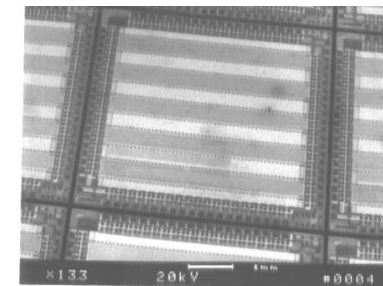


Copyright © 2003 Intel Corporation. All rights reserved.

- Gáttar oxíð er oftast varmaoxíð
- Rafsvavarar eru notaðir sem einangrar á milli leiðara, og sem grímur fyrir sveim og jónaígræðslu
- Fjölkristallaður 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

23

## 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

24

## Heimildir

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