

Framleiðsla smárása:

Æting

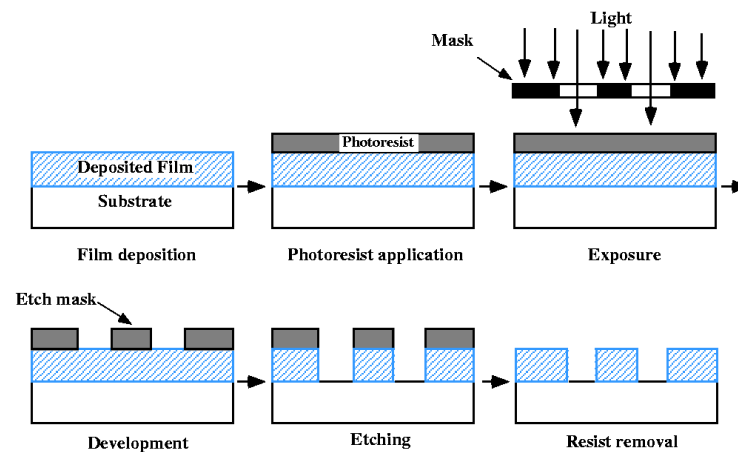
Kaflí 21

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

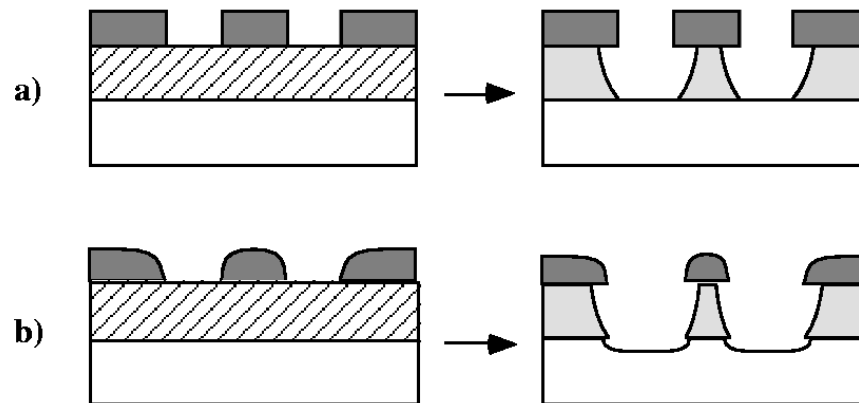
13. vika haust 2014

Inngangur



- Æting þunnra húða og stundum kísilundirlagsins eru afar algeng framleiðsluskref við framleiðslu smárása
- Valvísi (e. selectivity) og ætingarstefna skipta þá verulegu máli
- Valvísi ræðst af efnafræðinni en stefnuvirkni ræðst að mestu af physical processes
- Í nútíma ætingartólum er reynt að besta hvorutveggja

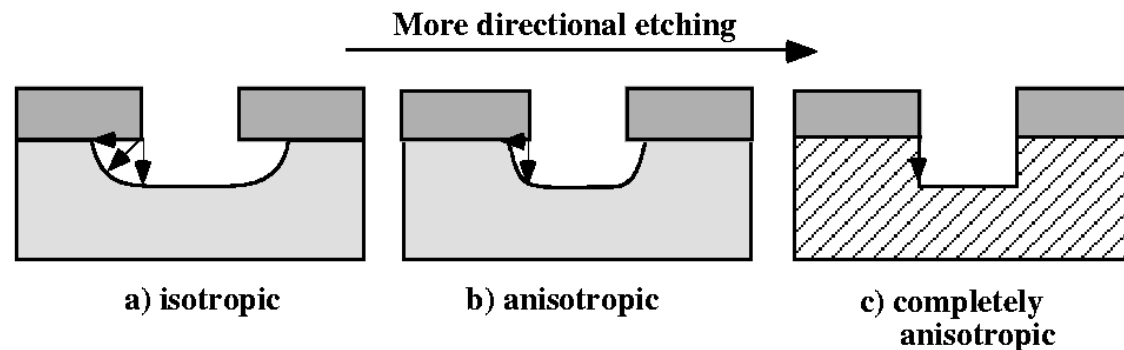
Inngangur



- Dæmi um (a) hvernig æting verður undir grímu og (b) hvernig valvísi skiptir máli þegar æta á þunna húð ofan af undirlagi
- Venjulega er krafist stefnuefni og valvísi (hlutfalli upp á 25 – 50) en því er erfitt að ná samtímis fyrir bæði stefnuefni og valvísi samtímis

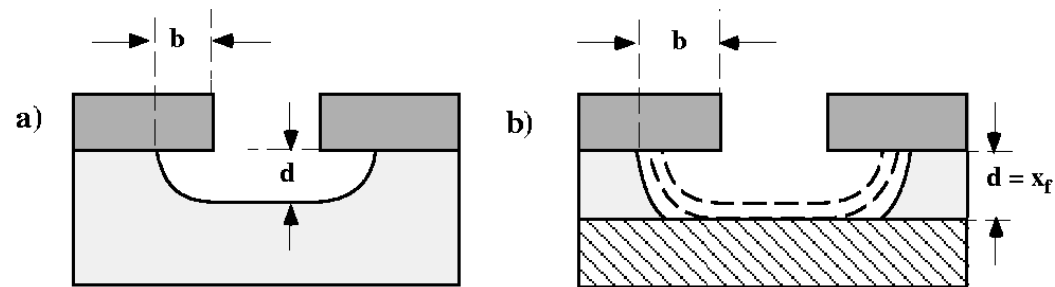
⇒ Dæmi 21.1.

Inngangur



- Almennt er í ætingu reynt að fá
 - æskilegt þversnið
 - sem minnsta ætingu undir grímu
 - valvísi á aðrar húðir og ljósviðnámslag
 - einsleitni og endurtakanleika
 - sem minnstar skemmdir á yfirborð og í rás
 - hreinleika, hagkvæmni og öryggi

Inngangur



- Það eru tvær megin aðferðir til ætingar við framleiðslu smárása
 - vot æting
 - þurr æting
- Þurr æting eða rafgas æting er ráðandi í dag

Vot æting

- Vot efnaæting er afar mikið notuð í framleiðslu smárása
- Eftir að skífan er söguð af hleifnum er efnaæting notuð við slípun yfirborðins þannig að það verði flatt og óskemmt
- Fyrir varmaoxun eða lagvöxt er yfirborð skífunnar ætt til að fjarlægja óhreinindi

Vot æting

- Vot efnaæting felur í sér þrjú skref
 - flutningur hvarfefna til yfirborðs með sveimi
 - efnahvörf við yfirborð
 - flutningur hvarfefna frá yfirborði með sveimi
- Við efnaætingu er einsleitni ætingar afar mikilvæg
- Vot efnaæting fer fram með
 - niðurdýfingu (e. immersion)
 - úðun (e. spraying)

Vot æting

- Fyrir framleiðsluferli er einsleitni ætingarhraða afar mikilvæg
- Ætingarhraði verður að vera einsleitur yfir alla skífuna og sá sami frá skífu til skífu og frá keyrslu til keyrslu
- Einsleitni ætingar er skilgreind sem

$$\frac{\text{mesti ætingarhraði} - \text{minnsti ætingarhraði}}{\text{mesti ætingarhraði} + \text{minnsti ætingarhraði}} \times 100\%$$

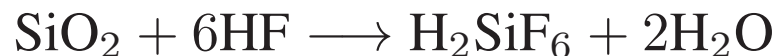
- Við vota efnaætingu á hálfleiðurum er yfirleitt byrjað með oxun og síðan er oxíðið leyst upp með efnahvarfi
- Fyrir kísilætingu er algengast að nota blöndur af
 - saltpéturssýru (e. nitric acid) HNO_3
 - flúrsýru (e. hydrofluoric acid) HFí vatni eða ediksýru (e. acetic acid) CH_3COOH

Vot æting - kísill

- Saltpéturssýra oxar kísilinn og myndar SiO₂ lag

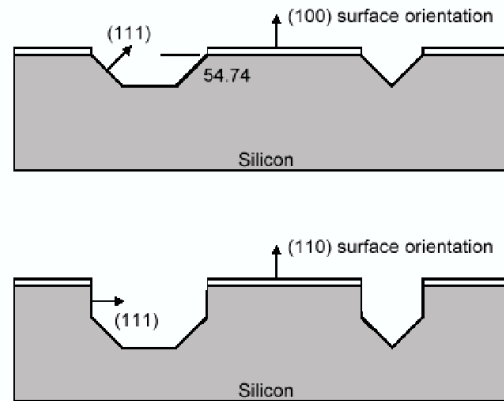


- Flúrsýra er þá notuð til að leysa upp SiO₂ lagið



- Vatn má nota til að þynna ætilausnina en betra er að nota ediksýru
- Sumar ætilausnir æta gefin kristallaplön einkristallaðs kísils mun hraðar en önnur – ætingin er stefnuháð
- Í kristallagrind hefur (111)-planið fleiri tengi á einingarflöt en (110)- og (100)-plönin og þess vegna er ætingarhraðinn hægari fyrir (111)

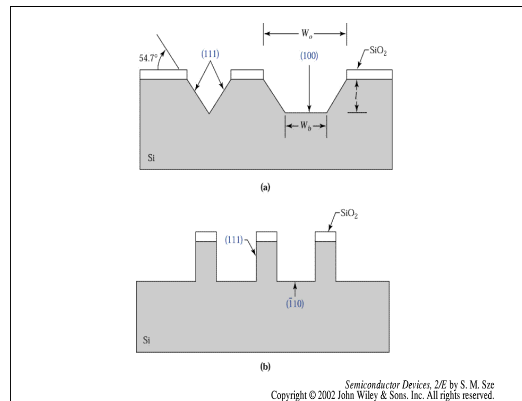
Vot æting - kísill



- Algeng stefnuháð ætillausn fyrir kísil samanstendur af KOH í vatni og isopropyl alcohol
- Lausn með 19% KOH í afjónuðu (DI) vatni við 80°C gefur ætingarhraða í hlutföllunum

(100) : (110) : (111) sem 100 : 16 : 1

Vot æting - kísill



- Stefnuháð æting á $\langle 100 \rangle$ kísli um kísiloxíð grímu gefur V-laga gróp (e. groove) með brúnir sem eru (111)-plön undir 54.7° horni eða U-laga með botnbreidd

$$W_b = W_o - 2\ell \cot 54.7^\circ = W_o - \sqrt{2}\ell$$

þar sem W_o er breidd glugga í grímu og ℓ er dýpt ætingar

- Ef ætt er í $\langle \bar{1}10 \rangle$ - kísil fást lóðréttir veggir úr (111)-plönunum

Vot æting - SiO₂

- SiO₂ er gjarnan ætt í þynntri HF lausn
- Ef NH₄F er bætt í lausnina er hún sögð buffered HF (BHF)

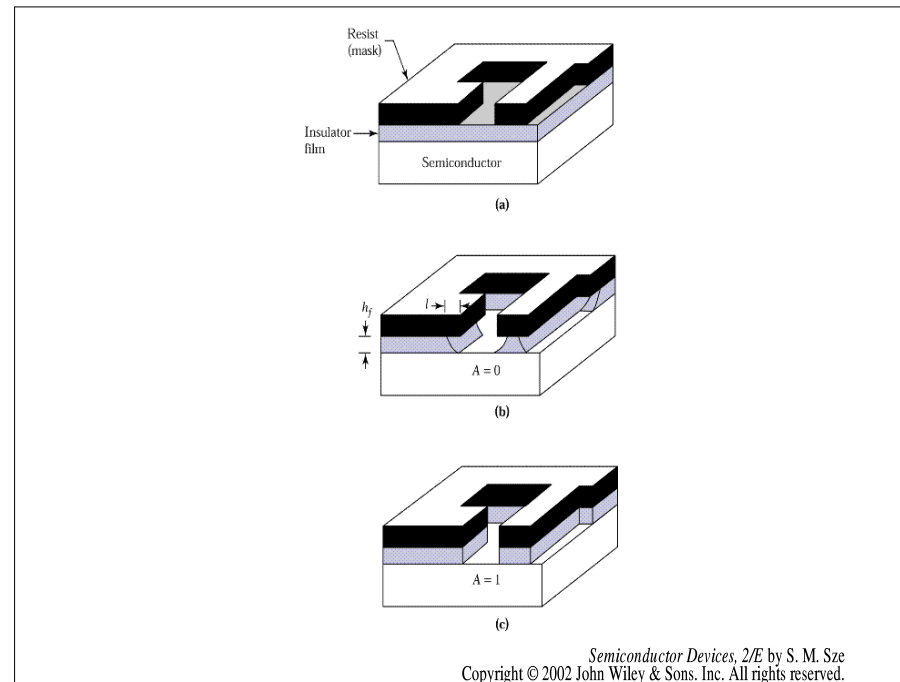
Vot æting - kísilnítíð

- Kísilnítíð er gjarnan ætt í HF eða BHF lausn við stofuhita eða sjóðandi H₃PO₄

Vot æting - poly Si

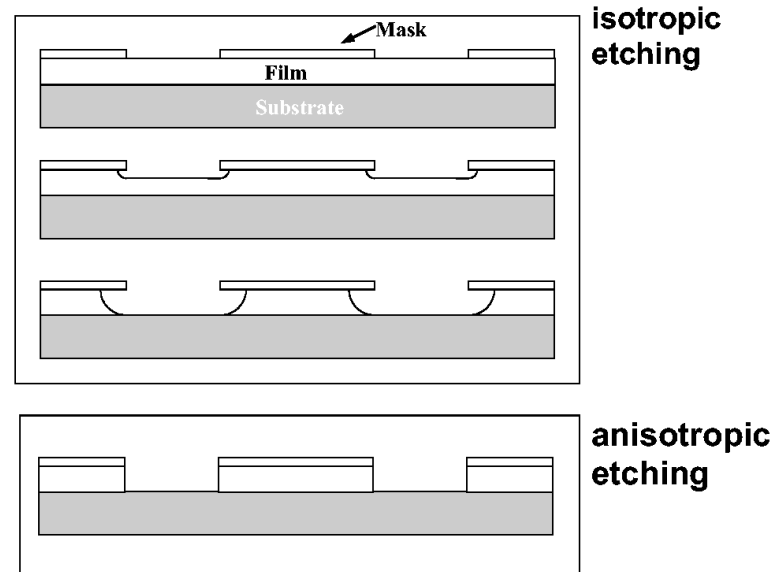
- Að æta fjölkristallaðan kísil er svipað og að æta einkristallaðan kísil nema ætingarhraði er mun hærri

Stefnuvirkni



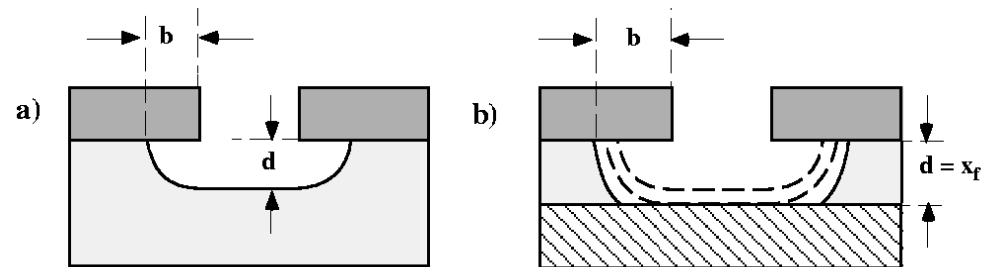
- Við mynsturflutning er mynstrið í ljósviðnámslaginu gríma fyrir ætingu á undirliggjandi lagi

Stefnurvirkni



- Flest laganna (t.d. SiO_2 , Si_3N_4 og málmar) eru myndlausar eða fjölkristallaðar húðir
- Ef þau eru ætt með votri efnaætingu er ætingarhraðinn stefnusnauður (e. isotropic)

Stefnuvirkni

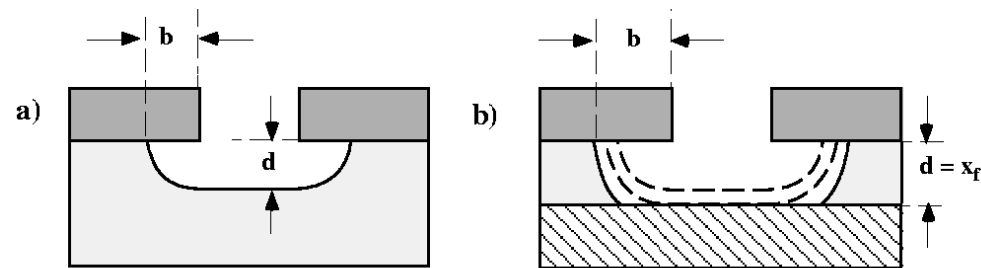


- Ef h_f er þykkt lagsins og ℓ er lateral vegalengd sem ætt er niður fyrir ljósviðnámsgrímuna þá má skilgreina stefnuvirkni (e. anisotropy) sem

$$A_f \equiv 1 - \frac{1}{h_f} = 1 - \frac{R_\ell t}{R_v} = 1 - \frac{R_\ell}{R_v} = 1 - \frac{b}{d}$$

þar sem t er tími og R_ℓ og R_v eru láréttir og lóðréttir ætingahraðar

Stefnuvirkni

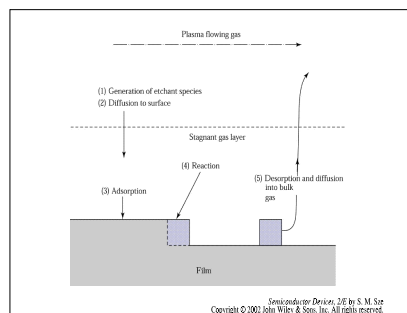


- Meginókostur votrar efnaætingar fyrir mynsturflutning er æting lárétt undir grímuna, sem veldur minni upplausn ætingarinnar
- Fyrir stefnusnauða ætingu þarf þykkt húðar að vera $1/3$ eða minna af upplausninni sem krafist er

Þurr æting

- Þurr æting eða rafgasæting var þróuð til að fá fram
 - hraðari og einfaldari ætingu
 - meiri stefnuvirkni
- Ef fá á mynstur með upplausn sem er mun minni er þykkt húðar þá þarf stefnuháða ætingu ($1 \geq A_f \geq 0$), í raun þarf $A_f \approx 1$
- Með þurri ætingu í rafgasi má ná fram þessum eiginleikum með lágþrýstum afhleðslum
- Við rafgasætingu er húð fjarlægð með yfirborðsefnahvarfi hlutlausra agna í grunnástandi eða örvaðra hlutlausra agna
- Orkumiklar jónir rafgassins hafa einnig áhrif á ætingarferlið

Þurr æting



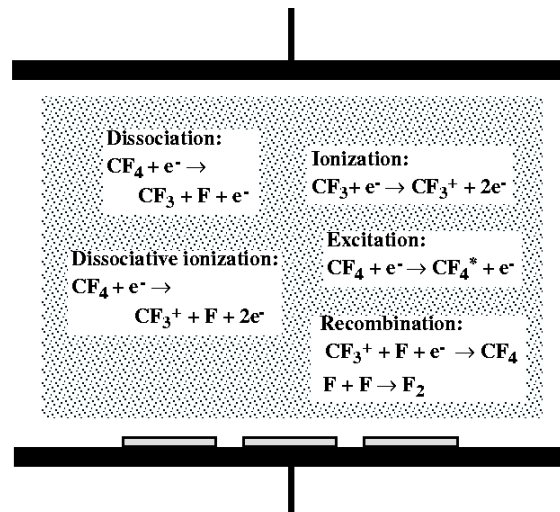
- Rafgasæting á sér stað í fimm skrefum
 - hvarfagnir myndaðar í rafgasinu
 - hvarfagnir flytjast með sveimi að yfirborðinu
 - hvarfagnir aðloðast yfirborðinu
 - efnahvarf verður með hjálp jónahríðar og rokgjarnt samband myndast
 - efnasambandið losnar frá yfirborðinu og sveimar út í rafgasið og er pumpað út

Þurr æting

- Rafgasæting er gjarnan framkvæmd í lágþrýstu rafgasi
- Tveimur megin aðferðum er beitt
 - æting með spætun
 - efnaæting
- Efnaæting og æting með spætun hafa ólíka eiginleika
- Efnaæting hefur mikinn ætingarhraða og góða valvísi (e. selectivity) en gefur stefnusnautt snið
- Spætun gefur stefnuháð snið en hefur litla valvísi auk þess sem jónahríðin getur skemmt yfirborðið
- Saman gefa þessar tvær aðferðir, stefnuháð snið, þokkalega valvísi og hæfilega óskemmd yfirborð

Purr æting

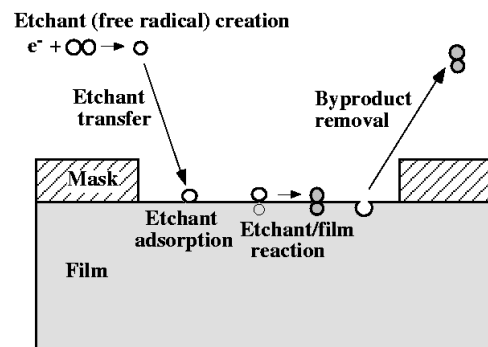
- Æting fer fram með gösum eins og CF_4 , SF_6 , Cl_2 og HBr sem oft eru þynnt með O_2
- Dæmigerð hvörf fyrir slíka afhleðslu:



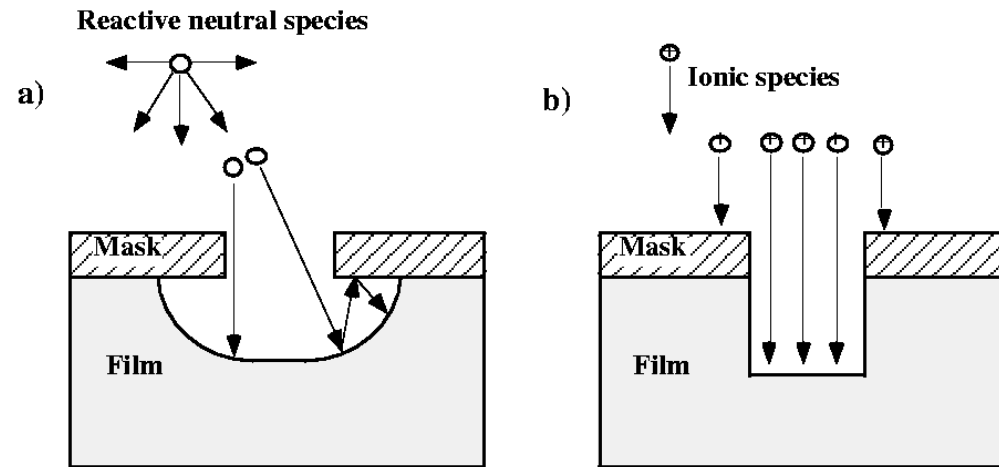
- Þéttleiki hlutlausra agna er 10^{15} cm^{-3} þar sem 1 – 10 % eru hvarfagnir og jóna- og rafeindapéttleiki er $10^8 - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$

Purr æting

- Efnaætingin fer fram með hvarfgjörnum hlutlausum ögnum t.d. F eða CF_3
- Ef O_2 er blandað í gasið hvarfast það við CF_3 sem dregur úr sumruna $\text{CF}_3 + \text{F}$ sem leiðir til hærri ætingarhraða
- Þessi ferli eru efnafræðileg og þess vegna stefnusnauð eins og vot æting



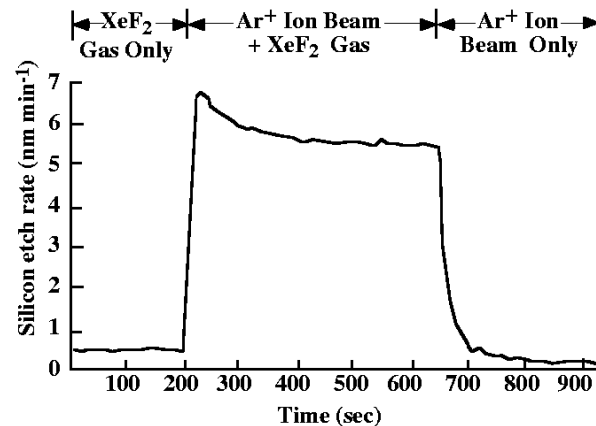
Þurr æting



- Jónaæting er stefnuháðari
- Ætingin fer fram með því að jónir eins og CF_4^+ og Ar^+ fjarlægja efnið með spætun
- Valvísi er léleg í þessu ferli og skemmdir geta orðið á yfirborðum

Þurr æting

- Það er vel þekkt að efnahvarf hlutlausra agna sem og jónirnar frá rafgasinu spila saman í ætingunni

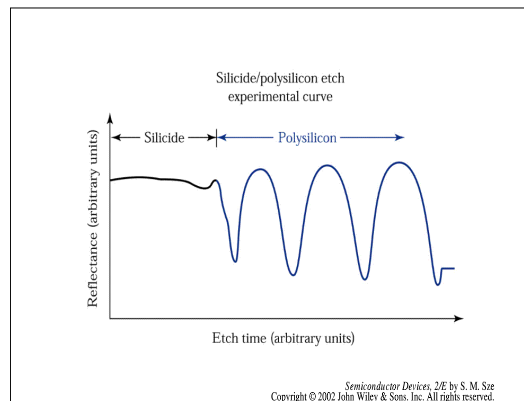


- Ætingarhraði kísils í XeF₂ gasi og þegar Ar⁺ jónum er beint að yfirborðinu
- Aðeins þegar hvorutveggja er fyrir hendi er ætingarhraðinn ásættanlegur

Þurr æting

- Rafgas geislar út ljósi á bylgjulengdum frá innrauðu til útfjólublás
- Litrófsgreining á þessari útgeislun gefur upplýsingar um hvaða hlutlausar agnir og jónir séu til staðar í rafgasinu
- Við þurra ætingu er valvísi takmörkuð
- Þess vegna er samliðumælingu (e. interferometry) beitt samfelld á yfirborði skífunnar til að meta ætingarhraða og ákvarða endapunkt
- Á meðan á ætingu stendur sveiflast styrkur ljóssins sem speglað er af yfirborðum þunnra húða
- Þetta er vegna víxverkunar fasa milli ljóss sem endurkastast frá ytri- og innri samskeytum hins ætta lags
- Húðin verður þess vegna að vera gegnsæ eða hálfgegnsæ

Þurr æting



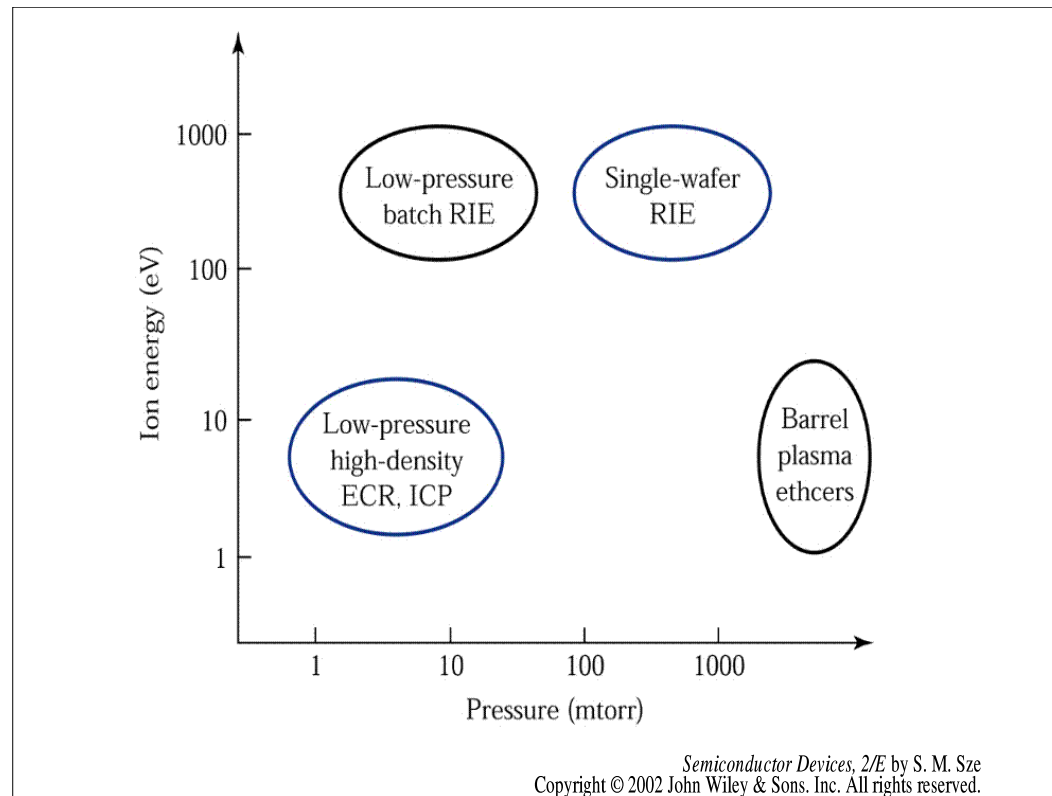
- Myndin sýnir dæmigert merki frá silicide/poly-Si ætingu
- Lota sveiflanna er tengd þykkt húðarinnar

$$\Delta d = \lambda / 2\bar{n}$$

þar sem Δd er breyting í þykkt húðar fyrir eina lotu, λ er bylgjulengd ljóssins og \bar{n} er brotstuðull ætta lagsins

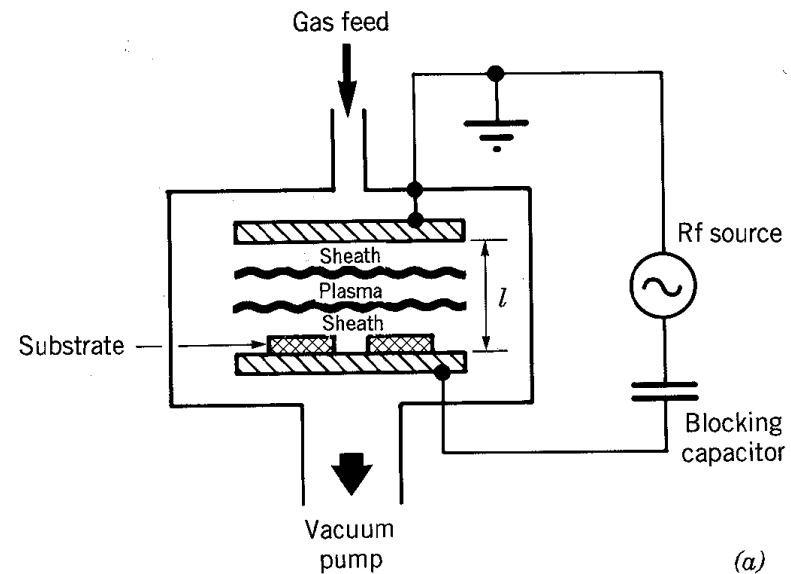
- Endapunktur þekkist á því að speglunarsveiflurnar hverfa

Þurr æting



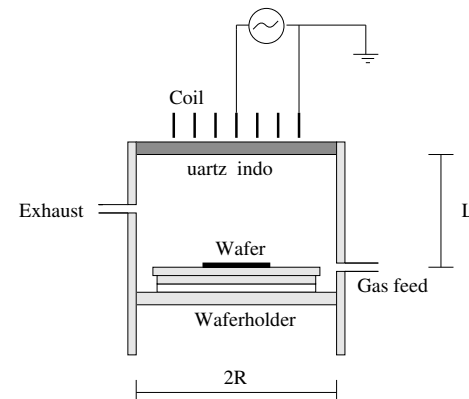
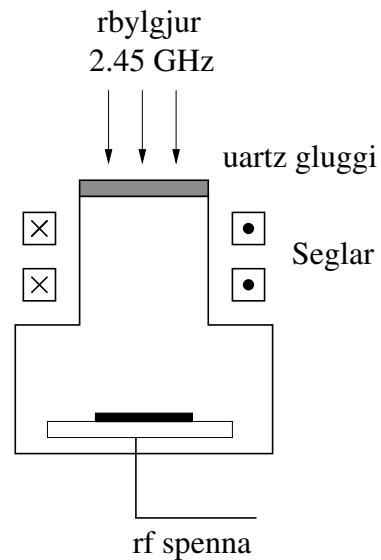
- Samanburður á vinnuþrýstingi og hröðunarorku jóna fyrir algengar afhleðslur

Þurr æting



- Rýmdarafhleðsla var notuð í áratugi og stundum nefnd Reactive Ion Etcher (RIE)
- Þá er notuð rf drifspenna við 13.56 MHz

Þurr æting

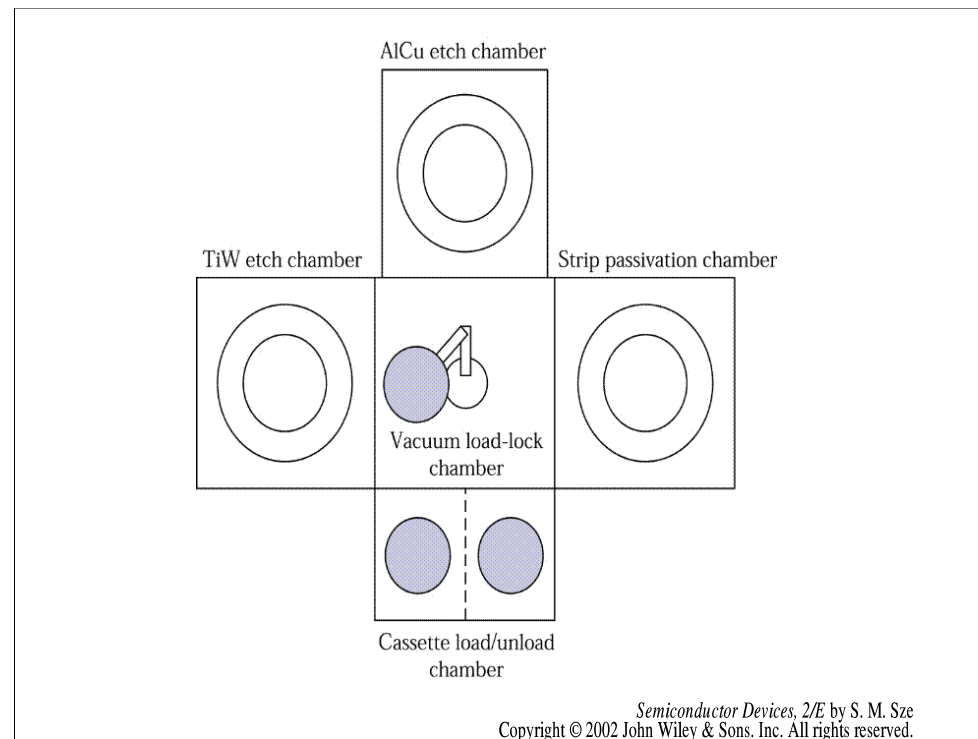


- Í hringhraðalafhleðslu (e. electron cyclotron resonance (ECR)) er örbylgjuafli notað til að mynda rafgas
- Flöt spanafhleðsla er drifin á 13.56 MHz
- Báðar þessar aðferðir til að mynda rafgasið gefa færi á óháðri stýringu á þéttleika rafgass og orku jóna

Þurr æting

- Hálfleiðaraskífur eru framleiddar í hreinherbergjum til að sem minnst snerting sé við andrúmsloft
- Með smækkandi tólum er hreinlæti enn meira áríðandi
- Til að draga úr snertingu skífa við umhverfið og líkum á mögulegri mengun eru nú gjarna settar upp þyrpingar af rafgastólum og skífurnar ferðast á milli rafgasklefa í lofttæmi
- Slíkar þyrpingar auka framleiðni þar sem chip yield hækkar

Þurr æting



- Myndin sýnir þyrpingu þar sem æting fer fram á marglaga tengjum (TiW/AlCu/TiW) með AlCu ætingarklefa, TiW ætingarklefa og klefa sem hreinsar hlífðarlag

Þurr æting



- Dæmigerð uppsetning á þyrpingu
- Umhverfis sýnaskiptaklefan sitja afhleðslurnar

Þurr æting

- Dæmigerðar efnablöndur til ætingar í rafgasi

Djúpar raufir í Si	HBr/NF ₃ /O ₂ /SF ₆
Grunnar raufir í Si	HBr/Cl ₂ /O ₂
W	SF ₆
TiW	SF ₆
Al	BCl ₃ /Cl ₂ , HBr/Cl ₂
Si ₃ N ₄	CHF ₃ /O ₂ , CH ₂ F ₂ , CH ₂ CHF ₂
SiO ₂	CF ₄ /CHF ₃ /Ar, C ₂ F ₆ , C ₃ F ₈
Poly-Si	HBr/Cl ₂ /O ₂ , HBr/O ₂ , SF ₆
Ljósviðnámslag	O ₂

⇒ Dæmi 21.2.

⇒ Dæmi 21.3.

Heimildir

- [1] S. M. Sze, *Semiconductor devices: Physics and technology*, John Wiley & Sons, 2 ed., 2002. kaffi 12.3 - 12.4.
- [2] James D. Plummer, Michael D. Deal, and Peter B. Griffin, *Silicon VLSI Technology: Fundamentals, Practice, and Modeling*, Prentice Hall, 2000, kaffi 10