Veikt jónað rafgas: Kennistærðir og notkun

Jón Tómas Guðmundsson

Raunvísindastofnun Háskólans

IS-107 Reykjavík

tumi@hi.is

18. september 1999

Yfirlit

- Almennt um rafgas
- Hagnýting rafgass
- Kennistærðir rafgass
- Rafgas og afhleðslur
- Kennistærðir rafeinda
- Orkudreifing jóna
- Samantekt

Rafgas

- Rafgas er hlut- eða full jónað gas sem inniheldur rafeindir, jónir, hlutlausar frumeindir og sameindir
  - Argon rafgas samanstendur af

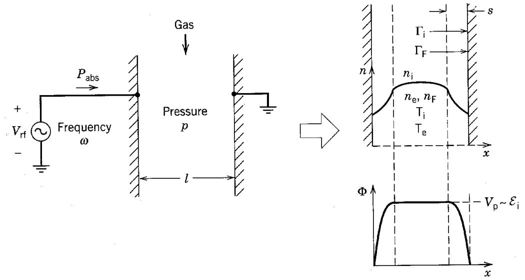
    e, Ar, Ar^+, Ar^*,...
  - Súrefnisrafgas samanstendur af

    e, O, O_2, O_2^+, O^+, O_2^-, O^-, O_2^*, O^*, ...
- Veikt jónað rafgas er drifið rafrænt og álagt afl hitar fremur upp rafeindirnar sem eru léttar og hreyfanlegar
- Rafeindir og jónir eru ekki í varmajafnvægi

Kennistærðir rafgass

Rafgasið hefur eftirfarandi eiginleika (kennistærðir)

- Rafeindaþéttleiki n_e og jónaþéttleiki n_i
- Refeindahitastig T_e er mælikvarði á meðalorku rafeinda í gasinu
- Rafgas, sem er nærhlutlaust ($n_i \approx n_e$), tengist yfirborðum um jákvætt hlaðið lag, nefnt slíður (e. sheath) af þykkt s
- Á milli rafgasbolsins og yfirborðsins er mætti, rafgasmættið, V_{pl}



Kennistærðir rafgass

Gefnar stýristærðirnar

- Gasþrýstingur p
- Afl P_{abs} eða spenna V_{rf}
- Driftíðni ω
- Stærð afhleðslunnar R og L

þá fýsir okkur að vita

- Flæði jóna og atóma til yfirborðs Γ_i, Γ_n
- Orkudreifingu jóna og stefnu $f(\mathcal{E}_i)$
- Orkudreifingu rafeinda $f(\mathcal{E}_e)$
- Þykkt slíðursins s

Framleiðsla með rafgasi

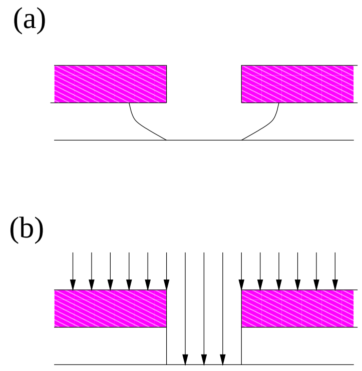
- Framleiðsla smárása
- Framleiðsla einstæðra efna
- Herðing tóla
- Ræktun myndlausra kísilhúða
- Ræktun segulmagnaðra húða

Framleiðsla með rafgasi

- Megin notkunarsvið rafgasa í framleiðslu er í rafeindaiðnaðinum (smárásir) [1]
- Rafgös eru notuð til að æta í hálfleiðara, málma og rafsvara
- Með rafgösum eru ræktaðar þunnar húðir úr hálfleiðurum, málmum og rafsvörum
- Rafgasefnafræðin er flókin, þar fara saman hlutlausar og hlaðnar agnir
- Orkudreifing rafeindanna gegnir þar lykilhlutverki
- Samspil jóna og hvarfgjarnra frumeinda og sameinda er virkara í ætingu og ræktun en jónir og hvarfgjarnar eindir einar sér

Framleiðsla með rafgasi

- Þegar tól á smárásum fara síminnkandi (nú < 0.35 μm) verður sífellt að bæta framleiðsluferlin
- Þetta varð til þess að iðnaðurinn færði sig úr votri ætingu í þurra

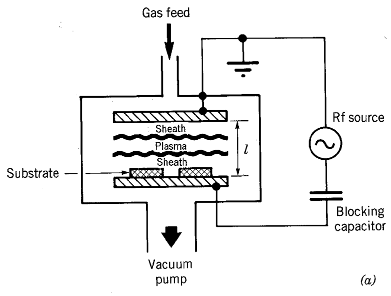


- Ætingarþversnið (a) vot eða efnaæting og (b) þurr eða rafgas æting

Rafgas og afhleðslur

Rýmdarafhleðsla (e. Capacitive discharge)

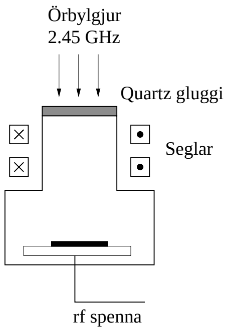
- Framan af var þurr æting framkvæmd í rýmdarafhleðslu þar sem saman fór jónahríð og hvarfgjarnar hlutlausar eindir (frumeindir og sameindir)
- Jónaþéttleiki ræðst af rf spennunni sem lögð er á milli platnanna (plötuþéttir). Jónaþéttleika og orku jónanna er því ekki hægt að stjórna óháð hvoru öðru



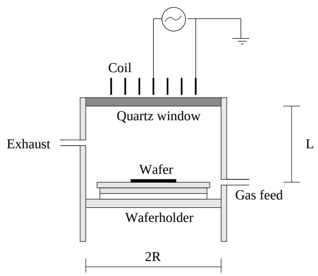
- Rýmdarafhleðslan var ráðandi í iðnaðinum fram til um 1994

Rafgas og afhleðslur

Hringhraðalafhleðsla (e. Electron cylclotron resonance (ECR) discharge)



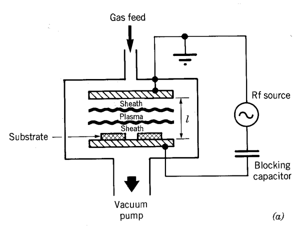
Spanafhleðsla (e. Inductively coupled discharge)

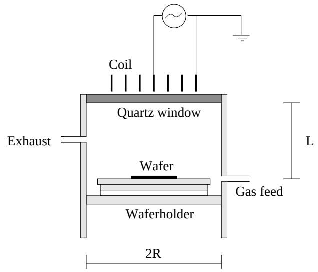


Rafgas og afhleðslur

- Til að auka framleiðslugetu og fá betri stýringu á framleiðslunni hafa verið þróaðar nýjar afhleðslur fyrir rafeindaiðnaðinn [2]
- Spanafhleðsla og ECR afhleðsla hafa 1 – 2 stærðargráðum hærri jónaþéttleika en rýmdarafhleðsla
- Orka jóna er um stærðargráðu lægri (og stýranleg)
- Í þessum nýju afhleðslum er óháð stjórn á jónaþéttleika og orku jóna
  - Jónaþéttleika er stjórnað með afli til spanspólu (eða örbylgjuafli)
  - Orku jóna er stjórnað með rf spennu sem lögð er á sýnahaldarann
- Spanafhleðsla er nú ráðandi í rafeindaiðnaðinum

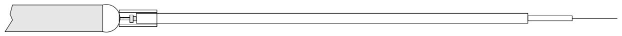
Rafgas og afhleðslur



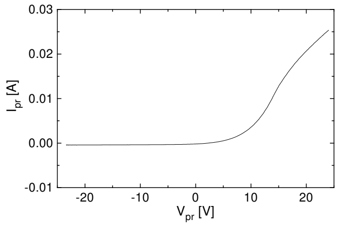


	Rýmdarafhleðsla	Hærri þéttleiki
Þrýstingur [mTorr]	10 – 1000	0.5 –50
Afl [W]	50 – 2000	100 – 5000
Driftíðni [Mhz]	0.05 – 13.56	0 – 2450
Rafeindaþéttleiki [cm^{-3}]	$10^{9} - 10^{10}$	$10^{10} - 10^{12}$
Rafeindahitastig [eV]	1 – 5	2 –7
Orka jóna [V]	200 – 1000	< 100

Langmuirnemi

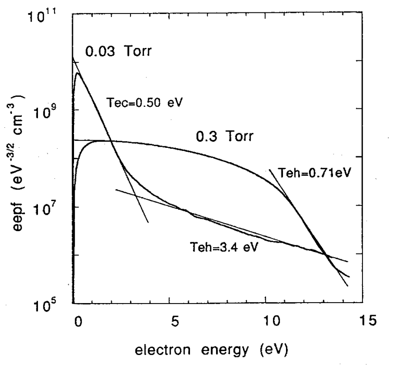


- Einfaldur vír sem stungið er inn í rafgasið



- $I - V$ kennilínan gefur
  - rafeindaþéttleika n_e
  - rafeindahitastig T_{eff}
  - rafgasmættið V_{pl}
  - orkudreififall rafeindanna (EEDF)

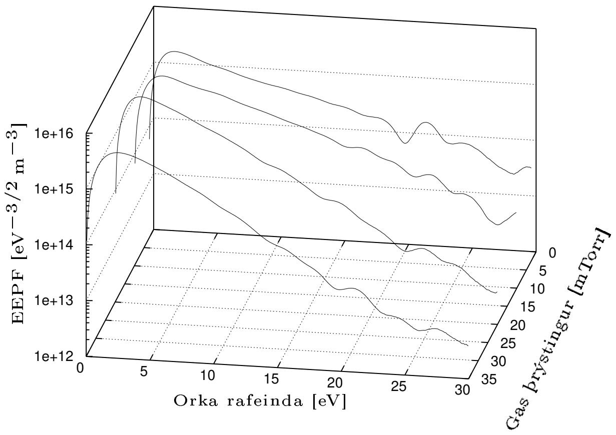
Rafeindir-Rýmdarafhleðsla



Líkindadreifing orku rafeindanna (EEPF) í miðju argon rýmdarafhleðslu mæld með Langmuir nema við 30 og 300 mTorr þrýsting [3].

Líkindadreifingunni má lýsa með summu tveggja Maxwell dreifinga við lágan gasþrýsting og hún verður líkari Druyvesteyn dreifingu þegar gasþrýstingur hækkar.

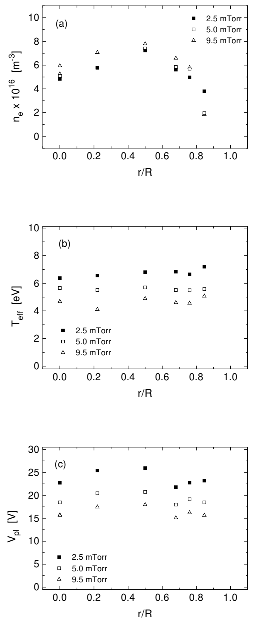
Rafeindir-Spanafhleðsla



Líkindadreifing orku rafeindanna (EEPF) í miðju spanaðrar súrefnisafhleðslu við 720 W mæld með Langmuir nema við 2.5, 10, 20 og 35 mTorr þrýsting.

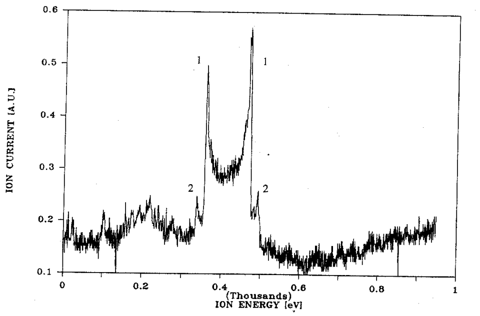
Orkudreifing rafeindanna hlítir Maxwell dreifingu við lágan gasþrýsting og víkur frá henni þegar þrýstingur er hækkaður.

Rafeindir-Spanafhleðsla



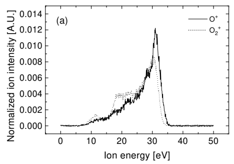
Hegðun kennistærða eftir radía spanaðrar súrefnisafhleðslu við 720 W, mældum með Langmuir nema, (a) rafeindaþéttleiki n_e (b) virkt rafeindahitastig T_{eff} og (c) dc rafgasmætti.

Jónir-Rýmdarafhleðsla

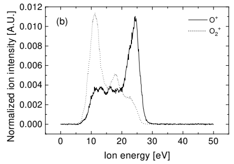


Orkudreifing jóna frá rýmdarafhleðslu í súrefni við 1000 W og 2 mTorr gasþrýsting. Toppar merktir 1 stafa frá orkudreifingu O_2^+ jóna og toppar merktir 2 stafa frá orkudreifingu O^+ jóna [4]

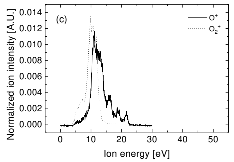
Jónir-Spanafhleðsla



3 mTorr



7 mTorr

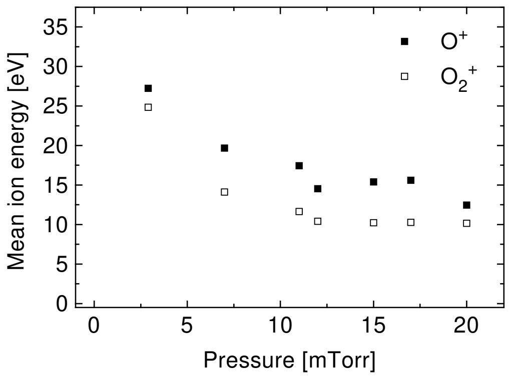


20 mTorr

Orkudreifing jóna frá spanaðri súrefnisafhleðslu við 675 W mælt við 3, 7 og 20 mTorr þrýsting [5].

Orka jónanna þegar þær lenda á yfirborði er mæld með massa- og orkugreini

Jónir-Spanafhleðsla



Meðalorka O^+ og O_2^+ jóna í súrefnisrafgasi við 565 W mæld sem fall af gasþrýstingi í flatri spanafhleðslu

Orka jóna

$$\mathcal{E}_i = \frac{T_e}{2} + V_{pl} + V_{rf}\sin(\omega t)$$

Samantekt

- Farið var yfir helstu kennistærðir rafgass
- Fjallað var um Langmuirnema og notkun þeirra til að mæla kennistærðir rafeinda í afhleðslum
- Sýndar voru og bornar saman niðurstöður mælinga á orkudreifingu jóna frá rýmdar- og spanafhleðslu

References

[1] D. B. Graves. Plasma processing. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 22:31 – 42, 1994.

[2] M. A. Lieberman and R. A. Gottscho. Design of high-density plasma sources for materials processing. In M. Francombe and J. Vossen, editors, *Physics of Thin Films, vol. 18*, pages 1 – 119. 1994.

[3] V. A. Godyak, R. B. Piejak, and B. M. Alexandrovich. Probe diagnostics of non-maxwellian plasmas. *Journal of Applied Physics*, 73:3657 – 3663, 1993.

[4] A. D. Kuypers and H. J. Hopman. Ion energy measurements at the powered electrode in an rf discharge. *Journal of Applied Physics*, 63:1894 – 1898, 1988.

[5] J. T. Gudmundsson. The ion energy distribution in a planar inductive oxygen discharge. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 32:798 – 803, 1999.