

Segulspætur

Jón Tómas Guðmundsson

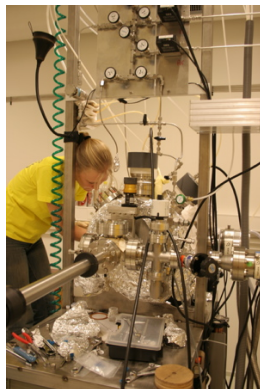
Raunvísindastofnun Háskólans,
Verkfræðideild, Háskóli Íslands

tumi@hi.is

Raunvísindastofnun Háskólans, Eðlisfræðistofa,
23. júní 2006

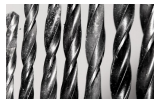
Yfirlit

- Almennt um spætun
- Almennt um rafgas
- Kennistærðir rafgass
- dc spætur
- Segulspætur
- Endurbætur á segulspætutækni
- Púlsuð segulspæta
- Samantekt



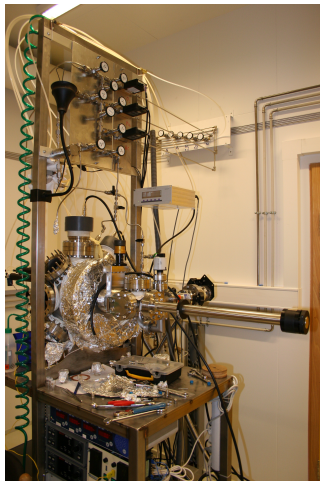
Spætun

- Spætun er víða notuð við ræktun þunnra húða sem hafa nýja efnis- eða yfirborðseiginleika
- Dæmi um slíkar húðir eru
 - Í smárásum (e. integrated circuits)
 - Segulefni
 - Harðar húðir
 - Núningsfletir
 - Húðir fyrir ljóstækni (e. optical coating)
 - Skrauthúðir
 - Slitþolnar húðir
 - Tæringarvörn



Spætun

- Segulspætur gegna veigamiklu hlutverki í framleiðslu þunnra húða
- Myndin sýnir segulspætu á Raunvísindastofnun Háskólans

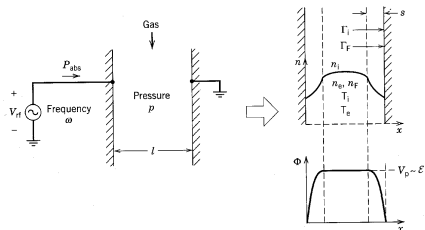


Rafgas

- Rafgas er hlut- eða full jónað gas sem inniheldur rafeindir, jónir, hlutlausar frumeindir og sameindir
- Í hlutjónuðu rafgasi eru rafeindir, sameindir og jónir almennt ekki í varmajafnvægi
- Rafgasefnafræðin getur verið flókin
 - Argon rafgas samanstendur af
e, Ar, Ar^+ , Ar^* ,...
 - Súrefnisrafgas samanstendur af
e, O, O_2 , O_2^+ , O^+ , O_2^- , O^- , O_2^* , O^* ,
 - SF_6 rafgas samanstendur af
e, SF_6 , SF_5^+ , SF_4^+ , SF_3^+ , F^+ , F^- , F^* , F_2 , F ,....

Kennistærðir rafgass

- Rafgasið hefur eftirfarandi eiginleika (kennistærðir)
 - Rafeindapéttleiki n_e og jónapéttleiki n_i
 - Rafeindahitastig T_e er mælikvarði á meðalorku rafeinda í gasinu og ákvarðar efnafræðina
 - 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 myndast mætti, rafgasmættið, V_{pl}



Kennistærðir rafgass

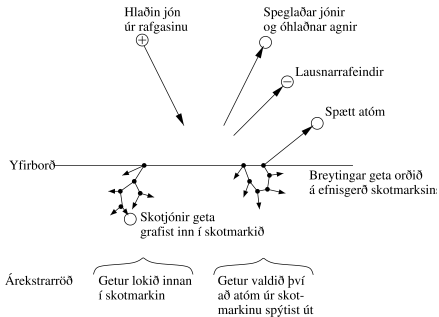
- Gefnar stýristærðirnar
 - Gasprýstingur p
 - Afl P_{abs} eða spenna á bakskautið V_{target}
 - Stærð afhleðslunnar R og L

Þá fýsir okkur að vita

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

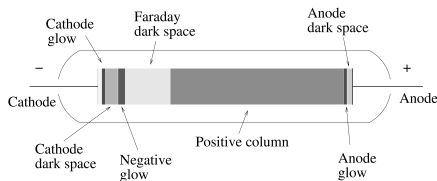
dc spæta

- Spættun var uppgötvuð 1852
- Jón með orku 50 – 1000 eV spætir atóm og losar rafeindir úr skotmarki
- Þetta má gera með því að hraða jón úr rafgasi sem þá er myndað milli tveggja skauta sem á er lögð dc spenna



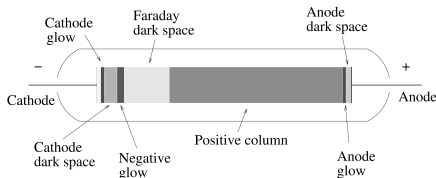
Mynd frá Ólafsson and Arnalds (1999)

dc spæta



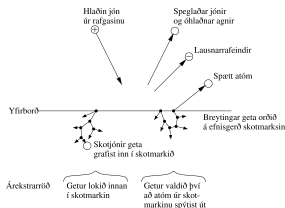
- Dæmigerð dc afhleðsla samanstendur af jákvæðu forskauti og neikvæðu bakskauti sem komið er fyrir í löngum lofttæmdum glersívalningi
- Argon er oftast notað sem spætunargas vegna óhvarfgirni þess og hæfilegs massa til spætunar
- Hún vinnur á þrýstingsbilinu 10 mTorr upp í 10 Torr

dc spæta



- Til að viðhalda rafgasi þarf spenna á milli skauta að vera nokkur hundruð volt
- Spennan fellur fyrst og fremst yfir slíðursvæðið næst bakskautinu
- Rafeindirnar sem bera mest af straumnum í jákvæðu súlunni ná ekki að bakskautinu
- Jónirnar eru þungar og geta ekki borið þennan straum

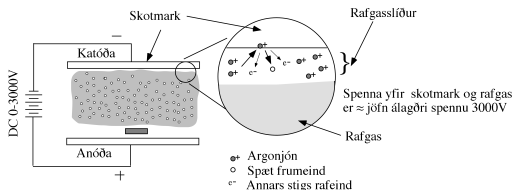
dc spæta



Mynd frá Ólafsson and Arnalds (1999)

- Afhleðslunni er viðhaldið með lausnarrafeindum sem er geislað út frá bakskautinu (skotmarkinu) við árekstur jóna sem hraðað er yfir slíðrið
- Fyrir hverja argonjón losna 0.1 – 3 lausnarrafeindir frá bakskautinu
- Skotmarkinu (bakskautinu) er haldið við háa neikvæða spennu og lausnarrafeindunum er hraðað yfir slíðrið með upphafsorku sem samsvarar mættinu yfir slíðrið

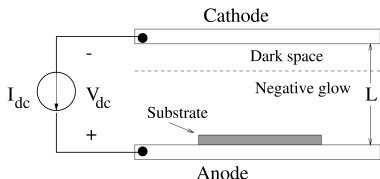
dc spæta



Mynd frá Ólafsson and Arnalds (1999)

- Þessar rafeindir jóna atóm sem aftur er hraðað yfir slíðrið að skotmarkinu og losa þar fleiri lausnarrafeindir
- Straumur byggist upp með jónun innan slíðursins vegna lausnarrafeinda

dc spæta



- Dæmigerð útfærsla á dc spætu hefur $L/R \leq 1$ og er sívalningslaga
- Bilið milli bakskauts og forskauts er um $L \sim 5$ cm
- Jákvæða súlan er oftast ekki fyrir hendi í svo stuttri afhleðslu og spennan fellur nær öll yfir slíðrið við baksakutið
- Oftast er notað Ar gas
- Straumi haldið föstum á meðan ræktað er
- Undirlagið, sem ræktað er á, hvílir á forskautinu

dc spæta

- Til að mynda þetta húð með ásættanlegum ræktunarhraða ($\sim 350 \text{ Å/min}$) þarf jónapéttleika $\geq 1 \text{ mA/cm}^2$
- Afhleðslan þarf að vinna við $V_{\text{dc}} \sim 2 - 5 \text{ kV}$
- Einnig verður gasprýstingur að vera nægilega hár til að lausnarrafeindirnar nái ekki að forskautinu eða að jarðtengdum yfirborðum
- Þessi gasprýstingur er hærri en heppilegt er til ræktunar með spættu atómum vegna dreifingar frá atómum gassins
- Það er því á þröngu þrýstingsbili umhverfis 30 mTorr sem dc spættun er nothæf

dc spæta

- Ókostir við dc spætun eru
 - Lítil ræktunarhraði
 - Lítil jónun
 - Mikil upphitun undirlags
- Æskilegt er að láta spætuna vinna við
 - hærri straumpéttleika
 - lægri spennu
 - lægri gasprýsting

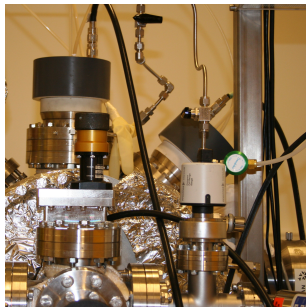
en hægt er að fá í dc spætu

Segulspæta

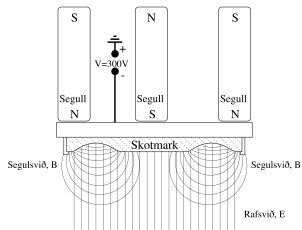
- Segulspætan var þróuð til að auka spætun og þar með ræktunarhraða
- Í segulspætu er þéttu rafgasi haldið við bakskautið með segulsviði
- Segulsvið hremmir orkumiklar jónandi rafeindir nærri bakskautinu, sem viðhalda rafgasinu
- Jónahríð frá rafgasinu spætir atóm frá bakskautinu (skotmarkinu) og spættar agnir falla á yfirborð og mynda húð
- Skotmarkið er umlukið þéttu rafgasi en undirlagið, sem á er ræktað, situr í veikara rafgasi

Segulspæta

- dc segulspætur eru víða notaðar til að mynda málmhúðir úr t.d. áli, gulli, þungsteini og ýmsum melmum
- Þegar rf aflgjafi er tengdur yfir skautin má rækta þunnar oxíð-, nítríð- og keramíkhúðir
- Aukin þörf fyrir ný efni og fjöllaga ræktun hafa leitt til þróunar fullkomnari spætukerfa



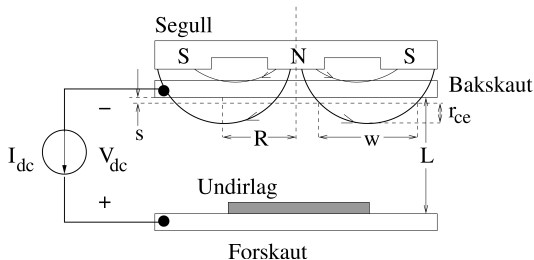
Segulspæta



Mynd frá Ólafsson and Arnalds (1999)

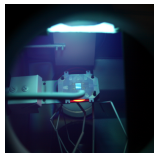
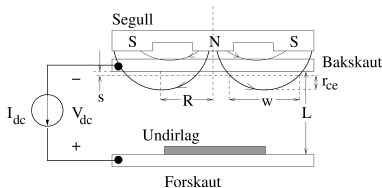
- Í segulspætu er dvalartími og brautarlengd rafeindanna í rafgasinu lengdur og þar með fjölgað árekstrum þeirra við gasatómin
- Þetta er gert með því að koma fyrir sísegli ofan við bakskautið
- Segulsviðið er nærri hornrétt á rafsviðið milli skautanna
- Segulsviðið hremmir lausnarrafeindirnar sem ferðast nú eftir spírallega brautum

Segulspæta



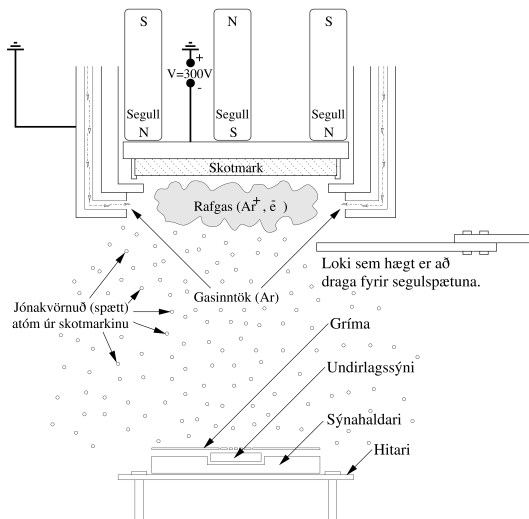
- Dæmigerð flöt ($L/R \leq 1$) segulspæta er sýnd hér að ofan
- Sísegglarnir ofan við bakskautið mynda segulsviðslínur sem koma út um mitt bakskautið og lokast við jaðra þess
- Segulsviðið hefur aðeins áhrif á rafeindirnar þegar það er af þeim styrk sem gjarnan er notaður í segulspætum
- Rafgasið er myndað ef > 200 V neikvæð spenna er lögð á bakskautið

Segulspæta



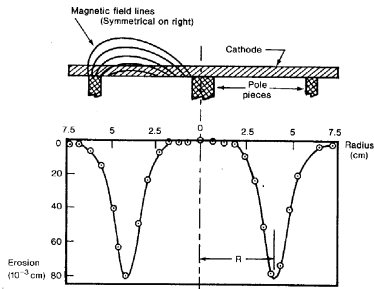
- Afhleðslan sést sem lýsandi hringur af breidd w og meðalradía R sem hangir neðan við bakskautið
- Í þessum hring er jónapétteleikinn hæstur
- Spætunin á sér stað undir þessum hring
- Rafgasið næst bakskautinu hefur háan jónapétteleika ($10^{18} - 10^{19} \text{ m}^{-3}$)
- Í nánd við undirlagið sem ræktað er á er pétteleiki jóna nokkrum stærðargráðum lægri ($10^{15} - 10^{16} \text{ m}^{-3}$)
- Hlutfall málmjóna og atóma er þar tiltölulega lágt ($\sim 1\%$)

Segulspæta



Mynd frá Ólafsson and Arnalds (1999)

Segulspæta



Mynd frá Chapin (1974)

- Staðbundið rof (e. erosion) skotmarksins er afleiðing hins sterka segulsviðs sem situr að baki skotmarksins
- Þetta tiltekna segulsvið gefur rofsnið sem er þannig að aðeins 26 % skotmarksins eru nýttast

Segulspæta

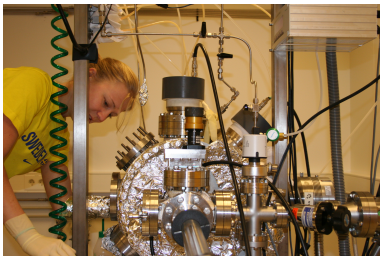
- Ræktunarhraðanum er stýrt með afli til bakskauts eða spennu milli skauta
- Straum-spennu kennilína fylgir gjarnan

$$I = kV^n$$

þar sem I er straumur til bakskauts og V er álögð bakskautsspenna

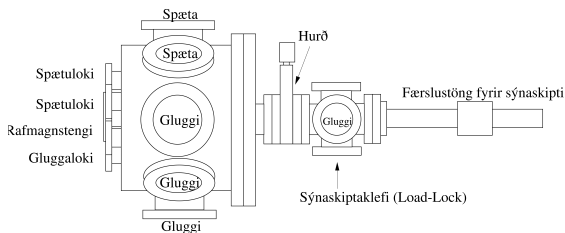
- Því betur sem segulsviðið hremmir rafeindirnar því hærri er veldisvísirinn n
- Veldisvísirinn n liggur á bilinu 5 – 15, hefur lág gildi þegar afhleðslan er við mjög lágan gasþrýsting eða segulsviðið er af lágum styrk

Segulspæta



- Í dæmigerðri segulspætu eru spennan og straumurinn tengdar stærðir
- Aukinn ræktunarhraði þýðir þá að auka verður spennuna á bakskautið til að auka þéttleika rafgassins

Segulspæta - gallar



• Dæmigerðar vinnustærðir fyrir segulspætu

- $B_0 \sim 200 - 400$ Gauss
- $p \sim 1 - 5$ mTorr
- $\bar{J}_i \sim 10 - 50$ mA/cm²
- $V_{dc} \sim 500 - 1000$ V
- Ræktunarhraði ~ 2000 Å/min

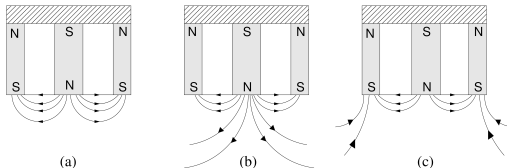
Segulspæta - gallar

- Gallar á dc segulspætum
 - Léleg nýting á skotmarki (25 – 30 % er notað)
 - Mengun á skotmarki (myndun einangrandi húðar við hvarfaspætun)
 - Varmaálag á skotmarki
 - Lágur ræktunarhraði þegar ræktaðir eru rafsvavar og segulmögnuð efni
 - Raffræðilegur óstöðugleiki eða ljósbogar (e. arcs)

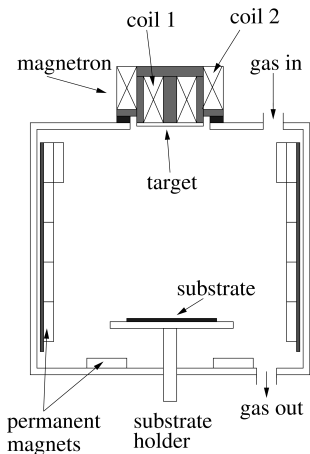
Segulspæta

- Sum ofangreindra vandamála má leysa með því að
 - púlsa spennuna
 - auka jónunina
 - breytilegri hremmingu rafeindanna af segulsviðinu
- Nokkrar lausnir á ofangreindum takmörkunum:
 - Ójöfnuð segulspæta
 - Fjölpóla seglar
 - Innri spanspóla
 - Ytri spanspóla
 - Ósamhverf púlsum
 - Háaflspúlsum

Segulspæta - ójöfnuð

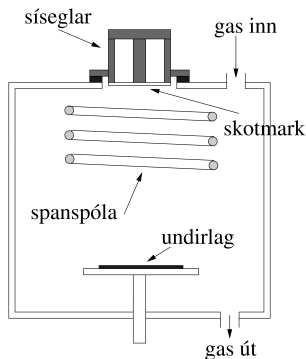


- Ójöfnuð segulspæta (e. unbalanced) var þróuð til þess að auka jónastraum í nágrenni undirlagsins sem ræktað er á
- Í ójafnaðari segulspætu er segulsviðið á ytri hringnum aukið eða minnkað með tilliti til miðjunnar
- Þannig lokast ekki allar segulsviðslínurnar við miðju og ytri póla segulspætunnar og eitthvað af lausnarrafeindunum fylgja þessum sviðslínum
- Rafgasið er þannig ekki aðeins bundið svæðinu næst skotmarkinu heldur flæðir það í átt að undirlaginu



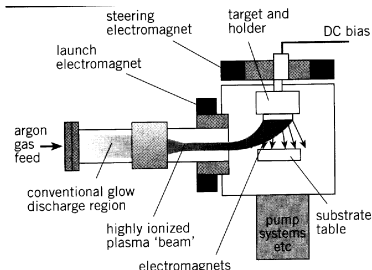
- Ein leið til að auka flæði jóna til undirlagsins er að koma fyrir fjölpóla seglum
- Með fjölpóla seglum á veggjum afhleðslunnar má draga úr töpum jóna til veggja
- Með samspili breytilegrar ójöfnunnar getur jónastraumurinn næst undirlaginu verið stýranlegur

Segulspæta - innri spanspóla



- Til að auka hlutfall jónunar í nágrenni undirlagsins má setja rf spanspólu á milli bakskauts og forskauts
- Hennar hlutverk er að jóna málmatómin sem spætt eru úr skotmarkinu
- Þá má hraða málmjónum að undirlaginu með lítilli neikvæðri spennu, málmjónirnar lenda þá hornrétt á undirlaginu og hafa stýranlega orku
- Jónun málmatómanna getur verið 80 – 90 % við undirlagið

Segulspæta - ytri spanspóla



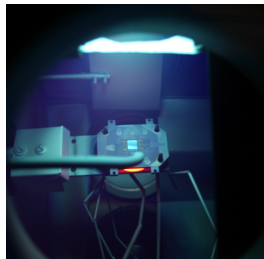
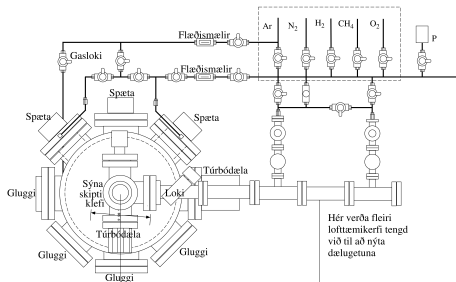
Mynd frá Valeron (2000)

- Rafgas er myndað í sívalningslaga spanafhleðslu (til vinstri á mynd)
- Segullinsur skerpa rafeindirnar í sterkan geisla og beina þeim að skotmarkinu
- Jákvæðum jónum sem myndast í afhleðslunni er hraðað að skotmarkinu af neikvæðu bakskautsspennunni

Segulspæta - rf

- Ekki er hægt að nota skotmörk úr einangrurum til spætunar í dc segulspætu, þar sem hleðsla safnast upp á þeim
- Þar með lækkar orka þeirra jóna sem lenda á skotmarkinu
- Þetta má hindra með því að nota riðspennu, sem þá er gjarnan á útvarpstíðni, 13.56 MHz
- Í segulspætu er rf spætun umtalsvert hægari en dc spætun
- Jónum er aðeins hraðað til skotmarksins á meðan spennan er neikvæð
- Bindiorka atóma á yfirborði einangrara er hærri en í leiðurum og hærri orku þarf til að losa þau

Segulspæta - hvarfaspætur

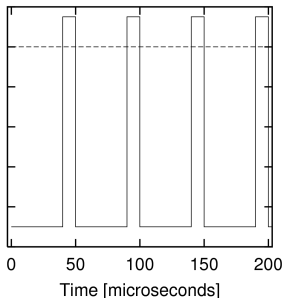


- Efnasambönd eins og oxíð og nítríð eru ræktuð með hvarfaspætur (e. reactive sputtering) þar sem málmskotmark er spætt í hvarfgjörnu gasi
- Í segulspætu með Al skotmark má þá rækta Al_2O_3 úr Ar/O_2 rafgasi og AlN úr Ar/N_2 rafgasi

Segulspæta – Púlsuð (ósamhverf)

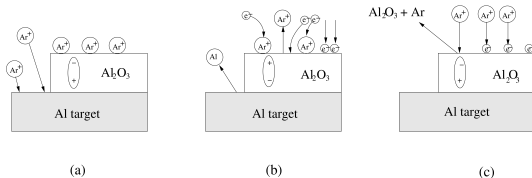
- Vandí er að beita hvarfaspætu í dc segulspætu til að rækta einangrara frá leiðandi skotmarki
- Einangrandi lag vill myndast á yfirborð skotmarksins sem leiðir til ljósbogamyndunar og óstöðugleika
- Hleðsla safnast upp á yfirborði einangrandi húðarinnar og einangrarinn brotnar síðan niður og afleiðingin er að ljósbogi myndast
- Ljósbogamyndun í rafgasinu getur eyðilaggt aflgjafann og skotmarkið
- Ein lausn á þessu er að beita ósamhverfri púlsun á spennunni til skotmarksins
- Með henni fæst betri og hraðari ræktun á einangrandi húðum

Segulspæta – Púlsuð (ósamhverf)



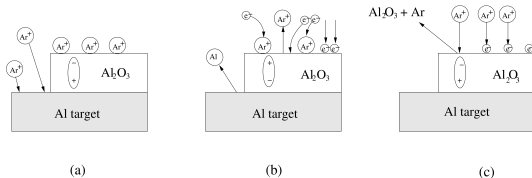
- Þá er skotmarkið spætt (við - (400 – 500 V)) í tiltekinn “pulse on” tíma
- Þessi tími er takmarkaður við það að hleðslan valdi ekki niðurbroti og ljósboga
- Hleðslunni er síðan eytt við “pulse off” þegar á skotmarkið er lögð jákvæð spenna 50 – 100 V
- Spennan á bakskautið er púlsuð á tíðninni 10 – 250 kHz

Segulspæta – Púlsuð (ósamhverf)



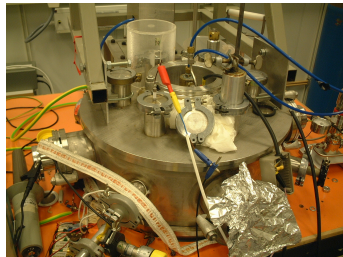
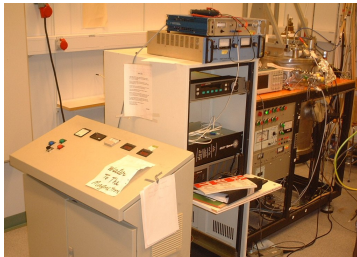
- Einangrarinn á yfirborði skotmarksins virkar eins og rafsvári í þétti þar sem skotmarkið er annað skautið og rafgasið er hitt
- Þegar einangrandi húð myndast safnast lágorku jónir á yfirborðið og hlaða þéttinn upp í álagða spennu
- Þegar spennan á þéttinn eykst dregur úr orku jóna sem hraðað er að skotmarkinu

Segulspæta – Púlsuð (ósamhverf)



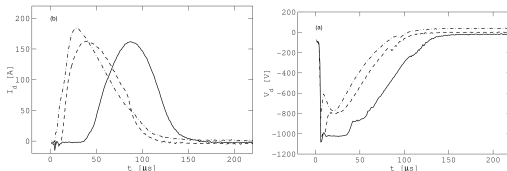
- Þegar jákvæð spenna (75 V) er lögð á skotmarið dragast rafeindir að yfirborði einangrandi lagsins og það hleðst í neikvætt gildi (- 75 V)
- Þegar svo spennan á skotmarið er aftur sett neikvæð (-450 V) er jónum hraðað með mættinu - 525 V og þær hreinsa þá einangrarann af yfirborðinu

HiPIMS - Háafspúlsun



- Í dæmigerðri dc segulspætu takmarkast aflþéttleikinn af varmaálagi (e. thermal load) á skotmarkinu, þar sem mest af orku jónanna sem hraðað er að skotmarkinu er breytt í hita

HiPIMS - Háafispúlsun

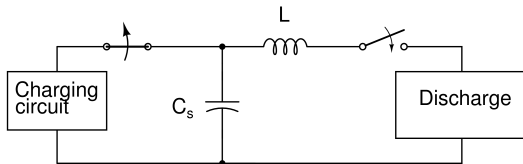


(Mynd frá Gudmundsson et al. (2002))

0.5 mTorr (heil lína), 2 mTorr (brotalína) and 20 mTorr (punkt brotalína)

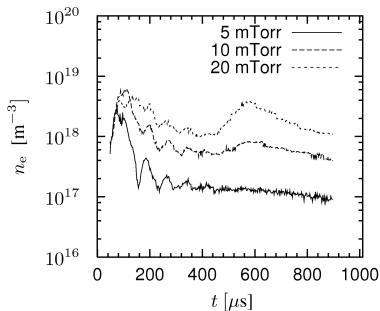
- Í einpóla púlsun er aflgjafinn keyrður á lágu (eða engu) afli og síðan er aflíð púlsað í verulega hátt gildi í stuttan tíma

HiPIMS - Háafispúlsun



- Aflgjafinn getur gefið púlsa sem eru allt að nokkur MW að afli
- Þeir eru 1 - 100 μs langir gjarnan með 50 - 150 Hz tíðni

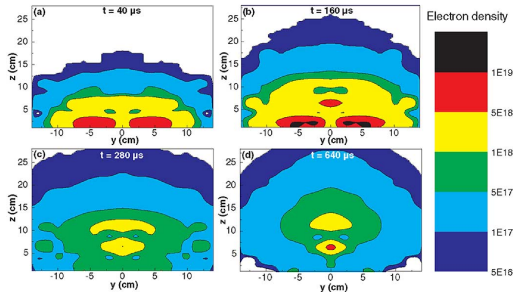
HiPIMS - Háaflspúlsun



(Frá Gudmundsson et al. (2002))

- Rafeindapéttleiki sem fall af tíma 9 cm neðan við tantalum skotmark með meðalafi 300 W

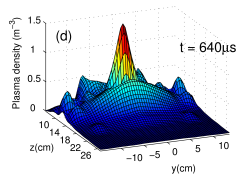
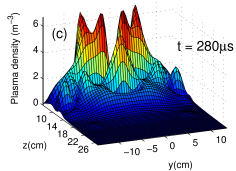
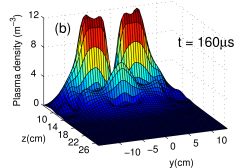
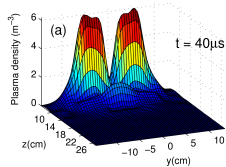
HiPIMS - Háaflspúlsun



(Frá Bohlmark et al. (2005))

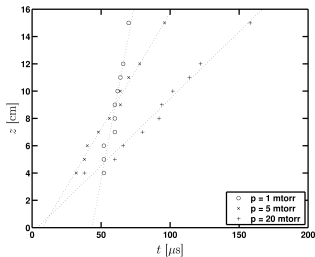
- Rafeindapéttleiki sem fall af rúmi og tíma
- Spætunargas er argon við 20 mTorr og skotmarkið gert úr títan

HiPIMS - Háaflspúlsun



- Rafeindapéttleiki sem fall af rúmi og tíma
- Spætunargas er argon við 20 mTorr og skotmarkið gert úr titan

HiPIMS - Háaflspúlsun



(Frá Gylfason et al. (2005))

- Toppurinn í rafeindapéttleikanum ferðast í átt frá bakskautinu með hraðanum

3.2×10^5 cm/s við 0.5 mTorr

1.9×10^5 cm/s við 2 mTorr

1.0×10^5 cm/s við 10 mTorr

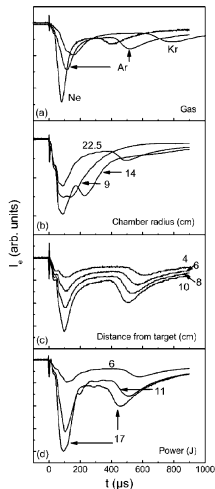
- Toppurinn í rafeindapéttleika fellur með minnkandi gasþrýstingi og með fjarlægð frá bakskautinu

HiPIMS - Háaflspúlsun

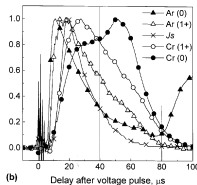
- Hegðan rafeindapéttleika sem fall af

- spætunargasi
- þvermáli klefa
- fjarlægð frá skotmarki
- álögðu afli

(Frá Alami et al. (2005a))



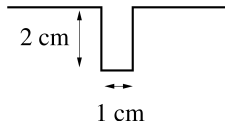
HiPIMS - Háaflspúlsun



Mynd Ehiasarian et al. (2002)

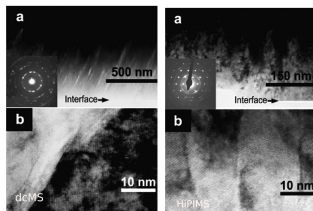
- Myndin sýnir ljósútgeislun frá rafgasinu 1 cm neðan við Cr skotmark
- Fyrst sést útgeislun frá Ar atómum frá bakgrunnsgasinu þegar niðurbrot á sér stað
- Þegar Ar jónast eykst þéttleiki rafgassins, jónastraumurinn eykst og ljósútgeislun frá Ar^+ verður áberandi

Notkun - Fylling á rennu



- Þunnar Ta húðir voru ræktaðar á kísilundirlag sem komið var fyrir á vegg í 2 cm djúpri og 1 cm breiðri rennu
 - hefðbundin dc segulspæta (dcMS)
 - háaflspúlsuð segulspæta (HiPIMS)
- Meðalafli var það sama 440 W
- Húðirnar voru bornar saman með rafeindasmásjám (scanning electron microscope (SEM) og transmission electron microscope (TEM))

Notkun - Fylling á rennu

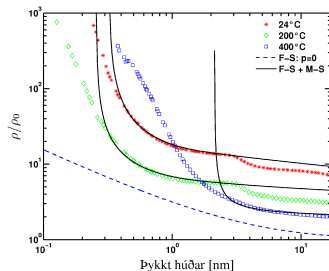


(Frá Alami et al. (2005b))

- Húðir ræktaðar í dc segulspætu hafa hrjúft yfirborð, götótt á milli korna og innfallandi stuðlað með stefnu í átt að opi rennunnar
- Húðir ræktaðar í háafspúlgaðri segulspætu hafa slétt yfirborð, eru þéttar og kristallaðar með stuðla hornrétt á yfirborðið

Punnar húðir - leiðni í melmum

- Með því að koma fyrir fjórum tengjum á undirlagið var hægt að fylgjast með því hvernig viðnám melmisins fellur á meðan húðin ræktast
- Myndin hlutfall eðlisviðnáms húðar ρ , og eðlisviðnáms í bol ρ_0 , sem fall af þykkt $\text{Cr}_{0.7}\text{Mo}_{0.3}$ húðar
- Sjá má að leiðandi húð er mynduð með innan við einu atómlagi



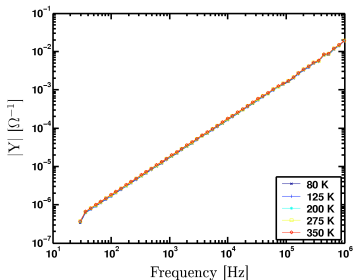
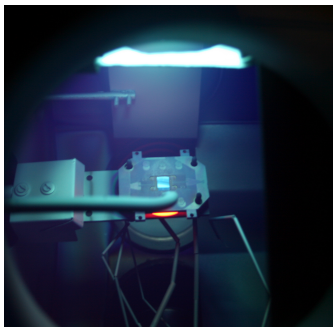
(Frá Gylfason et al. (2006))

Punnar húðir - vetni í melmum

- Undanfarin ár hefur verið fengist við rannsóknir á upptöku vetnis í þunnar málmhúðir. Málmurinn er þá hugsaður sem vetnisgeymsla
- Þá er mikilvægt að málmurinn sem notaður er sé léttur og ódýr
- Skoðuð hefur verið upptaka vetnis í vanadín lögum sem liggja á milli mólíden laga annars vegar og járnlaga hins vegar og mynda yfirgrindur
- Þá hefur upptaka vetnis í magnesín málmi eða magnesín melmum verið rannsökuð
- Með leiðnimælingum er fylgst með upptöku vetnis í málminn og með því að breyta hitastigi og gasþrýstingi vetnis má skoða varmafræðilega eiginleika eins og bindingu og losun vetnis í málminum

Punnar húðir - hvarfaspættun MgO

- MgO er ræktað með hvarfaspættun í púlstaðri segulspætu



(Frá Ágústsson (2005))

- Samleiðni þunnra MgO húðar sem fall af tíðni og hitastgi

Samantekt

- Fjallað var almennt um spætun
- Segulspætutæknin var kynnt
 - Fjallað um kosti hennar og galla
 - Skoðaðar voru endurbætur á segulspætum
 - Kynntar niðurstöður mælinga á háafs púlsaðri segulspætu
- Kynnt voru nokkur verkefni þar sem ræktaðar eru þunnar húðir í segulspætu

Þakkir

- Rannsóknir á púlsaðri segulspætu fara fram við Linköpingháskóla í Svíþjóð í samvinnu við prófessor Ulf Helmersson og doktorsnema hans Jonas Alami og Johan Böhlmark og var meistaraverkefni Kristins Björgvins Gylfasonar frá Háskóla Íslands
- Ljóssmælingarnar voru framkvæmdar af Dr. A. P. Ehiasarian, við Hallam University í Sheffield á Englandi
- Uppbygging á segulpætum á Raunvísindatofnun hefur að mestu verið framkvæmd af dr. Sveini Ólafssyni og Unnari B. Arnalds

Þakkir

- Hönnun og smíði skynjara úr ofurpunnum húðum er unnin í samvinnu við dr. Svein Ólafsson og dr. Kristinn Johnsen hjá Mentis Cura ehf og unnin af Kristni B. Gylfasyni, Jóni Skírni Ágústssyni, og Birni Víkingi Ágústssyni
- Rannsóknir á vetni í málmum eru leiddar af dr. Sveini Ólafssyni, sérfræðingi á Raunvísindastofnun Háskólans Verkefnin hafa mikið til verið unnin af þeim Guðmundi Þór Reynaldssyni, Önnu-Karin Eriksson, Munkhsaikhan Gonchigsuren og Árna Sigurði Ingasyni

Þakkir

- Árna Sigurði Ingasyni og Kristni B. Gylfasyni eru færðar þakkir fyrir ljósmyndirnar sem prýða fyrirlesturinn
- Mikið af teiknuðu myndunum voru fengnar frá Unnari B. Arnalds eðlisfræðingi á Raunvísindastofnun Háskólans
- Uppbygging rannsóknaraðstöðu hefur verið styrkt af Tækjasjóði og einstök verkefni af Rannsóknarsjóði Háskóla Íslands, Nýsköpunarsjóði Námsmanna, Rannsóknarnámssjóði og Rannsóknarsjóði Íslands

- Ágústsson, J. S. (2005). Electrical characterization of MgO thin films grown by reactive magnetron sputtering. Master's thesis, University of Iceland.
- Alami, J., Gudmundsson, J. T., Bohlmark, J., Birch, J., and Helmersson, U. (2005a). Plasma dynamics in a highly ionized pulsed magnetron discharge. *Plasma Sources Science and Technology*, 14(3):525–531.
- Alami, J., Petersson, P. O. A., Music, D., Gudmundsson, J. T., Bohlmark, J., and Helmersson, U. (2005b). Ion-assisted physical vapor deposition for enhanced film deposition on non-flat surfaces. *Journal of Vacuum Science and Technology A*, 23:278–280.
- Bohlmark, J., Gudmundsson, J. T., Alami, J., Latteman, M., and Helmersson, U. (2005). Spatial electron density distribution in a high-power pulsed magnetron discharge. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 33(2):346–347.
- Chapin, J. S. (January 1974). The planar magnetron. *Research/Development*, pages 37 – 40.
- Ehiasarian, A. P., New, R., Münz, W.-D., Hultman, L., Helmersson, U., and Kouznetsov, V. (2002). Influence of high power densities on the composition of pulsed magnetron plasmas. *Vacuum*, 65:147–154.
- Gudmundsson, J. T., Alami, J., and Helmersson, U. (2002). Spatial and temporal behavior of the plasma parameters in a pulsed magnetron discharge. *Surface and Coatings Technology*, 161(2-3):249–256.
- Gudmundsson, J. T. (2004). Afbrigði segulspæta. *Tímarit um raunvísindi og stærðfræði*, 2(2):41–48.
- Gudmundsson, J. T. (2006). Af segulspætum og þunnum húðum. *Raflost*, 28:8 – 11.
- Gylfason, K. B., Alami, J., Helmersson, U., and Gudmundsson, J. T. (2005). Ion-acoustic solitary waves in a pulsed magnetron sputtering discharge. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38(18):3417–3421.
- Gylfason, K. B., Ingason, A. S., Agustsson, J. S., Olafsson, S., Johnsen, K., and Gudmundsson, J. (2006). In situ resistivity measurements during growth of ultra-thin $\text{Cr}_{0.7}\text{Mo}_{0.3}$. *Thin Solid Films*, page accepted for publication.
- Ólafsson, S. and Arnalds, U. B. (1999). Spættun og rættun með segulspætu. In Ólafsson, A., editor, *Eðlisfræði á Íslandi IX*, pages 143–152, Reykjavík. Eðlisfræðifélag Íslands.
- Valeron, E. (September/October 2000). Sputtering advance reaches the target. *Vacuum Solutions*, pages 23 – 25.