

Florin Gherendi

Depunerea de filme subțiri
folosind instalația **tec
tra** *Sputter-
Coater*

Lucrări de laborator

– Îndrumător –

5 noiembrie 2013

Cuprins

Partea I Descrierea instalației

1	Sisteme componente	3
1.1	Incinta de vid	4
1.2	Rackul de comandă și control	7
1.2.1	Controllerul de vid și sistemul de pompare	8
1.3	Rackul de putere	11
1.3.1	Sistemul de depunere prin evaporare cu fascicul de electroni	12
1.3.2	Generatorul de radiofrecvență (RF)	13
1.3.3	Panoul de comandă a alimentării descărcării magnetron de curent continuu (DC)	15

Partea II Depunerea de filme subțiri prin magnetron sputtering

2	Pregătirea depunerii	19
2.1	Operațiuni preliminare	19
2.1.1	Pregătirea instalației	19
2.2	Procedura de punere sub tensiune a instalației	20
2.3	Procedura de înlocuire a țintei magnetronului	20
2.4	Montarea substraturilor pentru depunere	21
2.5	Vidarea instalației	23
2.6	Introducerea gazului de lucru	24
2.7	Oprirea instalației	25
	Probleme	26
3	Depunerea prin magnetron sputtering	27
3.1	Sputtering magnetron de curent continuu (DC)	28
3.2	Sputtering magnetron de radiofrecvență (RF)	29

Soluții ale problemelor propuse	33
--	----

Bibliografie	35
---------------------------	----

Partea I

Descrierea instalației

Sisteme componente

O imagine de ansamblu a instalației **tec tra** poate fi văzută în figura 1.1. Ea este alcătuită din 2 rackuri mobile.

Rackul de comandă și control, în partea dreaptă a imaginii, conține sistemul de pompare, comenzile principale și sursele de alimentare pentru sistemul de curățare cu plasmă și cel de depunere prin evaporare în vid cu încălzire rezistivă. Modulul central al rackului este sistemul de comandă a încălzirii substratului (încălzire cu radiații infraroșii). Incinta de vid este montată deasupra acestui rack.

Celălalt rack (rackul de putere, în partea stângă a imaginii) conține sursele de alimentare de mare putere de radiofrecvență și curent continuu pentru alimentarea magnetronului. De asemenea inclusă în acest rack este și sursa de alimentare pentru depunerea prin evaporare cu fascicul de electroni.

O descriere mai amănunțită a comenzilor celor două rackuri veți găsi în secțiunile următoare.

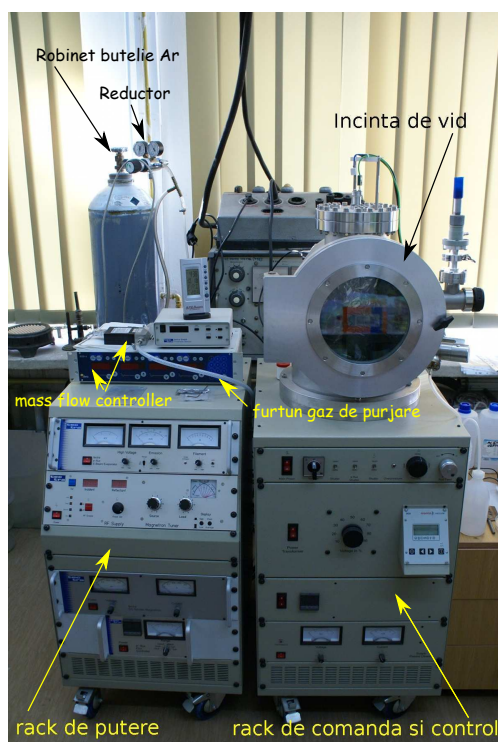


Figura 1.1. Instalația de depunere

1.1 Incinta de vid

Montată deasupra rackului de comandă și control, depunerea de filme subțiri prin toate procedeele pentru care este prevăzută instalația **tec tra** are loc în interiorul ei (fig. 1.2).

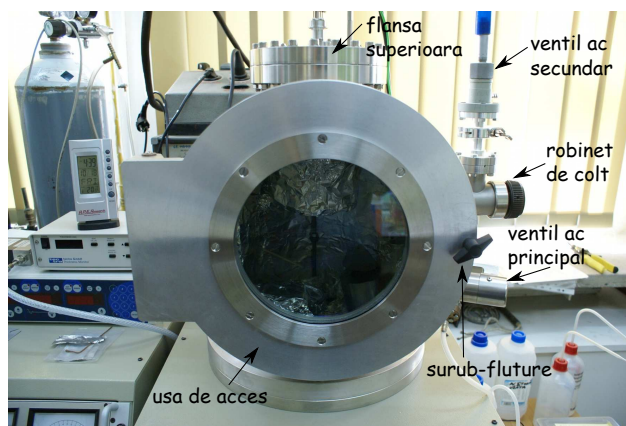


Figura 1.2. Imagine în detaliu a incintei de vid

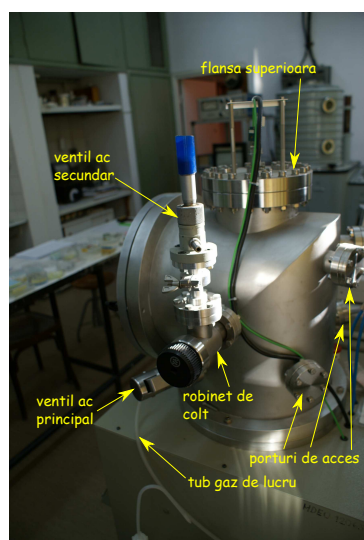


Figura 1.3. Incinta de vid, vedere din spate

realizată în final de presiunea atmosferică și nu de acest șurub.

Incinta este realizată din oțel inox, și este prevăzută cu mai multe porturi de acces (figura 1.3) - flanșe cu etanșare de vid înalt de tip "cuțit" pe garnitură de cupru. Aceste garnituri sunt de unică folosință, de aceea nu este recomandată demontarea capacelor de la flanșe dacă nu este strict necesar. Pe unele din aceste porturi sunt montate treceri electrice de vid și furtunuri de răcire prin circulație de apă (de exemplu pentru sistemul de încălzire a substratului).

Accesul în interiorul incintei se face prin ușa de acces din aluminiu din partea frontală, prevăzută cu o garnitură din cauciuc. La închidere ușa este securizată cu un șurub cu cap fluture. Acesta trebuie strâns doar atât cât să se asigure contactul garniturii pe flanșa frontală, apăsarea pentru etanșare la vid fiind

În interiorul incintei (figura 1.4) distingem următoarele elemente:

- (1) Capul magnetron (cilindrul exterior din oțel inox) și (2) ținta de sputtering; cilindrul exterior este filetat în interior în partea de jos și poate fi demontat pentru înlocuirea ținte.
- (3) și (4) Obturatorul magnetronului și al sistemului de depunere prin evaporare rezistivă (din tablă de oțel inox).
- (5) Sistemul de depunere prin evaporare cu încălzire rezistivă, cu barcheta din tungsten (6) și un ecran de protecție (7) pentru a evita depunerea extra-axială
- (8) Tunul de electroni pentru depunerea prin evaporare cu fascicul de electroni, și obturatorul acestuia (9); acesta, ca și celelalte obturatoare este acționat electromagnetic.
- (10) Anodul descărcării de curățare.
- (11) Tije filetate, pentru instalare de port-substraturi pentru depunere.

Este preferabil ca sistemele de depunere aflate în interiorul incintei să fie protejate cu folie metalică atunci când nu sunt folosite, lăsând neacoperit doar sistemul care se utilizează în momentul respectiv.

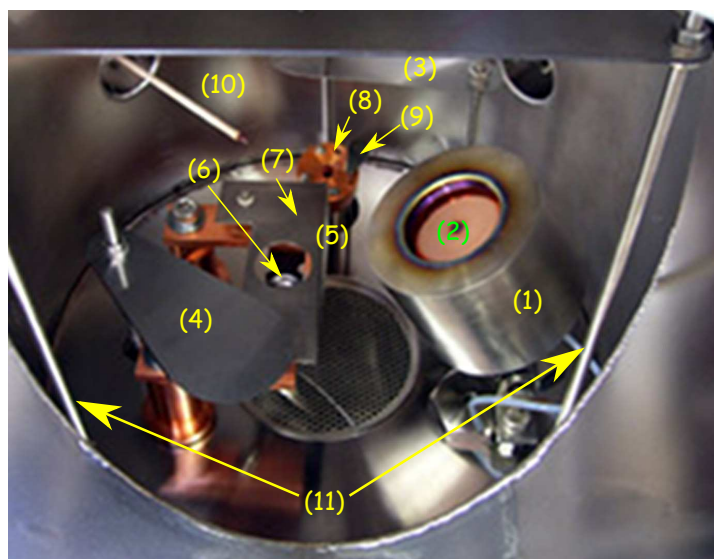


Figura 1.4. Sisteme de depunere montate în incinta de vid

Tot în interiorul incintei, montat pe flanșa superioară, există și un sistem de încălzire prin radiație a substratului de depunere. El poate fi util atunci când se urmărește obținerea de filme cristalizate (la temperaturi ridicate), dar pentru a minimiza efortul de curățare și chiar prelungire a duratei de viață

a acestuia, este bine să fie și el protejat cu folie metalică atunci când nu este folosit.

Pentru introducerea gazului de lucru, incinta este prevăzută din fabricație cu un ventil ac din safir (ventilul ac principal în figura 1.2). Acest ventil este prezentat în detaliu în figura 1.5 (a).

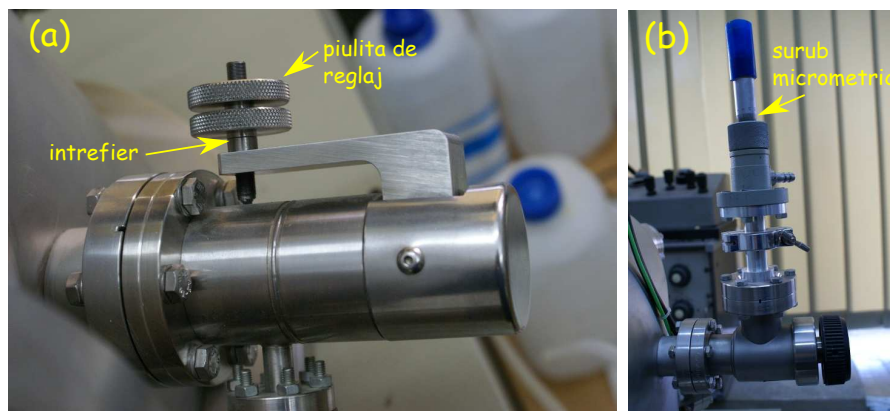


Figura 1.5. Imagini în detaliu ale ventilelor ac: (a) ventilul principal; (b) ventilul secundar

Deschiderea ventilului se face rotind piulița de reglaj în sens antiorar, iar efectul poate fi observat prin creșterea lărgimii întrefierului (v. fig. 1.5 (a)). **ATENȚIE:** la închidere, lărgimea întrefierului se micșorează, dar nu trebuie să devină zero. Piulița randalinată de reglaj trebuie rotită doar până în punctul în care opune ușor rezistență. Forțarea excesivă poate duce la spargerea acului de safir, ceea ce va împiedica închiderea completă a ventilului.

Ventilul ac secundar (detaliu în figura 1.5 (b)) a fost adăugat ulterior, cu scopul de a putea introduce și un al doilea gaz (tipic oxigen, pentru depunere reactivă) în incintă. El este montat pe un port de acces, și a fost separat de acesta printr-un robinet de colț special pentru vid înalt. Robinetul servește în două scopuri: posibilitatea de a închide al doilea gaz fără a modifica reglajul ventilului, și asigurarea că gazul de lucru nu este impurificat atunci când nu se dorește introducerea celui de al doilea gaz. Prin urmare, aveți grijă ca robinetul de colț să fie închis atunci când nu introduceți un al doilea gaz.

Acest ventil se reglează cu ajutorul unui șurub micrometric, care nu trebuie strâns nici el excesiv la închidere. Utilizați robinetul de colț pentru închiderea completă.

1.2 Rackul de comandă și control

Este rackul principal al sistemului. În interiorul lui se află alimentarea generală a sistemului, un tablou de siguranțe, circuitele de securitate, sistemul de pompare și circuitul de răcire cu apă și filtrele acestuia.

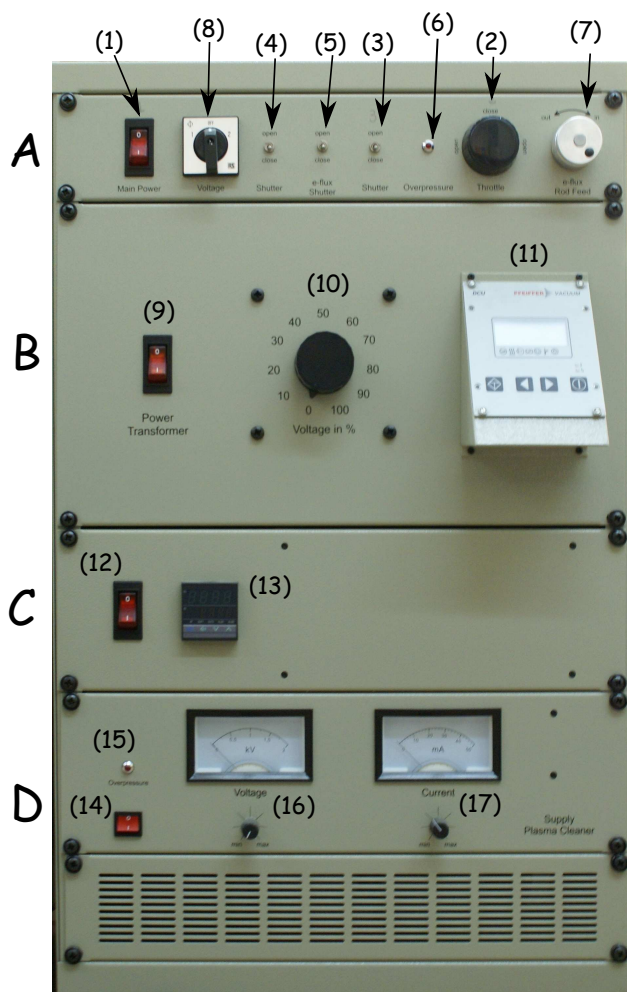


Figura 1.6. Panoul frontal al rackului de comandă și control

Rackul conține 4 module de comandă, notate cu A, B, C, D în figura 1.6. În **panoul de comandă superior (A)** distingem:

- (1) Intrerupătorul general (Main Power) De aici se pornește alimentarea întregii instalații de depunere.

- (2) Comanda clapetei din baza incintei de vid (Throttle). Aceasta folosește la reducerea debitului de gaz pompat de pompa turbomoleculară.
- (3) Comanda plăcuței obturatoare a capului magnetron. Când obturatorul este închis, descărcarea magnetron poate fi pornită fără a efectua o depunere.
- (4) Comanda plăcuței obturatoare a sistemului de depunere prin evaporare cu încălzire rezistivă.
- (5) Comanda plăcuței obturatoare a sistemului de depunere prin evaporare cu fascicul de electroni.
- (6) Indicator de suprapresiune. Se referă numai la depunerile prin evaporare; atunci când este aprins, presiunea în incintă nu este suficient de mică pentru a efectua depuneri prin evaporare. În timpul depunerii magnetron sau când se introduce gazul de lucru, indicatorul luminează; **acesta este un lucru normal.**
- (7) Comanda introducerii tijei-țintă pentru depunerea prin evaporare cu fascicul de electroni.
- (8) Comutatorul plajei de curenți pentru depunerea prin evaporare cu încălzire rezistivă; (I) - curent mic; (II) - curent mare; Off - oprit.

Modulele centrale (B și C) conțin comanda evaporării prin încălzire rezistivă, controllerul de vid și încălzirea cu radiații infraroșii a substratului de depunere. Panourile de comandă ale acestor module conțin:

- (9) Butonul de pornire a alimentării sistemului de evaporare în vid prin încălzire rezistivă.
- (10) Butonul de reglare a tensiunii evaporatorului rezistiv în vid.
- (11) Controllerul de vid. De aici se comandă vidarea incintei. Este un dispozitiv complex și va avea o subsecțiune dedicată în acest paragraf.
- (12) Butonul de pornire al încălzirii substratului.
- (13) Controllerul de temperatură a încălzirii substratului; acesta are afișaj propriu și butoane de programare.

Modulul din partea de jos a rackului (D) conține comanda sistemului de curățare cu plasmă incintei și substratului. El are următoarea alcătuire:

- (14) Butonul de pornire a curățării cu plasmă.
- (15) Indicatorul de suprapresiune; nu se poate folosi curățarea cu plasmă când acesta este aprins.
- (16) Potențiometrul de reglaj și instrumentul de măsură a tensiunii descărcării de curățare.
- (17) Reglajul limitării de curent și instrumentul de măsură a curentului descărcării de curățare.

1.2.1 Controllerul de vid și sistemul de pompare

Sistemul de pompare inclus în rack este alcătuit dintr-o pompă de vid preliminar uscată cu membrană cu 2 etaje tip Pfeiffer Vacuum MVP-35-2, și o

pompă de vid înalt turbomoleculară Pfeiffer Vacuum HiPace 300 cu driverul (circuit de alimentare și control) TC-110 [2].

ATENȚIE: dacă se adaugă oxigen în gazul de lucru, în mod obligatoriu prin ventilul de purjare al pompei turbomoleculare trebuie introdus un gaz inert (sealing gas) [2]. În caz contrar există riscul arderii lagărelor pompei turbomoleculare și defectării acesteia. A fost realizat un montaj de purjare cu un mass flow controller (regulator de debit masic) ROD-3 instalat pe sistem pentru a se introduce azot sau argon (fig 1.1). În montajul curent el preia o parte din argonul utilizat ca gaz de lucru pentru a îl introduce în ventilul de purjare a pompei turbomoleculare. Modul de utilizare a mass flow controllerului ROD-3 va fi prezentat ulterior.

Pentru comanda sistemului de pompare, constructorul a prevăzut un controller Pfeiffer Vacuum DCU-002 (numărul (11) în figura 1.6). DCU conține un vacuummetru și circuitistica de comandă a pompei de vid preliminar MVP-35-2 și a driverului TC-110. Acesta măsoară presiunea în incinta de vid și afișază parametrii de funcționare ai pompei turbomoleculare comunicați de TC-110 (turație, consum, temperatură). De asemenea prin intermediul lui se comunică driverului TC-110 turația dorită a pompei turbomoleculare.

O vedere detaliată a panoului de comandă a controllerului Pfeiffer DCU este prezentată în figura 1.7.

Elementele de comandă și afișare de pe panoul controllerului de vid Pfeiffer DCU sunt (vezi figura):

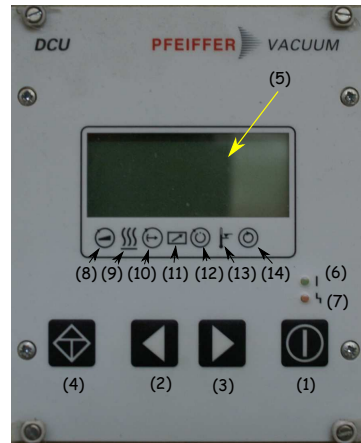


Figura 1.7. Panoul de comandă a controllerului de vid

- (1) Butonul de pornire/oprire a pompajului .
- (2) și (3): taste de navigare înainte  și înapoi  în meniul controllerului.
- (4) Butonul de ștergere a condiției de "eroare" .
- (5) Afișaj LCD iluminat; pe el se afișează funcția curentă selectată din meniu și valorile măsurate.
- (6) Indicator de funcționare a pompei turbo (pompaj pornit)
- (7) Indicator de prezență a tensiunii de alimentare. Luminează galben în condiții normale și roșu în caz de eroare.

Indicațiile afișajului (5)

În dreptul câmpurilor notate (8)-(14) în figura 1.7 pot să apară diverse săgeți indicatoare. Semnificația lor este prezentată în tabelul 1.1.

Tabela 1.1. Semnificația simbolurilor și săgeților indicatoare din partea de jos a afișajului DCU

Câmp	Simbol	Semnificație	Săgeată	Explicație
(8)		Pompa turbo în accelerare	absentă ▼	nu da
(9)		Pre-selecție încălzire de etuvare a pompei	absentă ▽ ▼	nu Etuvarere selectată dar vidul insuficient Încălzire pornită, vid corect pt. etuvare
(10)		Stand-by	absentă ▼	nu da
(11)		Operare telecomandată	absentă ▼	nu da
(12)		Presiunea programată pt. etuvare atinsă	absentă ▼	nu da
(13)		Exces de temperatură	absentă ▽ ▼ ▼	nu Temperatura pompei turbo prea mare Temperatura driverului pompei turbo (TC-110) prea mare Temperatura driverului și pompei prea mare
(14)		Turație programată a pompei atinsă	absentă ▼	nu da

Selectarea funcțiilor controllerului Pfeiffer DCU se face din tastele  și , funcția dorită fiind afișată pe ecranul LCD (5). Pentru simplificarea navigării, funcțiile sunt numerotate. Funcțiile cu rol de schimbare a unor parametri de funcționare se accesează prin apăsarea simultană a tastelor  și  (cu rol de "OK"). Pentru mai multe detalii consultați Pfeiffer DCU Operating Manual din dosarul [2].

Funcțiile de primă utilitate sunt prezentate în tabelul 1.2.

Tabela 1.2. Funcțiile DCU-002 utilizate frecvent în timpul depunerilor de filme subțiri

Număr	Denumire afișată	Scop	Utilizare
309	Act rotspd	Verificarea funcționării corecte a pompei turbo	Se citește turația afișată a pompei turbo (în hertzi) sau se navighează la altă funcție
340	Pressure	Măsurarea presiunii în incinta de vid	Se citește valoarea presiunii afișate
002	Standby [ON OFF]	Setarea pompei turbo în mod Stand-by (necesar pt. introducerea gaz de lucru), sau la turație maximă pentru vidare rapidă	Se intră în meniu apăsând   simultan, se selectează ON sau OFF prin navigare, și se confirmă apăsând   simultan; starea "standby" este confirmată pe afișaj de  în dreptul simbolului 
001	Heating [ON OFF]	Programarea etuvării pompei turbo; nu se introduce gaz cu etuvarea pornită	Se intră în meniu apăsând   simultan, se selectează ON sau OFF, se confirmă apăsând   simultan; pe afișaj apare  sau  în dreptul simbolului 

1.3 Rackul de putere

Acest rack este plasat alături de rackul de comandă (figura 1.1). El conține 4 module, așa cum pot fi văzute în imaginea detaliată din figura 1.8:

- Alimentarea sistemului de depunere prin evaporare cu fascicul de electroni. Deoarece fasciculul de electroni folosit la depunere este produs prin emisie termoelectronică, acest modul conține o sursă de alimentare a filamentului ce îl încălzește catodul, și una de înaltă tensiune pentru accelerarea fasciculului de electroni emis.
- Generatorul de radiofrecvență pentru magnetron, cu panoul de control aferent.
- Alimentarea de curent continuu pentru magnetron, cu panoul de control care îi corespunde.
- Controllerul de flux de electroni pentru depunerea prin evaporare cu fascicul de electroni. Acesta este folosit la reglarea curentului de fascicul, ajustându-l în funcție de temperatura de evaporare dorită.

În cele ce urmează se va trece în revistă sistemul de depunere prin evaporare cu fascicul de electroni, și se va face o descriere mai amănunțită a sistemului de depunere magnetron.

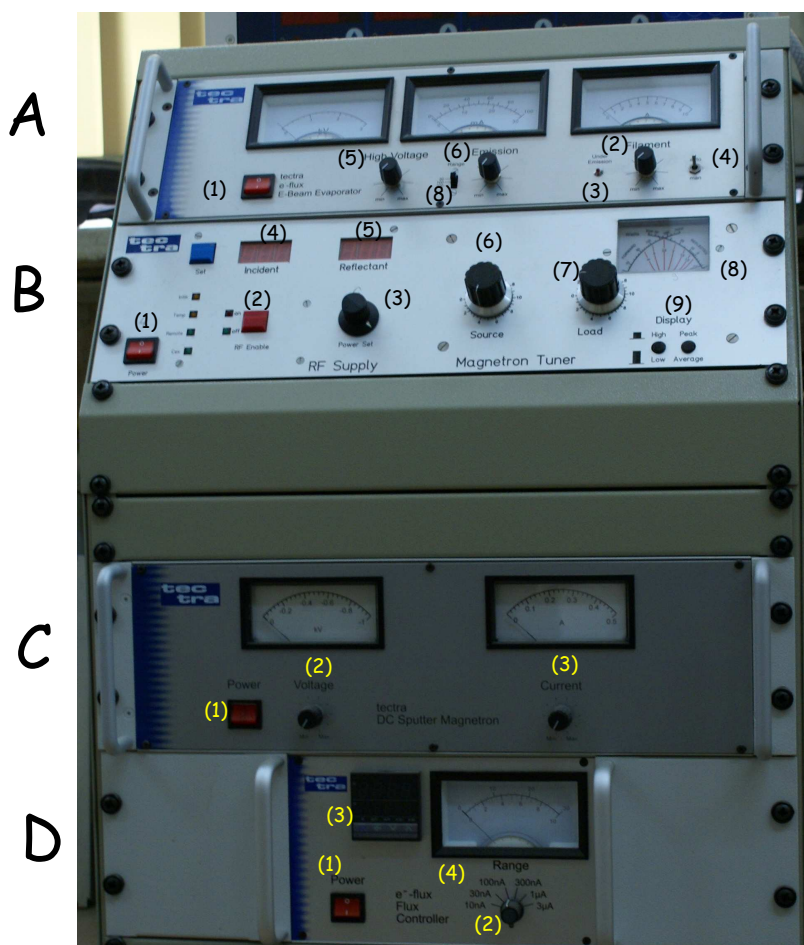


Figura 1.8. Detaliu asupra panoului frontal al rackului de putere

1.3.1 Sistemul de depunere prin evaporare cu fascicul de electroni

Este controlat de modulele A și D. Modulul A conține (v. fig. 1.8):

- (1) Butonul de punere sub tensiune (iluminat roșu).
- (2) Butonul de reglaj al curentului de filament și instrumentul de măsură acestuia.
- (3) Semnalizatorul prezenței emisiei de electroni
- (4) Comutatorul manual/automat; când acesta este setat pe automat, curentul de filament, curentul catodic și tensiunea de accelerare sunt ajustate de către controllerul de temperatură din modulul D în așa fel încât să se obțină temperatura dorită pentru evaporare.

- (5) Butonul de reglaj al tensiunii înalte de accelerare a electronilor și instrumentul de măsură al acesteia
- (6) Instrumentul de măsură al curentului catodic (de emisie) al tunului de electroni și butonul de reglaj al acestuia.

În modulul D avem:

- (1) Butonul de punere sub tensiune al controllerului de flux de electroni.
- (2) Comutatorul de limitare a curentului de fascicul.
- (3) Controllerul de temperatură de evaporare; este similar celui de încălzire a substratului ((13) din figura 1.6).
- (4) Instrumentul de măsură al curentului de fascicul de electroni pentru evaporare

ATENȚIE: Pentru punerea în funcțiune a evaporării trebuie ca presiunea în incintă să fie cât mai mică; **deci indicatorul de suprapresiune (6) din figura 1.6 trebuie să fie stins.** De asemenea este necesară o condiționare a filamentului înainte de a începe depunerea; **această operație este delicată și poate duce la arderea filamentului;** consultați cu atenție paginile 8-9 din manualul [1].

1.3.2 Generatorul de radiofrecvență (RF)

Generatorul RF (modulul B în figura 1.8) este o sursă de curent de 13.56MHz și o putere maximă de 300 W produs de RF VII Inc. New Jersey, SUA [3]. El este folosit la alimentarea magnetronului pentru depuneri utilizând ținte dielectrice sau cu rezistivitate mare. În instalația de depunere **tec tra** el este folosit într-un circuit specific, ale cărui controluri sunt de asemenea prezente pe panoul de comandă



Figura 1.9. Panoul de comandă al generatorului RF

O imagine a panoului de comandă a generatorului RF este prezentată în figura 1.9. Acesta conține:

- (1) Butonul iluminat de punere sub tensiune.
- (2) Butonul de pornire a curentului de radiofrecvență

- (3) Potentiometrul de reglare a puterii RF
- (4) Instrumentul de măsurare a puterii RF incidente (adică puterea transmisă spre magnetron)
- (5) Instrumentul de măsurare a puterii reflectate (puterea RF care se întoarce dinspre magnetron în sursă, nefiind utilizată în descărcarea RF). Acest efect poate să apară datorită neadaptării de impedanță între generatorul RF și capul de descărcare magnetron. **ATENȚIE: un procentaj al puterii reflectate mai mare de 10% din puterea incidentă poate duce la supraîncălzirea generatorului RF și defectarea lui.** În scopul evitării acestui lucru, precum și pentru a optimiza puterea injectată în descărcarea magnetron, generatorul RF este prevăzut cu un transformator reglabil care realizează adaptarea de impedanță între generator și capul magnetron.
- (6) Butonul de acord al circuitului primar al transformatorului de adaptare; după cum spune și notația "Source" care îi corespunde pe panoul central, prin acest acord se realizează adaptarea de impedanță la ieșirea sursei de RF
- (7) Butonul de acord al circuitului secundar al transformatorului de adaptare; acesta reglează impedanța la ieșirea transformatorului în așa fel încât să se adapteze cu sarcina (capul magnetron). Datorită inductanței mutuale de cuplaj între primar și secundar, un reglaj efectuat în circuitul secundar necesită o reajustare în circuitul primar.
- (8) Reflectometru; este un instrument indicator cu 2 ace, care măsoară puterea transmisă din secundarul transformatorului de adaptare în capul magnetron (acul din partea stângă) și puterea reflectată de capul magnetron (acul din partea dreaptă). Fiind o măsurătoare la nivelul circuitului de sarcină, este mult mai sensibilă decât cea efectuată de instrumentele (4) și (5).
- (9) Comutatoare de selectare a sensibilității reflectometrului și al modului de măsurare; "High" (buton apăsător) este modul de sensibilitate mare și este singurul în care scala este calibrată; modul "Low" este de folosit doar când acele ies din scală. În mod "Peak" (buton apăsător) puterile măsurate de reflectometru sunt puteri instantanee; acesta e modul în care se pot face eficient reglajele de adaptare de impedanță pentru reducerea puterii reflectate; modul "Average" (buton neapăsător) indică puteri medii, ceea ce nu permite identificarea variațiilor rapide de putere.

Pe panoul de comandă al generatorului RF mai există câteva LED-uri indicatoare (nu le-am numerotat) care indică prezența sau absența puterii de radiofrecvență (On/Off), RF blocat datorită unui circuit de siguranță deschis (Interlock), temperatură prea mare (Temp), operare telecomandată (Remote), precum și un buton albastru (Set) care comandă un circuit automat care menține nivelul de putere constant la valoarea setată (puterea poate să devieze datorită încălzirii).

În partea a doua se va descrie amănunțit modul de reglare a generatorului RF în condițiile depunerii magnetron.

1.3.3 Panoul de comandă a alimentării descărcării magnetron de curent continuu (DC)

De notat că pentru utilizarea magnetronului DC, cablul de putere de la capul magnetron (aflat în spatele instalației și marcat) trebuie introdus în socket-ul sursei de alimentare DC. Panoul de comandă este destul de explicit și cuprinde (v. fig. 1.8, modulul C):

- (1) Butonul de punere sub tensiune.
- (2) Potențiometrul de reglare a tensiunii înalte de descărcare magnetron și instrumentul de măsurare a acesteia.
- (3) Potențiometrul de reglare a limitării de curent de descărcare și instrumentul de măsurare a curentului.

De reținut că setarea unei limite prea mari a curentului poate duce la aprinderea unei descărcări arc în capul magnetron, ceea ce poate să deterioreze ținta și/sau să compromită calitatea filmului depus.

Depunerea de filme subțiri prin magnetron
sputtering

Pregătirea depunerii

2.1 Operațiuni preliminare

Pentru toate operațiunile în interiorul incintei de vid, este bine ca clapeta din baza incintei (Throttle) să fie închisă. Aceasta va împiedica eventuale obiecte mici scăpate în incintă să intre în pompa turbomoleculară. În acest scop rotiți butonul (2) din figura 1.6 (Throttle→Close). Clapeta este vizibilă când ușa incintei este deschisă.

ATENȚIE!!! Înainte de începerea depunerii de filme subțiri prin metoda magnetron, indiferent de tipul de sputtering ales, există câțiva pași de bază care trebuie parcurși în ordinea ce urmează:

2.1.1 Pregătirea instalației

- se deschide și se curăță incinta de vid, folosindu-se o bucată de pânză sau șervețel fără scame îmbibată în acetonă pentru părțile metalice sau în alcool izopropilic pentru părțile din plastic sau cauciuc.
Nu se atinge cu mâna liberă interiorul incintei! Dacă este nevoie, în acest scop se folosesc mănuși. Atenție, acetona poate să dizolve mănușile de cauciuc!
- se deschide robinetul buteliei de Ar și se ajustează la presiunea la 0.6 atm.
- dacă se dorește sputterizare reactivă, se face același lucru cu butelia de oxigen. **ATENȚIE:** sub nici o formă nu se introduce oxigen fără a se porni purjarea pompei turbomoleculare (v. secțiunea 2.6)!!!
- se purjează tuburile de introducere a gazului deschizând puternic ventilul ac timp de câteva secunde/ zeci de secunde. Ușa de acces trebuie să fie deschisă pentru a evita presurizarea incintei. Aveți grijă să închideți la loc ventilul ac, fără a-l strânge exagerat (până în momentul când începe să opună rezistență).
- la oricare din etapele următoare, dacă este nevoie de acționarea uneia din tăblițele obturatoare, instalația trebuie să fie pusă sub tensiune. Urmăriți

secțiunea 2.2 pentru a afla cum. Instalația nu va porni dacă nu circulă apa în circuitul de răcire.

- în caz de nevoie, se înlocuiește ținta. Urmăriți secțiunea 2.3 dacă doriți să faceți acest lucru.
- se verifică distanța de 2 - 4mm între cilindrul interior și cel exterior al capului magnetron introducându-se un instrument de calibrare realizat din sârmă îndoită în "L" în intervalul dintre acestea (ar trebui să existe unul la îndemână). În caz de nevoie se înșurubează/deșurubează cilindrul exterior până când sârma de calibrare încape la limită în interval.
- se montează substraturile pe port-substrat și se reglează poziția port-substratului în incintă. Urmăriți secțiunea 2.4 pentru mai multe detalii.
- se închide ușa de acces în incinta de vid, înșurubând șurubul-fluture de culoare neagră, fără a-l strânge exagerat. O strângere mai puternică nu va îmbunătăți vidul. Aveți grijă ca flanșa pe care apasă garnitura de cauciuc a ușii să fie perfect curată, de asemenea și garnitura. Eventual se poate aplica vaselină siliconică specială pentru vid pe garnitură.
- se pornește vidarea incintei, în modul indicat la secțiunea 2.5.

2.2 Procedura de punere sub tensiune a instalației

- se deschide robinetul circuitului de răcire a instalației. ATENȚIE: furtunurile de evacuare, care pornesc din spatele instalației, trebuie să fie plasate într-un sifon de scurgere! Verificați că nu au fost scoase de acolo! Se verifică debitul apei de răcire ridicând ușor capetele furtunurilor din sifon. Instalația este prevăzută cu un sistem interlock care împiedică pornirea ei fără răcire.
- se acționează butonul MAIN POWER, al cărui becuț roșu trebuie să se aprindă. Atunci când instalația este pusă sub tensiune, este normal faptul că se activează toate controlurile, și pornește inclusiv modulul Pfeiffer DCU de control al vidului al cărui ecran LCD (5) și LED (7) (v. fig 1.7) se luminează. Acest lucru **nu înseamnă că a pornit pomparea!**

Observație: Pentru a evita formarea de condens pe capul magnetron, este preferabil ca punerea sub tensiune să se facă cât mai târziu, ideal imediat înainte de începerea vidării.

2.3 Procedura de înlocuire a țintei magnetronului

La fel ca pentru toate operațiunile în interiorul incintei de vid, se folosesc mănuși. În prealabil trebuie deșurubat până la demontare cilindrul exterior (1) al capului magnetron (vezi figura 1.4 din secțiunea 1.1. După această operațiune rămâne descoperit cilindrul interior izolator din teflon pe care se află montată ținta cu ajutorul inelului de centrare din inox prezentat în

figura 2.1. Acest inel este montat cu ajutorul a 6 șuruburi M6 cu cap *Inbus* care strâng ținta între inel și discul de cupru de dedesubt cu rol de răcire a ținte. Cele 6 șuruburi trebuie scoase câte doua diametral opuse, pentru a nu dezechilibra apăsarea ținte. După deșurubarea parțială a ultimei perechi de șuruburi, ținta trebuie ținută cu mâna deoarece poate să alunece. **Nu se atinge niciodată ținta cu mâna liberă, toate operațiile cu ea se fac cu mănuși!**

Înainte de montarea unei ținte noi, atât inelul de centrare cât și buza superioară și interiorul cilindrului exterior al magnetronului trebuie cutățate mecanic (șlefuite) cu un șmirghel fin. Șlefuirea trebuie făcută cu atenție pentru a nu produce zgârieturi. Zgârieturile pot fi centre de pornire pentru descărcări arc nedorite, mai ales în cazul depunerii prin sputtering DC. În timpul șlefuirii piesele pot fi atinse cu mâna. După șlefuire, este necesară curățarea amănunțită cu acetona, iar atingerea cu mâna nu mai este permisă.

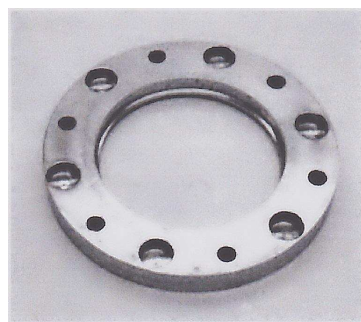


Figura 2.1. Inelul de centrare a ținte

Dacă se montează o țintă nouă, ea trebuie să aibă exact același diametru, deoarece centrarea ei depinde de asta. Se verifică cu atenție că buza inelului de centrare cuprinde ținta pe toată circumferința, apoi se strâng șuruburile inelului 2 câte 2 diametral opuse, treptat. Deoarece ținta poate fi fragilă, șuruburile trebuie strânse doar atât cât ținta să nu aibă joc axial. Este posibil ca ea să aibă un ușor joc radial.

2.4 Montarea substraturilor pentru depunere

Pentru montarea în interiorul incintei de vid a substraturilor pentru depunere se utilizează un suport (holder) care nu este livrat împreună cu instalația. Un exemplu de suport care a fost utilizat în acest scop pentru depuneri magnetron este prezentat în figura 2.2

În figura 2.2 (a) este prezentată amplasarea holderului în incintă (celelalte sisteme de depunere sunt acoperite cu folie metalică pentru protecție, precum și zone din pereții incintei). Numerotările folosite sunt aceleași din figura 1.4, și anume:

- (1) Capul magnetron (cilindrul exterior din oțel inox).
- (2) Ținta de sputtering.
- (3) Obturatorul magnetronului (aici în poziție deschisă).
- (11) Tijă filetată.
- (12) Piulițe cu șaibe pentru strângerea port-substratului
- (13) Fantă de prindere decupată în colțul suportului (figura 2.2 (b))

Suportul se montează tipic la o distanță de 11 cm de țintă (măsurată de la centrul țintei la centrul lui, ca în fig. 2.2 (a)), prin strângerea fantei (13) între piulițele (12) pe tija (11). Preferabil odată reglată distanța, manevra să se facă doar din piulița de sus; astfel nu va mai fi nevoie de o reglare a distanței de fiecare dată când se schimbă substraturile. Pentru o distanță de la țină magnetron de 11 cm, depunerea se face pe un cerc cu diametrul de 7.5 cm în jurul normalei la centrul țintei.

Holderul are o îndoitură la 5° în așa fel încât suprafața lui să fie paralelă cu ținta magnetronului după montarea în incintă (marcată în figura 2.2 (b)).

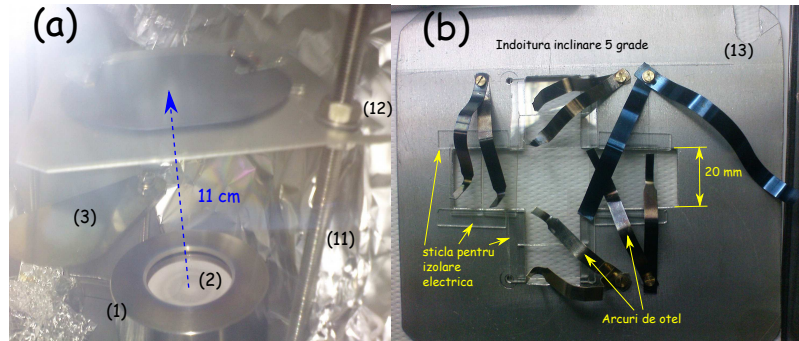


Figura 2.2. Exemplu de suport pentru montarea substraturilor: (a) amplasarea suportului în incintă; (b) amplasarea substraturilor pe suport

Substraturile de depunere se montează cu fața în jos, deoarece sistemele de depunere (inclusiv capul magnetron) se află în partea de jos a incintei. Depunerea se realizează de jos în sus printr-o fantă. La acest suport în particular fantele au fost decupate la lărgimi de 20 mm, cu scopul de a susține bucăți decupate din lamele de microscop (care au lățimea de 25 mm) pe post de substrat. Substraturile, mai late decât fanta, se sprijină pe marginea acesteia, presate de lamele elastice din oțel (arc de ceas) prinse din loc în loc cu șuruburi M2 pe holder. În figura 2.2 (a) exact același holder este utilizat cu o singură plachetă de siliciu pe post de substrat (montajul a fost făcut pentru verificarea centrării cercului de depunere). Pot fi imaginate și realizate și alte modele de holder.

În cazul în care există deja o depunere conductoare pe substrat (de exemplu sticlă depusă cu ITO) și se intenționează depunerea peste ea a unui film dielectric, este bine ca aceste substraturi să fie izolate electric de holder pentru ca descărcarea să nu se închidă la masă prin această depunere conductoare. Altfel, pot apărea străpungeri în filmul dielectric depus, și zone de topire în depunerea conductoare inițială datorită trecerii curentului de descărcare. În exemplul din figura 2.2 (b) izolarea este făcută cu bucăți de sticlă subțire

(lamele de microscop) plasate pe marginile fantelor între ele și substratul de depunere.

Observații

Pentru puteri magnetron RF de ordinul a 200 W, filmul depus în zona centrală a cercului de depunere, pe un diametru de 25-30 mm, este destul de puternic atacat de descărcarea magnetron însăși, ceea ce duce la afectarea negativă a stării suprafeței. Așadar, zona utilă a depunerii este de fapt pe o coroană circulară între raza de 15 mm și cea de 35 mm în jurul centrului holderului. De aceea, dacă se folosește același holder montat la 11 cm de țintă, nu este utilă plasarea unui substrat de depunere în centrul lui. Poate însă fi utilă mascarea găurii centrale pentru a limita depunerea parazită în incintă.

Plasarea suportului de substraturi la distanță mai mare de 11 cm de ținta magnetron poate ameliora această problemă, dar duce la scăderea ratei de depunere, deci sunt necesare studii de optimizare a distanței, presiunii și puterii de depunere pentru fiecare țintă în parte. De notat că distanța de 11 cm aduce deja holderul foarte aproape de sistemul de încălzire a substratului, ceea ce limitează posibilitățile de a crește distanța țintă substrat.

2.5 Vidarea instalației

- După închiderea ușii incintei, se acționează butonul rotativ (2) THROTTLE din dreapta sus al rackului de comandă (fig. 1.6) pentru a deschide complet clapeta-fluture din baza incintei de vid (Throttle→Open).
- se setează controllerul de vid (fig. 1.7, vezi și fig. 1.6) pentru ca pompa turbo să pornească la turația maximă (Standby→OFF). Metoda este descrisă și în tabela 1.2 din secțiunea 1.2 pentru funcția de standby: se navighează în meniul controllerului cu tastele (2)  și (3)  până când se ajunge la funcția 002 - Standby; se apasă simultan tastele  și  pentru a intra în setările funcției; se selectează OFF din aceleași taste de navigare și se confirmă apăsând din nou simultan tastele  și .
- se apasă butonul ON  al controllerului de vid ((1) în fig. 1.7). LED-ul (8) al controllerului DCU luminează verde și în acest moment se aude sunetul pompei de vid preliminar. Pe display-ul LCD al controllerului (5) apare săgeata ▼ în dreptul simbolului (8) , indicând că pompa turbo începe să accelereze (trebuie să se audă și sunetul specific de turbină). Se navighează în meniul controllerului la funcția 340 - Pressure pentru a citi presiunea și/sau 309 - Act rotspd pentru a citi turația pompei turbo (în Hertzi). Turația maximă este 1000 Hz.
- În primele 5 minute de vidare se urmăresc pe displayul (5) al controllerului săgețile afișate în dreptul simbolurilor (8) - (14) conform tabeli 1.1 din

secțiunea 1.2 și culoarea LED-ului (7) al controllerului DCU (trebuie să rămână galben), deoarece pot fi semnalate erori. În caz de eroare (LED (7) roșu), opriți vidarea din butonul  și căutați remedierea problemei. Pe display-ul (5) este de obicei afișată eroarea. Pentru ștergerea condiției de eroare apăsați butonul  (4).

- Când pompa turbo a ajuns la turația finală, apare săgeata ▼ în dreptul simbolului  (14) și vidarea se face în condiții de siguranță. În acel moment singurele probleme care pot să apară sunt legate de supraîncălzire (simbolul (13) ). Pentru mai multă siguranță puteți inspecta temperatura lagărelor pompei, motorului și electronicii navigând la funcțiile corespunzătoare ale controllerului DCU. De cele mai multe ori, problemele de încălzire sunt determinate de frecare la lagăre, deci dacă se întâmplă, vidarea trebuie oprită și se impune cât mai repede un service al pompei turbo.

De reținut că eroarea cea mai tipică este "Vacuum timeout", caz în care pompa turbo se oprește automat. Cauzele problemelor de vid pot fi multiple, dar cel mai des este vorba de vaporii în incintă sau etanșarea proastă la închiderea ușii de acces (șpan, murdărie sau fire de păr prinse sub garnitura). Pentru etanșare, problema se rezolvă prin simpla curățare a garniturii și flanșei ușii de acces; dar dacă avem contaminare a incintei (vapori), trebuie curățată incinta și se poate reîncerca pornirea vidării. De asigurat că ventilele ac sunt închise, problema de vid poate veni și de la ele.

Cu cât vidul final este mai înaintat, cu atât calitatea depunerii va fi mai bună.

2.6 Introducerea gazului de lucru

Pentru depunere prin sputtering va trebui la finalul vidării introdus în incintă gazul de lucru. **Clapeta din baza incintei (Throttle) trebuie închisă** în scopul protejării pompei turbo la exces de presiune. Pașii de urmat sunt:

- Se acționează butonul rotativ (2) (Throttle) din modulul superior (A) al rackului de comandă (figura 1.6) pe poziția *Close*
- Se setează pompa turbomoleculară în stand-by. Pentru aceasta, în meniul controllerului DCU (11) se navighează cu tastele  și  până la funcția 002 - *Standby* (vezi și secțiunea 2.5); se confirmă intrarea în funcție ( +  simultan); se selectează *ON* cu tastele  sau ; se confirmă ( +  simultan). După această operațiune turația pompei turbo începe să scadă. Controllerul permite setarea turației de standby dintr-o altă funcție; dar valoarea de 70% care este setată din fabricație este corectă pentru ceea ce se dorește.

- Se așteaptă ajungerea pompei turbo la turația de stand-by. Atunci când acest lucru s-a întâmplat, în dreptul simbolului  ((10) în figura 1.7) pe afișajul controllerului apare săgeata ▼. De asemenea săgeata apare și în dreptul simbolului  (14). Se poate verifica turația pompei în orice moment cu funcția 309 - *Act rotspd* a controllerului; ea trebuie să ajungă la 700 Hz.
- Se navighează la funcția 340 - *Pressure* a controllerului DCU pentru afișarea presiunii în incintă.
- Se rotește încet în sens antiorar piulița de reglaj (randalinată) a ventilului ac principal (fig 1.2, 1.3 și 1.5) pentru a introduce argon în incintă, urmărind presiunea afișată de controller, până când se atinge presiunea dorită. Ajustări fine înainte și înapoi pot fi necesare.

Dacă trebuie să se lucreze și cu oxigen adăugat (pentru sputterizare reactivă) se folosește în acest scop ventilul ac secundar (fig 1.2, 1.3 și 1.5). Înainte de introducerea oxigenului, trebuie pornit mass flow controllerul (fig 1.2), care, printr-o derivație din tubul de introducere a gazului de lucru, introduce argon prin valva de purjare a pompei turbo [2] în compartimentul lagărelor acesteia, pentru a evita arderea lor. Mass flow controllerul trebuie reglat la un flux de 25 sccm.

Trebuie ținut cont de faptul că joja de presiune a DCU este calibrată pentru argon; prin urmare presiunea indicată de DCU pentru oxigen, care este un gaz biatomic, va trebui împărțită la 2 pentru a afla valoarea reală. Acest lucru se întâmplă deoarece joja termică este sensibilă la energia moleculelor de gaz, care pentru o moleculă cu i grade de libertate este dată de relația

$$E_i = \frac{i}{2} \cdot n \cdot k_B \cdot T \quad (2.1)$$

unde densitatea n a gazului este direct proporțională cu presiunea, iar $i=3$ pentru argon (monoatomic, 3 grade de libertate) și $i=6$ pentru oxigen (biatomic, are în plus 3 grade de libertate de rotație).

Procedura de obținere a amestecului de gaze este: se introduce argon până la presiunea dorită, după care se completează cu oxigen până la o presiune indicată totală dată de formula:

$$p_{ind} = p_{Ar} + 2 \cdot p_{O_2} \quad (2.2)$$

unde p_{Ar} este presiunea parțială dorită a argonului (introdus în incintă în primul pas) iar p_{O_2} este presiunea parțială de oxigen reală dorită.

2.7 Oprirea instalației

Se execută pașii în ordine inversă.

- Opriți depunerea și alimentarea modulului corespunzător.

- Închideți ventilul/ventilele ac pentru a opri introducerea de gaz în incintă
- Se apasă butonul ❶ al DCU pentru oprirea pomparei. Eventual puteți verifica încă o dată presiunea de bază, chiat și deschizând din nou clapeta "Throttle"
- Verificați că șurubul-fluture de închidere a ușii de acces nu este strâns.
- Așteptați ca pompa turbo să se oprească complet (puteți verifica turația ei prin funcția 309 a DCU. La un moment dat instalația introduce automat aer în incintă și se aude șuieratul valvei de "vent". Presiunea și turația pompei la care se introduce aer poate fi setată din meniul DCU din funcțiile care conțin "vent" / "venting" în denumire. Se recomandă să nu se dezactiveze vent-ul complet decât dacă se urmărește reluarea depunerii în altă zi fără recurățare, pentru că incinta de vid nu poate fi deschisă fără a introduce aer în prealabil. De asemenea, **nu se recomandă venting atunci când turația pompei turbo este mai mare de 500Hz sau presiunea mai mare de $5 \cdot 10^{-1}$ mbar**
- Închideți mass flow controllerul de purjare a pompei turbo
- Opriți întrerupătorul principal (1) de pe rackul de comandă (figura 1.6)
- Închideți apa de răcire.
- Închideți reductoarele și apoi robinetele la buteliile de gaz.

Probleme¹

2.1. Se dorește o depunere prin sputtering reactiv cu 5% oxigen. Pentru o calitate bună a filmului este necesară o presiune minimă de argon de $8 \cdot 10^{-3}$ mbar '. Care este presiunea de oxigen necesară? Ce valoare de presiune indică DCU după introducerea oxigenului?

2.2. Se dorește o depunere prin sputtering reactiv cu 10% oxigen, iar pentru o rată de depunere suficient de mare, o presiune totală maximă de gaz în incintă de 10^{-2} mbar. Ce presiuni de argon și oxigen trebuie introduse și ce valori de presiune indică DCU?

¹ Soluțiile pot fi găsite la sfârșit

Depunerea prin magnetron sputtering

Consultați cu atenție capitolul 2 referitor la pregătirea depunerii. Efectuați toți pașii pregătitori descriși în secțiunea 2.1, reamintiți aici pe scurt:

- 1 - închiderea clapetei de "throttle" (butonul rotativ dreapta sus pe rackul de comandă; Throttle→Close)
- 2 - curățarea incintei; această operațiune trebuie făcută la început pentru lăsa timp acetonei să se evapore.
- 3 - verificarea racordării buteliilor de gaz: argon (necesar la sputtering) și oxigen (pentru sputtering reactiv); nu este nevoie sa racordați o butelie de oxigen daca nu faceți sputtering reactiv, dar atunci aveți grijă ca robinetul de colț (v. fig. 1.2 și 1.3) să fie bine închis. Ajustați presiunea la 0.6 bar din reductorul de pe fiecare butelie folosită.
- 4 - purjarea tubulaturii (prin deschiderea ventilelor ac și apoi închiderea lor
- 5 - pornirea apei în circuitul de răcire și verificarea curgerii ei
- 6 - punerea sub tensiune din butonul MAIN POWER (stânga sus pe rack-ul de comandă)
- 7 - schimbarea țintei, dacă este nevoie. Consultați secțiunea 2.3.
- 8 - verificarea gap-ului cilindrului exterior al capului magnetron (intre buza interioară cilindrului (1) în fig 1.4 și inelul de centrare a țintei (2))
- 9 - montarea substratelor de depunere pe port-substrat, ținând cont de faptul că depunerea are loc pe fața de dedesubt a substratului
- 10 - montarea port-substratului pe tija (11) din partea dreaptă a interiorului incintei; aveți grijă ca normala la suprafața țintei magnetron să treacă aproximativ prin centrul port-substratului la o distanță de aproximativ 11 cm.
- 11 - pornirea vidării (v. secțiunea 2.5). De reținut:
 - Throttle→Open
 - DCU Standby→OFF
 - DCU  și supraveghere presiune și turația pompei turbo.

Trebuie avut grijă ca vidul inițial (numit presiune de bază) să fie cât mai bun. De acesta depinde puritatea și calitatea filmului depus. Presiunea

tipică este $8.6 \cdot 10^{-5}$ mbar și se atinge după cel puțin o oră de vidare, poate chiar mai mult dacă a fost înlocuită ținta.

- 12 - după vidare, trebuie închisă clapeta: Throttle→Close
- 13 - trecerea pompei turbo în stand-by (DCU Standby→ON)
- 14 - introducerea argon (și eventual oxigen) la presiunea dorită prin ventilul ac principal (v. secțiunea 2.6)

ATENȚIE: nu uitați de gazul de purjare a pompei turbo dacă utilizați oxigen!

3.1 Sputtering magnetron de curent continuu (DC)

Metoda de depunere DC magnetron sputtering se caracterizează printr-o rată mare de depunere la puteri de descărcare relativ mici. O țintă dielectrică nu poate fi sputterizată decât acâta timp cât curentul de descărcare poate să treacă prin ea. În consecință, datorită polarității constante, nu pot fi depuse prin sputtering DC decât materiale cu conductivitate mare, tipic metale sau ITO.

Înainte de începerea depunerii, se verifică în spatele rack-ului de putere că mufa cablului magnetronului (un cablu gros) este introdusă în priza **DC power out**. Configurația implicită este pentru sputtering RF deci cel mai probabil mufa va trebui scoasă din priza **RF power out**.

Dacă e nevoie să înlocuiți ținta, consultați secțiunea 2.3.

Efectuați toate operațiile de precătire descrise mai sus până la introducerea gazului. Din acest moment se poate porni descărcarea magnetron DC. Pașii necesari sunt:

- 1 - aveți grijă ca obturatorul magnetronului să fie închis. El se acționează din întrerupătorul (3) de pe rack-ul de comandă. Placa de tablă ((3) în figura 1.4) trebuie să acopere capul magnetron.
- 2 - rotiți în sens invers acelor de ceasornic potențiometrele (2) și (3) ale modului C (DC Sputter Magnetron) al rack-ului de putere (figura 1.8); în acest mod ați setat tensiunea înaltă și curentul de descărcare la valoarea minimă.
- 3 - porniți alimentarea sputtering DC acționând butonul (1) din modulul C al rack-ului de putere
- 4 - rotiți încet în sensul acelor de ceasornic potențiometrul (2) al modului DC Sputter pentru a crește tensiunea și urmăriți ce se întâmplă în interiorul incintei de vid cu capul magnetron. La o anumită valoare a tensiunii indicată de instrumentul din dreptul potențiometrului (2) trebuie să se aprindă o descărcare circulară violacee pe suprafața țintei (2) din figura 1.4.
- 5 - dacă descărcarea nu apare la o valoare rezonabilă tensiunii, încercați deschiderea și apoi închiderea obturatorului
- 6 - dacă tot nu s-a aprins descărcarea, încercați să mai creșteți tensiunea și eventual repetați deschiderea/închiderea obturatorului

- 7 - dacă descărcarea apare și apoi se stinge, încercați să măriți ușor limita de curent din potențiometrul (3) al modulului DC Sputter, dar urmărind și indicația instrumentului de măsurare a tensiunii (2).

O scădere bruscă a tensiunii de descărcare fără scăderea curentului poate însemna că descărcarea a trecut în regim de arc electric. De regulă descărcarea în arc nu se produce pe suprafața țintei, ci pe calea cea mai scurtă, care este gapul între inelul de centrare și cilindrul exterior, ceea ce înseamnă că nu se produce nicio depunere. Acest regim este nedorit și poate chiar să deterioreze cilindrul exterior și/sau inelul de centrare atunci când curentul de arc depășește 1-2 amperi; deci dacă se întâmplă, limitați imediat curentul și reporniți descărcarea conform pașilor de mai sus.

Odată pornită descărcarea magnetron, puterea disipată în ea poate fi calculată din produsul tensiunii și curentului măsurate de instrumentele (2) și (3).

Înainte de a începe depunerea efectivă puterea trebuie crescută progresiv cu obturatorul închis, până când nu mai apar evenimente de trecere în arc și puterea dorită a fost atinsă. În cazul țintelor oxidice, deși o putere de RF de 200-300 W poate fi suficient de sigură, dacă depunerea se face prin sputtering DC o putere mai mare de 50 W poate fi prea mare și să ducă la spargerea țintei. Pentru țintele metalice singurul risc al unei puteri prea mari poate fi vaporizarea explozivă, ducând la apariția de picături pe filmul rezultat.

Este bine ca descărcarea să fie lăsată să meargă aproximativ 1 h la putere mică (<10 W), cu obturatorul închis, pentru curățare a țintei.

Pentru începerea depunerii, se deschide obturatorul din întrerupătorul (3) de pe rack-ul de comandă. O depunere tipică durează peste 3 ore. Presiunea optimă de lucru și puterea necesară pentru depunere sunt specifice fiecărei ținte în parte, și se determină prin încercări succesive și analiza filmelor depuse. Pot fi încercate și diferite distanțe țintă - substrat, valoarea de 11 cm este orientativă. De notat că o distanță prea mică poate duce la deteriorarea substratului și/sau la re-sputterizarea filmelor depuse, iar o distanță prea mare poate duce la o rată de depunere prea mică.

După încetarea depunerii, închideți obturatorul, coborâți curentul și tensiunea de descărcare și opriți modulul DC Sputter. Urmați apoi pașii din secțiunea 2.7 pentru oprirea instalației. După aceea puteți deschide incinta ca să scoateți port-substratul cu filmele depuse.

3.2 Sputtering magnetron de radiofrecvență (RF)

Descărcarea magnetron RF este în principiu același gen de descărcare ca și magnetronul DC; diferența rezidă în faptul că ținta de sputtering este pe rând catod și anod datorită tensiunii alternative la care este supusă. Marele avantaj al unei asemenea abordări este că poate fi menținut un curent de descărcare chiar și printr-o țintă dielectrică, fiind vorba de un curent capacitiv. Acest

lucru se face însa cu un cost: deoarece procesul de sputtering are loc doar când ținta este catod, el se produce efectiv mai puțin de 50% din timp, și anume în perioade de timp mai ici decât o semiperioadă a curentului de descărcare. De aceea rata de depunere depinde mult mai mult de presiune (la presiuni mari, ionii de Ar nici nu au timp să fie accelerați până la țintă) și este mult redusă față de DC sputtering.

Înainte de începerea unei depuneri magnetron RF, se verifică în spatele rack-ului de putere că mufa cablului magnetronului este introdusă în priza **RF power out**. Aceasta este configurația implicită a sistemului.

Studiați cu mare atenție paragraful 1.3.2 "Generatorul de radiofrecvență" al secțiunii 1.3, deoarece reglajul descărcării este delicat și trebuie bine înțeleasă funcționarea generatorului.

Dacă e nevoie să înlocuiți ținta, consultați secțiunea 2.3.

Efectuați toate operațiile de precătare descrise mai sus până la introducerea gazului, la fel ca și la depunerea magnetron DC. Este preferabil, dacă se adaugă oxigen pentru sputtering reactiv, ca acest lucru să fie făcut ulterior, după ce descărcarea magnetron s-a stabilizat; deci pentru a începe introduceți doar argon. Odată parcurși acești pași, se poate porni descărcarea magnetron RF. Din rațiuni practice unele etape menționate la magnetronul DC vor fi repetate aici pentru o mai simplă urmărire. Se procedează după cum urmează:

- 1 - aveți grijă ca obturatorul magnetronului să fie închis. El se acționează din întrerupătorul (3) al rack-ului de comandă, și ca și în cazul magnetron DC, placa de tablă ((3) în figura 1.4) trebuie să acopere capul magnetron.
- 2 - puneți sub tensiune generatorul RF de la butonul (1) *Power* din stânga modului B al rack-ului de putere (fig. 1.8 și fig 1.9)
- 3 - răsuciți în sens invers acelor de ceasornic butonul (3) *Power set* până la minim.
- 4 - apăsați butonul *RF enable* (2). Până acum era aprins LED-ul alăturat "off"; se va stinge și se aprinde LED-ul "on". Din acest moment generatorul va putea debita putere pe magnetron.
- 5 - se mărește puterea RF din butonul (3) *Power set* până când afișajul LED *Incident* (4) arată o putere de 30 W. Foarte probabil va exista și o putere reflectată, indicată de afișajul *Reflectant* (5).
- 6 - Acordul fin: puterea reflectată va trebui minimizată printr-un joc al butoanelor Magnetron Tuner *Source* (6) și *Load* (7). Se efectuează mișcări fine înainte și înapoi din cele 2 butoane. Acestea nu au capăt de cursă, se pot roti la infinit; trebuie rotite stânga-dreapta cu mișcări foarte fine, când unul, când altul, și urmărit afișajul *Reflectant* (5) până când indică zero.
- 7 - dacă butoanele (9) (*Display*) sunt ambele apăsați (High și Peak), pe scala *Forward* a reflectometrului (8) acul indică puterea de 30 W iar pe scala *Reflected* acul va arăta o deviație, semnalând că deși nu există putere reflectată în generator, se reflectă putere din magnetron spre transformatorul adaptor de impedanță (vezi subsecțiunea 1.3.2. Se repetă pasul

precedent (acord fin) până când scade și puterea relectată indicată de reflectometrul (8) cât de mult posibil; totuși, în această etapă ea nu va ajunge niciodată la 0.

- 8 - se urmărește în interiorul incintei de vid capul magnetron; trebuie să se aprindă o descărcare circulară violacee pe suprafața țintei (2) (v. figura 1.4). Dacă nu s-a aprins, deschideți obturatorul (întrerupătorul (3) al rack-ului de comandă) și apoi închideți-l.
- 9 - în caz că nu s-a aprins, mai creșteți puterea RF, dar **nu mai mult de 60 W** și repetați ultimii 2 pași (acord fin și obturator) în creșteri succesive de putere.
- 10 - dacă s-au atins 60 W de radiofrecvență, și descărcarea nu s-a aprins, măriți presiunea de argon în incintă prin deschiderea ventilului ac principal (fig. 1.3 și 1.5. Presiunea se crește în trepte mici și se supraveghează cu atenție (meniul 340 al DCU) pentru a nu se depăși 10^{-1} mbar. După fiecare creștere de presiune, se încearcă închiderea și deschiderea obturatorului, până când descărcarea se aprinde.
- 11 - după aprinderea descărcării, reflectometrul (8) va indica o putere relectată mai mare. Acest lucru este normal. Se face din nou acordul fin, înăi din butonul *Load* (7), apoi din *Source* (8), apoi din nou *Load*, cu mișcări lente, rotații mai mici de 1° în ambele sensuri, până când puterea relectată indicată de reflectometru se apropie de 0. Se are în vedere să rămână 0 și puterea relectată indicată de afișajul LED.
- 12 - odată acordul fin terminat, se coboară încet presiunea de argon până la presiunea de lucru (care trebuie să fie tipic între $5 \cdot 10^{-3}$ mbar și $1.5 \cdot 10^{-2}$ mbar. Presiunea trebuie coborâtă în trepte mici, și după fiecare treaptă refăcut acordul fin, altfel descărcarea se poate stinge și trebuie reluați toți pașii de aprindere.
- 13 - atunci când presiunea a ajuns sub $2 \cdot 10^{-2}$ mbar, poate fi mărită puterea RF până spre 100 W, în trepte mici și ajustând acordul fin, de fiecare dată începând cu acordul sarcinii (*Load*).
- 14 - când a fost atinsă presiunea de lucru a argonului, se continuă creșterea puterii până la puterea de lucru (dacă e peste 100 W), tot alternând cu etape de acord fin. Dacă descărcarea se stinge, înseamnă că a avut loc arc electric. Pentru a evita repetarea acestui lucru, după reaprindere, descărcarea trebuie lăsată să opereze mai mult timp la putere mică și eventual presiune mai mare (preconținerea capului magnetron).
- 15 - atunci când au fost atinse și puterea de lucru necesară, și presiunea de argon necesară, se poate introduce oxigen **dacă este necesar. Asigurați-vă că ați citit cu atenție secțiunea 2.6 înainte de a introduce oxigen!!!**. În timpul introducerii oxigenului, verificați și ajustați în permanență acordul fin.

După parcurgerea etapelor de mai sus, trebuie lăsată descărcarea să meargă minim 15 min cu obturatorul închis (conținerea țintei). Poate fi

necesară și o oră de condiționare pentru a obține un film omogen și de bună calitate.

Pentru începerea depunerii, se deschide obturatorul din întrerupătorul (3) de pe rack-ul de comandă. Depunerea poate să dureze și 6-8 h pentru a se obține o grosime de film utilizabilă. Presiunea optimă de lucru și puterea necesară pentru depunere sunt specifice fiecărei ținte în parte, și se determină prin încercări succesive și analiza filmelor depuse, ca și în cazul sputteringului DC. Pot fi încercate și diferite distanțe țintă - substrat, valoarea de 11 cm este orientativă. De notat că o distanță prea mică poate duce la deteriorarea substratului și/sau la re-sputterizarea filmelor depuse, iar o distanță prea mare poate duce la o rată de depunere prea mică.

După încetarea depunerii, închideți obturatorul, coborâți puterea RF (butonul (3) *Power set* al generatorului RF) și opriți tensiunea de radiofrecvență (butonul (2) *RF enable*). Când LED-ul "off" s-a aprins, opriți alimentarea generatorului RF (butonul (1) *Power* din stânga). Urmați apoi pașii din secțiunea 2.7 pentru oprirea instalației. După aceea puteți deschide incinta ca să scoateți port-substratul cu filmele depuse.

Observații:

- În timpul depunerii se verifică și ajustează din 15 în 15 min acordul fin (puterea reflectată), presiunea, descărcarea și puterea de lucru. Dacă presiunea variază și există și oxigen în incintă, nu se ajustează decât presiunea argonului (ventilul ac principal)
- Dacă descărcarea se stinge des (arcuri electrice), e semn că trebuie curățat capul magnetron și ținta. Pentru curățarea țintei nu se folosesc decât procedee mecanice (șmirghel fin și aer comprimat). **Nu se atinge ținta cu mâna liberă!** Consultați secțiunea 2.3.

Soluții ale problemelor propuse

Problemele din Capitolul 2

2.1 Presiunea reală de oxigen (5%) necesară va fi:

$$p_{O_2} = p_{tot} \cdot \frac{5}{100} = (p_{O_2} + p_{Ar}) \cdot 0.05 = \frac{5 \cdot p_{Ar}}{95} = 4.21 \cdot 10^{-4} mbar \quad (3.1)$$

unde p_{tot} este presiunea totală reală. Se folosește relația 2.2, deci presiunea finală indicată este

$$p_{ind} = 8 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 4.21 \cdot 10^{-4} = 8.84 \cdot 10^{-3} mbar \quad (3.2)$$

2.2 Avem presiunea totală reală

$$p_{tot} = p_{O_2} + p_{Ar} = 10^{-2} mbar \quad (3.3)$$

din care 10% oxigen

$$p_{O_2} = p_{tot} \cdot \frac{10}{100} = 10^{-3} mbar \quad (3.4)$$

și restul argon

$$p_{Ar} = p_{tot} - p_{O_2} = 9 \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

Din nou cu relația 2.2, presiunea indicată va fi $1.1 \cdot 10^{-2}$ mbar

Bibliografie

1. tectra GmbH Physikalische Instrumente (2007)  Sputter Coater and Quatrz Micro Balance Operating Manuals Issue 2.1, Frankfurt
2. tectra GmbH Physikalische Instrumente:  Sputter Coater Additional Manuals
3. RF VII Inc. (2008): RF-3-XIII RF Generator User Manual, Williamstown, New Jersey, <http://www.rfvii.com>
4. Popa Gh, Sirghi L (2000) 8.1.5 Descărcarea magnetron, capitolul 8:271 În: Bazele fizicii plasmei. Editura Universității Al. I. Cuza
5. Hippler R, Bhattacharyya S R , and Smirnov B M (2010) Formation and Deposition of Nanosize Particles on Surfaces, În: Bonitz M, Ludwig P, Horing N (eds) Introduction to Complex Plasmas. Springer Heidelberg Dordrecht London New York
6. Penning F M (1936) Physica 3:873
7. Kay E K (1963) J Appl Phys 34:760