

CURATAREA/SPALAREA TRANSELOR DE SILICIU

Spalarea transelor de siliciu poate fi de 2 feluri:

- a) Cea care pregateste un proces tehnologic in cadrul caruia nu vom avea temperaturi mai mari de 500-600⁰C
- b) Cea in care apare un proces tehnologic in care avem temperaturi de 500-600⁰C (oxidari)

Pentru spalarea A se folosesc exact in aceasta ordine cate minim 5 minute fiecare: tricloretilena; acetona; metanolul; apa deionizata. Cu ajutorul acestei spalari se va elimina materia organica, spalarea facandu-se in special pentru a se indeparta eventualele grasimi.

Tricloretilena este un solvent puternic care prezinta insa si cateva dezavantaje: nu este miscibil in apa (dizolvabila) si deci este nebiodegradabil, lasa un film subtire ca niste pete dupa evaporarea de pe transa de Si, nu este incurajata folosirea in cantitati mari a tricloretilenei datorita problemelor de protectia mediului, dar este foarte buna pentru indepartarea grasimilor.

Acetona nu este un solvent puternic solubil in apa si deci biodegradabil, iar resturile de acetona in urma evaporarii sunt solubile in metanol. Dezavantajul folosirii acetonei este pericolozitatea mare, la 60⁰C ia foc, si faptul ca se evapora foarte rapid.

Metanolul este un solvent mai putin puternic decat primele 2, dar prezinta avantajul de a fi perfect solubil in apa, astfel ca dupa clatirea cu apa, pe transe nu va mai exista nici o urma de solvent. Metanolul nu este un solvent care sa inlature grasimile, dar este foarte eficient pentru saruri, acizi si baze.

Pentru spalarea B se foloseste acid sulfuric (H₂SO₄) in amestec cu apa oxigenata (H₂O₂) in proportie de 50% fiecare, la 105⁰C timp de 10 minute. Se poate folosi si in proportia de 70-30% dar devine prea periculos.

Se clateste cu apa deionizata la temperatura ambianta (19⁰C – in clean room).

Urmeaza o baie de apa deionizata cu apa oxigenata si hidroxid de amoniu (NH₃OH) in proportie de 50-25-25% la o temperatura de 75⁰C timp de 10 minute, dupa care urmeaza o noua clatire cu apa deionizata la temperatura ambianta.

Se mai introduce transa in apa deionizata, apa oxigenata si acid clorhidric (HCl) in proportie de 50-25-25% la temperatura de 75⁰C, timp de 10 minute. O noua clatire cu apa deionizata dupa care in final se foloseste acid fluorhidric (HFl) cu apa in proportie de 2-98% la temperatura ambianta timp de 15 minute si o noua clatire cu apa deionizata.

Acidul sulfuric in amestec cu apa oxigenata inlatura si dizolva fotorasina si contaminariile organice de dimensiuni mari, dar avem si inconveniente cum ar fi atacarea Al.

Amoniacul in combinatie cu apa oxigenata si/sau apa se foloseste pentru a se inlatura rezidurile organice si pentru a neutraliza din punct de vedere electric suprafata Si (va neutraliza impuritatile care atunci cand transa este incalzita la temperaturi mari ar putea sa devina active electric).

Acidul clorhidric in combinatie cu apa oxigenata si apa deionizata este folosit in special pentru inlaturarea ionilor metalici.

Acidul fluorhidric este cel mai puternic folosindu-se de obicei intr-o concentratie de 2% in apa, atacand lent oxizii si asigurand o suprafata hidrofoba (care nu va absorbi apa) atunci cand se foloseste pe Si. Folosirea HFl foarte diluat se explica prin faptul ca suprafata Si are tendinta de a absorbi ioni de Fl.

Curs 2

FOTOLITOGRAFIA

Se foloseste pentru a obtine zone perfect delimitate de metal pe un substrat de siliciu (Si) sau pe un substrat pe care mai avem deja alte zone acoperite cu diverse metale. Aceasta se reuseste in cazul fotolitografiei cu ajutorul rasinilor fotosensibile si a aparatelor de expunere in zone perfect delimitate cu ultraviolete.

Substratul de Si va trebui sa fie foarte bine spalat si uscat inaintea inceperii fotolitografiei. In cazul in care in cadrul proceselor tehnologice ulterioare fotolitografiei intervine oxidarea, spalarea va trebui sa fie una complexa.

Transa spalata se va introduce intr-un sistem de centrifugare. Dupa centrifugare transele se introduc intr-o ETUBA. Etuba este un spatiu in care putem obtine fie vid fie un flux de anumite gaze si temperaturi controlate.

Dupa minimum 30 de minute transa se scoate din etuba si se aseaza pe un dispozitiv de spin-coating. Dispozitivul de spin-coating ne ajuta ca folosind o pompa de vid sa putem centrifuga transele fara ca acestea sa depaseasca dispozitivul.

Dupa fixarea transei pe dispozitiv aceasta poate fi centrifugata sub un flux de gaz de aderență, rolul acestui gaz este de a ajuta la o mai buna aderare a rasinii de suprafata/suprafetele transei.

Dupa aceasta se lasa cateva picaturi de rasina fotosensibila si se roteste transa pentru ca rasina sa se uniformizeze. Grosimea stratului de rasina fotosensibila depinde de viteza, acceleratia si tipul rotirii. Pentru ca solventul din rasina sub forma lichida sa se evapore complet si rasina sa ramana sub forma solida (dura), transa va fi tratata termic pe o plita preincalzita.

Dupa ridicarea transei de siliciu de pe plita incalzita, transa se depune fie intr-o cutie pentru transe, fie intr-o etuba. Intre timp se spala cu acetona si prin rotire masca

pe care o vom folosi in timpul expunerii la ultraviolete. Masca mecanica se realizeaza in principiu din platina.

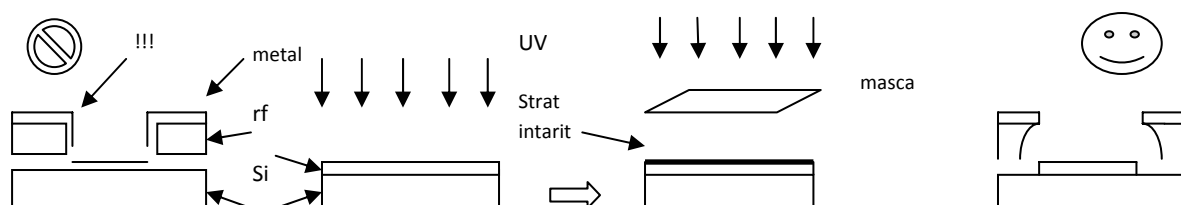
Dupa spalarea mastii, aceasta se fixeaza in aparatul pentru expunere la ultraviolete, sub masca se aseaza transa si se aliniaza in pozitia dorita un binocular. Dupa setarea timpului si a modului de expunere (cu masca la o anumita distanta sau lipita de transa) se realizeaza expunerea la ultraviolete, in zonele in care rasina a fost expusa legaturile chimice ale acesteia vor fi modificate.

Prin introducerea transei intr-un developer rasina din aceste zone va parasi suprafata transei. Dupa scoaterea transei din developer, transa va fi tinuta in apa pura prin care trece un flux de azot (N) gazos, iar apoi va fi spalata si uscata.

Cu ajutorul fotolitografiei putem proteja zone pe care nu dorim sa evaporam alte metale sau putem proteja cu rasina fotosensibila zone pe care a fost deja evaporat metal si pe care nu dorim sa le indepartam prin gravare.

In primul caz va trebui ca stratul de metal evaporat pe transa sa se depuna pe aceasta in asa fel incat atunci cand in final indepartam rasina cu ajutorul acetonei contururile metalice de pe transa sa nu fie afectate. Pentru aceasta forma rasilor protectoare trebuie sa fie una ca de streasina.

Pentru a obtine o astfel de forma, in cadrul procesului de fotolitografie, imediat inaintea etapei de expunere la ultraviolete prin masca se va realiza o expunere scurta de 0,2 – 0,3 secunde printr-o masca complet transparenta.



Acest tip de fotolitografie se numeste fotolitografie lift-off, denumirea venind de la faptul ca atunci cand este indepartata rasina fotoprotectoare, aceasta va duce cu ea

straturile metalice de care nu avem nevoie, fara a influenta conturul straturilor metalice de care avem nevoie pe transa.

Atunci cand in final transa se introduce intr-o baie de acetona, bucati foarte mici de metal care se gaseau pe rasina vor umple baia de acetona iar unele dintre ele vor avea tendinta sa se ataseze de transa, de aceea este bine ca dupa scoaterea transei din baia de acetona, sa se actioneze si mecanic cu ajutorul unui jet lichid pentru a se indeparta toate aceste bucati metalice mici nedorite.

Curs 3

LITOGRAFIA ELECTRONICA

Litografia electronica este o alternativa la fotolitografie, cu ajutorul acestei tehnici pot fi expuse zone mai mici decat in cazul fotolitografiei ajungandu-se la linii subtiri cu o latime de sub 50 nanometri, limita inferioara fiind undeva la 15 nanometri pentru o acuratete foarte buna.

Pentru protectia zonelor se va folosi un polimer PMMA (PollyMethylMethacrilate) care va fi depus in forma sa lichida prin diluare in toluen pe transa de Si prin acelasi procedeu ca si in cazul rasinii fotosensibile (spin-coating).

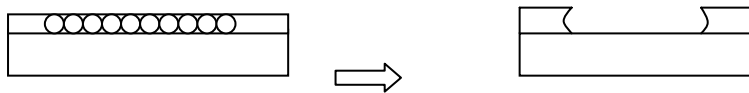
Un spin-coating obisnuit se realizeaza la 5000 rpm timp de 60 secunde, cu acceleratia de 1000 rpm/s. Esantionul este apoi depus intr-un spatiu vidat la temperaturi de 180°C pentru cateva ore. Dupa aceea va fi introdus in microscopul electronic unde din nou trebuie asteptat pana cand se obtine un vid foarte bun. In interiorul microscopului fasciculul de electroni emis de un filament va trebui sa cada perpendicular pe transa, pentru aceasta se vor realiza reglaje ale astigmatismului si ale focalizarii, iar apoi cu ajutorul unui calculator, fasciculul va fi dirijat strict pe zonele in care dorim sa distrugem legaturile chimice ale polimerului. Timpul de expunere va fi mult mai mare decat expunerea cu UV din cazul fotolitografiei, dar avem avantajul de a

putea modifica designul zonelor de expunere mult mai usor (decat in cazul fotolitografiei unde avem o masca ce nu poate fi modificata)

Dupa ce fasciculul de electroni a maturat toate zonele dorite, transa se scoate din microscop si va fi introdusa succesiv in:

1. Methyllsobustylketone:Isopropanol 1:3 timp de 1 min 30 sec
2. Isopropanol timp de 30 sec
3. Apa pura timp de 4-5 min

Prima solutie va juca rolul developerului din cazul fotolitografiei si va face ca PMMA-ul care a fot in interactiune cu fasciculul de electroni sa fie indepartat de pe transa. Isopropanolul si apa pura au rolul de a spala, respectiv de a clati transa. Atunci cand fasciculul de electroni penetreaza polimerul, electronii vor avea tendinta de a difuza (imprastia) si in alte directii decat cea perpendiculara pe transa, dar datorita vitezei lor, a faptului ca stratul de polimer este unul subtire si prost conductor electric si a faptului ca de obicei sub stratul de polimer avem straturi bune conductoare electric, forma zonei afectata de electroni va fi una de picatura.



Obtinandu-se astfel de forme ale polimerului vazute in sectiuni dupa dezvoltare, litografia electronica este foarte indicata pentru a depune dupa aceea straturi metalice cu geometrii foarte subtiri/mici.

Daca dorim sa folosim litrografia electronica pentru a proteja zone metalice si a grava zonele unde dorim sa indepartam metalul, trebuie avut grija ca zonele de gravare sa nu fie foarte foarte mici. Aceasta deoarece portiunile de metal care se desprind de transa in momentul gravarii pot obtura accesul solutiilor pentru gravare datorita formei polimerului de protectie.

Curs 4

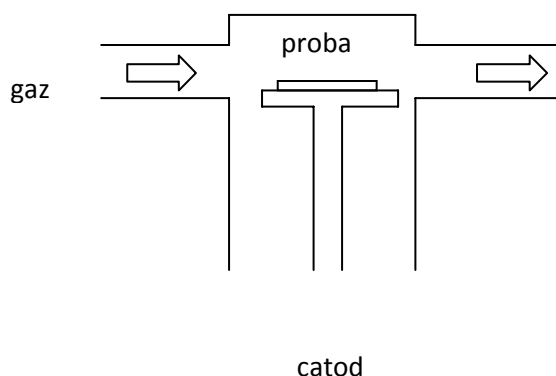
GRAVAREA

Este operatiunea prin care se indeparteaza in mod controlat straturi metalice care nu sunt protejate. Indepartarea straturilor poate fi totala sau partiala atunci cand dorim doar sa subtiem stratul metalic.

Gravarea poate sa fie umeda sau uscata. Intotdeauna gravarea este reproductibila. Gravarea umeda se realizeaza prin scufundarea transelor in solutii care ataca anumite metale. Tot gravura umeda este cosiderata gravarea in mediu de vapori. Gravarea in mediu de vapori se realizeaza prin tinerea probei cu substratul pe care vrem sa il gravam in jos pe post de „capac”, al unui vas in care avem un amestec de solutii care genereaza vapori pe post de agent de gravare. Si aceasta gravare este reproductibila daca toti parametrii care intervin (marimea vasului, concentratia solutiilor, temperatura) sunt aceeasi.

Gravarea uscata se realizeaza intr-o substanta gazoasa, puternic ionizata (plasma).

Gravarea in plasma se realizeaza prin aplicarea unei diferente de potential mare, de ordinul a catorva sute de volti intr-un gaz la presiune mica sau prin aplicarea unui potential alternativ la frecvente foa _{anod} (radio).



Totul se realizeaza in conditii de pompaj continuu.

Exemple de gravari:

Oxidul de Siliciu (SiO_2) se graveaza cu ajutorul unei solutii de acid fluorhidric (HFI) + fluorura de amoniu NH_4F

Siliciul policristalin se graveaza cu acid azotic (HNO_3) + HFI

Siliciul monocristalin se graveaza cu $\text{N}_2\text{H}_4(65\%) + \text{H}_2\text{O}(35\%)$

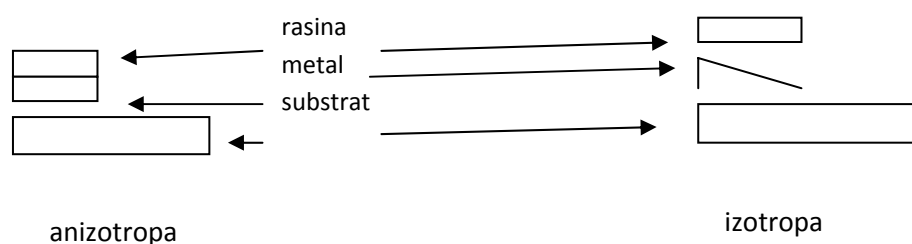
Nitrura de siliciu se graveaza cu H_3PO_4

Aluminiul se graveaza cu $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$

Cromul se graveaza cu $200\text{g Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{NO}_3)_6 + 35\text{ ml CH}_3\text{COOH}(95\%) + 1000\text{ml H}_2\text{O}$ deionizata

Aurul se graveaza cu $\text{HCl}(30\%):\text{HNO}_3(70\%)$ si are o viteza de gravare sau cu $\text{HCl}(30\%):\text{HNO}_3(70\%) + \text{H}_2\text{O}$ si rezulta o viteza de gravare mai mare decat precedenta.

Gravarea uscata poate sa fie anizotropa sau izotropa in functie de conditiile in care are loc.



Pentru	Si se folosesc:	$\text{CF}_4; \text{SF}_6; \text{HBr}; \text{U}_2; \text{NF}_3$	$ \text{SiF}_4$
	SiO_2	$\text{CHF}_3; \text{C}_4\text{F}_6; \text{C}_2\text{F}_6; \text{SF}_6; \text{NF}_3$	$ \text{SiCl}_2$
	Al	$\text{BCl}_3; \text{HCl}; \text{Cl}_2$	$ \text{Al}_2\text{Cl}_6; \text{AlCl}_3$
	GaAs	$\text{Cl}_2; \text{BCl}_2$	$ \text{Ga}_2\text{Cl}_6$

Un avantaj al gravarii lichide este acela ca se pot grava cantitati foarte mari de substraturi in acelasi timp. Insa in cadrul gravarii umede va fi nevoie si de o a doua si o a treia, adica spalarea cu apa deionizata, respectiv uscarea.

In timpul spalarii cu apa deionizata se masoara rezistivitatea apei pentru a putea cunoaste cantitatea de ioni care o contamineaza, provenind din mediul transei. Atunci cand rezistivitatea creste peste o anumita valoare, spalarea poate fi oprita. Iar

uscarea va fi realizata prin centrifugare puternica sau prin suflarea cu un jet de azot gazos sau aer.

Gravarea uscata prezinta avantajul de a avea imediat dupa gravare o transa curata si uscata.

In anumite cazuri gravarea uscata poate afecta structura rasinii sau a polimerului de protectie atat de tare incat acestea nu vor mai putea fi indepartate cu usurinta. In cazul rasinii se poate incerca indepartarea cu ajutorul acetonei incalzita la 50°C, aplicarea ultrasunetelor in jurul barii de acetona, si daca tot nu poate fi indepartata se va introduce intr-un mediu de plasma de oxigen, dar aceasta doar daca plasma de oxigen nu afecteaza eventualele straturi metalice de pe transa.

Curs 5

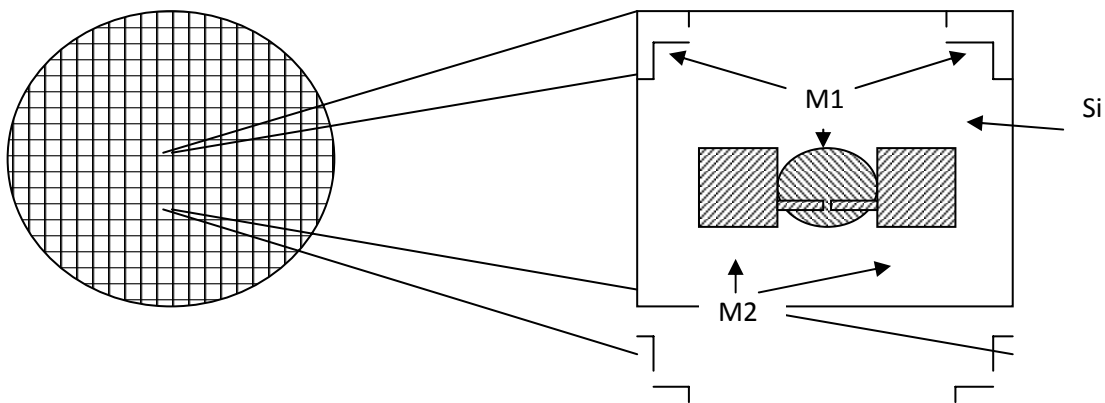
METALIZAREA

Metalizarea este o evaporare și se realizează prin evaporarea unui metal cu ajutorul unei radiații termice puternice într-un mediu vidat în care se află tranșa pe care dorim să depunem.

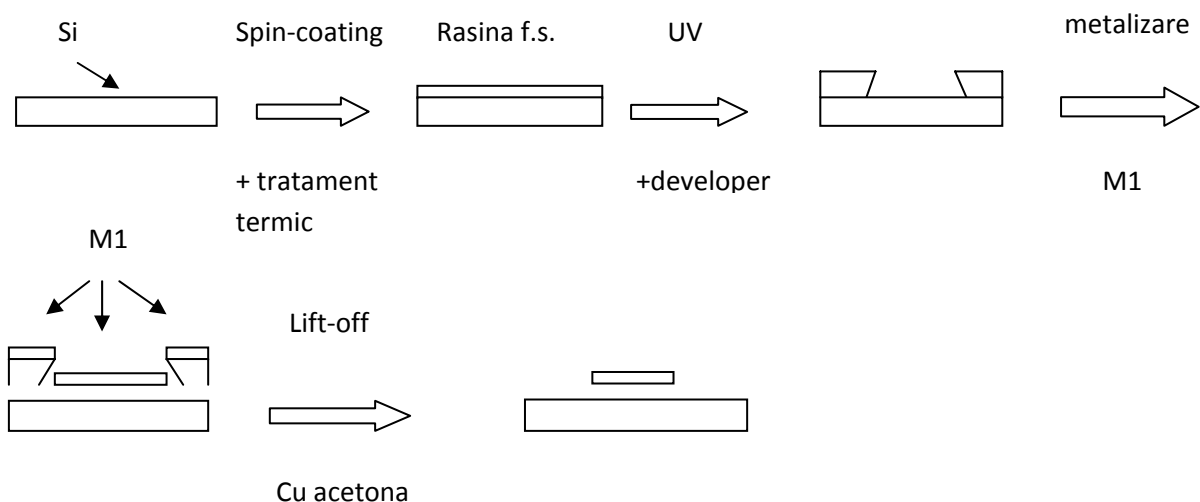
Peretii interiori ai evaporatorului trebuie răciți (criogenic cu N lichid) pentru ca rezidurile metalice rămase de la evaporările precedente să nu se evapore și să afecteze stratul pe care îl depunem.

Exemplu de realizare a unei tranșe:

- Dorim să avem:



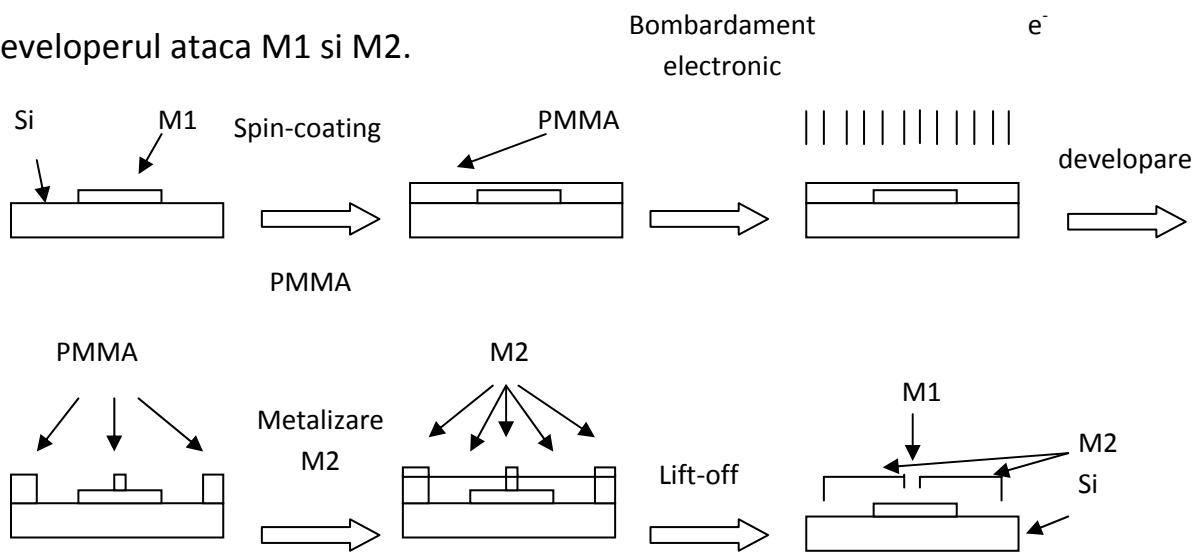
- Developerul rasinii fotosensibile ataca M1 și M2
- Acidul A1 ataca M1 și M2
- Acidul A2 ataca M2 și nu ataca M1



Pentru depunerea M1 s-a ales FOTOLITOGRAFIA LIFT-OFF deoarece este mai rapida decat litografia electronica. Nu s-a ales fotolitografia urmata de gravare din cauza faptului ca developerul ataca M1 si deci am fi ptruns pe sub rasina protectoare afectand marginile discului metalic M1.

Reperetele din colturi pot fi facute fie deodata cu procesul tehnologic pentru M1, fie deodata cu cel pentru M2. Daca nu este neaparat ca reperetele sa fie de dimensiuni foarte mici este preferabil sa se foloseasca fotolitografia (la fel ca pentru M1).

Pentru M2, observam ca avem dimensiuni foarte mici, astfel ca vom alege sa folosim LITOGRAFIA ELECTRONICA. Fotolitografia nu putea fi oricum folosita deoarece developerul ataca M1 si M2.



TEHNICA MBE (MOLECULAR BEAM EPITAXY)

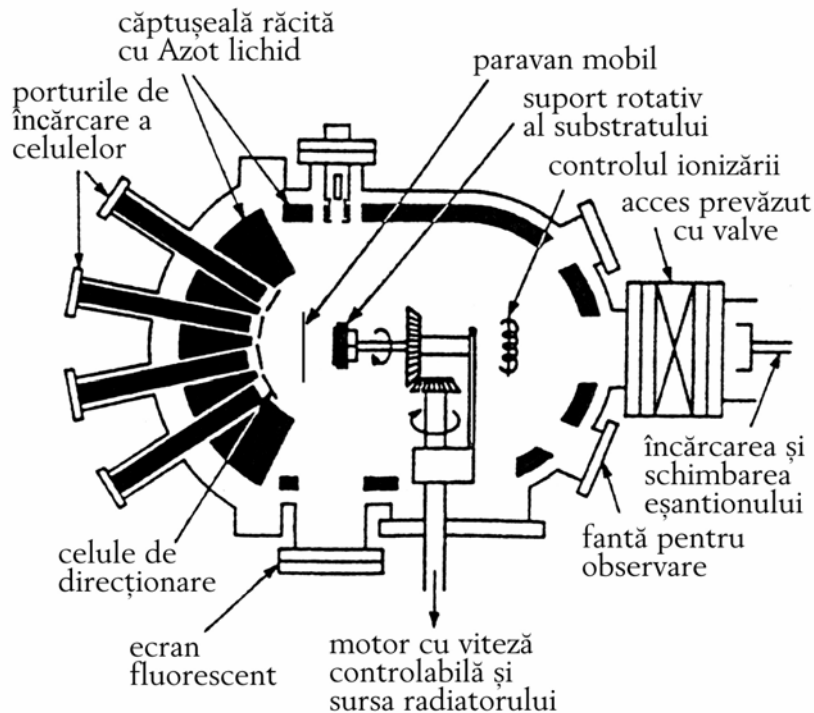


Figura prezintă o schemă a principalelor componente, a camerei de preparare, a sistemului MBE în care se prepară probele. Această secțiune a sistemului prezintă o vedere de sus a incintei.

Sistemul este construit din oțel inoxidabil și este conectat la una sau mai multe pompe de vid care funcționează încontinuu. Vidul care trebuie obținut este unul de sub 10^{-10} tori. Substratul este crescut în centrul incintei, între sursa de căldură și celulele de direcționare. Aceste celule rezistente la temperaturi mari sunt pline cu elemente purificate ce vor fi evaporate spre substrat. Într-un mediu foarte bine vidat, fluxurile elementare dinspre celule suferă coliziuni neglijabile pe drumul spre probă astfel ca fluxul depunerii poate fi controlat cu un grad înalt de precizie.

Pentru ca să obținem un strat cu rețea cristalină trebuie ca și substratul pe care facem depunerea să aibă o structură de rețea cristalină. Pentru a realiza cu succes o

structura semiconductoare cu ajutorul metodei MBE este esentiala potrivirea temperaturii probei cu cea a cursului molecular. In afara asigurarii unui mediu cu presiune foarte mica, un alt criteriu de care trebuie tinut seama este asigurarea ca elementul unic ce atinge proba vine de la sursa controlata si nu provine de la emanarile suprafetelor fierbinti, de la peretii camerei sau de la pompe.

Ca mijloc de realizare a acestei necesitati, peretii interiori ai camerei de crestere au fost captusiti criogenic cu N_2 lichid. Acest blindaj criogenic asigura si o pompare mai buna si de asemenea o izolare termica intre celulele de directionare. Acestea reduc semnificativ contaminarea esantioanelor cu elemente straine deoarece orice impuritati care nu sunt emanate dinspre sursele sistemului trebuie sa sufere cel putin o ciocnire cu peretii. Daca blindajul criogenic acopera o portiune mare de suprafata interioara cele mai multe dintre impuritati au o probabilitate mare de a condensa inainte de a atinge esantionul.

Intregul sistem consta din 3 camere cu vid inalt, separate prin intrari prevazute cu valve. In mod normal doar una dintre aceste camere este permis a fi deschisa la presiune atmosferica, si aceasta doar atunci cand se schimba esantioanele, folosind o gluga. Prin aceasta intrare se introduc si capsulele ce contin elementele pure ce vor ajunge in celule cu ajutorul unui trenulet mobil. Dupa ce se pompeaza pana la un vid cat mai bun, trenul este deplasat in urmatoarea incinta denumita camera de separare. Daca vreuna din ultimele 2 camere este deschisa la presiunea atmosferica, pompajul pentru a se reveni la vidul necesar depunerilor dureaza peste o luna la temperaturi de peste $200^{\circ}C$. Aceste deschideri au loc doar daca sunt descoperite scurgeri sau fisuri esentiale in interior.

In vederea asigurarii unei presiuni cat mai scazute se foloseste un sistem de pompare alcatuit din o pompa ionica standard de 400 l/s si 2 criopompe cu circuit inchis cu He de 3000 l/2. Verificarea presiunii se face cu un manometru cu raze X care poate masura pana la aproximativ 10^{-12} tori.

Atunci cand celulele sunt incalzite (Al = $830^{\circ}C$, Ga = $635^{\circ}C$, As = $135^{\circ}C$, Si = $635^{\circ}C$, substratul = $130^{\circ}C$) presiunea se va degrada cu un ordin de marime.

Curs 7

OXIDAREA

Oxidarea poate servi ca si:

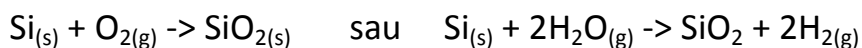
- Masca pentru implantare sau difuzie de dopant
- Strat de protectie la suprafata Si
- Zona de izolare electrica intre diferite componente ale unei structuri integrate
- Strat activ in cazul tranzistoarelor MOS (oxid de grila)

Exista mai multe tehnici de obtinere a oxidului:

- Oxidarea termica in prezenta O₂ – numita oxidare uscata
- Oxidarea termica in prezenta O₂ si vaporilor de apa – oxidare umeda
- Oxidarea termica numai in prezenta vaporilor de apa – oxidare in vapori
- Oxidarea pe cale electrochimica – oxidare anodica
- Oxidarea cu ajutorul plasmei de O₂

Oxidarea Termica in Prezenta O₂ – Oxidarea uscata

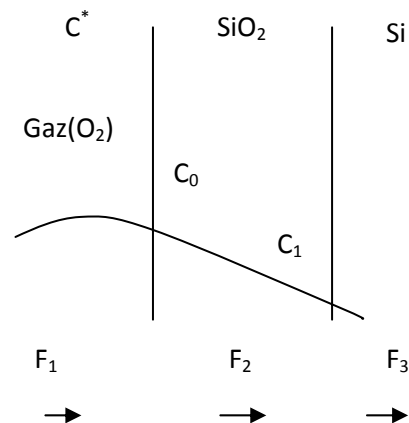
Oxidarea siliciului are loc la temperaturi de peste 600°C



Oxidarea este mai rapida in prezenta vaporilor de apa decat in atmosfera uscata a oxigenului. Oxidarea in prezenta vaporilor se realizeaza la temperaturi joase si pentru straturi mai subtiri a oxidului dorit, procesul fiind limitat de degajarea de hidrogen gazos. Pentru straturi mai groase ale oxidului, oxidarea este limitata doar de catre difuzia oxigenului in stratul de oxid deja format, stratul nemaicrescand liniar cu timpul ci cu radical din acesta.

Oxidarea se realizeaza dinspre suprafata spre interiorul substratului.

Sa analizam transferul de oxigen din faza gazoasa spre suprafata exterioara a suprafetei pe care dorim sa o oxidam sau spre oxidul deja format. Viteza acestui transfer este proportionala cu diferenta concentratiei de oxigen la suprafata oxidului (C_0) si in faza gazoasa (C^*) respectand o functie $F_1 = h(C^* - C_0)$ unde h = coeficientul de transport de masa de gaz.



Transportul oxigenului prin oxid are loc prin difuzie si este proportional cu gradientul concentratiei din oxid, respectand functia: $F_2 = D \frac{dC}{dx}$; D=coeficient de difuzie a oxigenului in oxid de Si.

Cea de-a treia functie depinde doar de concentratia de oxigen $F_3 = KC_1$; K=constanta cinetica.

Oxidul se foloseste si pentru izolarea laterala intre diferite dispozitive ale unui circuit integrat. Mai demult pentru tehnologia pMOS se realiza cresterea unui strat de oxid foarte gros care se grava in locurile in care trebuiau sa se afle tranzistoarele. Un astfel de procedeu facea sa apara o distanta intre Si si Oxigen ceea ce punea probleme atunci cand se dorea acoperirea acestor zone prin metalizare.

Tehnica LOCOS (LOCAl Oxidation Silicon) rezolva aceasta problema. Se depune un strat de Nitrura pe Si, nitrura constituind o bariera contra difuziei oxigenului chiar si la temperaturi mari. In timpul oxidarii, oxigenul creste doar in afara zonelor active, trecerea de la Si la Oxigen realizandu-se mai treptat. Se foloseste un strat fin de oxid

sub nitrura pentru a relaxa tensiunile mecanice dintre Si si nitrura datorare coeficientilor de dilatare diferiti.

De masca de nitrura se poate profita pentru a implanta Bor la suprafata regiunii de tip p pentru a se evita probleme de inversie de camp care pot duce la scurtcircuitarea surselor si grilelor tranzistoarelor circuitului. In timpul cresterii LOCOS asistam la o tendinta de desprindere a nitrurii cauzata de difuzia oxigenului sub nitrura spre la margini atunci cand traverseaza stratul de oxid. Rezulta un profil al oxidului numit Cioc de pasare datorita formei sale.