

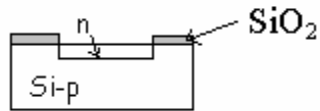
Cap. Pelicle în tehnologia microelectronicii

Fără pelicle nu există circuite integrate (CI). În electronică se utilizează trei tipuri:

- pelicle dielectrice;
- pelicle conductoare (metalice);
- pelicle epitaxiale (semiconductoare).

Toate ledurile, receptorii, laserele au la bază pelicle epitaxiale.

Peliclele dielectrice se utilizează pt. formarea locală a joncțiunilor pn.



Un condensator pelicular are în construcția sa: peliculă metalică, dielectric, peliculă metalică. În circuitele VLSI sunt un șir de trasee de contacte întretăiate care se izolează cu pelicle dielectrice. Tranzistorul MOS utilizează pelicula dielectrică. CI după ce este realizat se utilizează o peliculă dielectrică pt. pasivizarea circuitului integrat.

Peliclele metalice se utilizează la dispozitive și circuite integrate.

- plăcile condensatorului sunt pelicle metalice;
- dispozitivele cu barieră Shotchi.

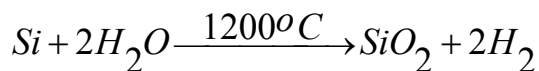
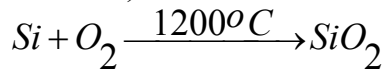
Peliclele epitaxiale pot avea grosimea între zeci de nm și până la 10μm

Epitaxie: „epi” – pe , „taxis” – a așeza, se așează o peliculă monocristalină pe un semiconductor monocristalin. Au cea mai mare utilizare.

Pelicle dielectrice

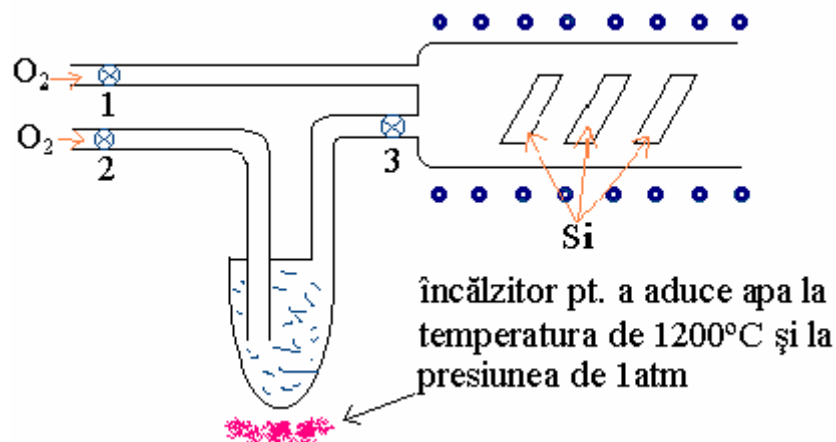
Oxidarea termică a Si

Plachță de Si o introducem într-un cuptor electric la o temperatură de 1000-2000°C. Dacă se introduce O₂ în cuptor pe plachetă se depune rugină (se oxidează în atmosferă de O₂).



În calitate de oxidant poate fi utilizat: O₂ uscat, vapori de H₂O, și un amestec: O₂ umed.

Instalația industrială, care în principiu poate îndeplini oxidarea în oxigen uscat, oxigen umed sau în vapori de apă este:



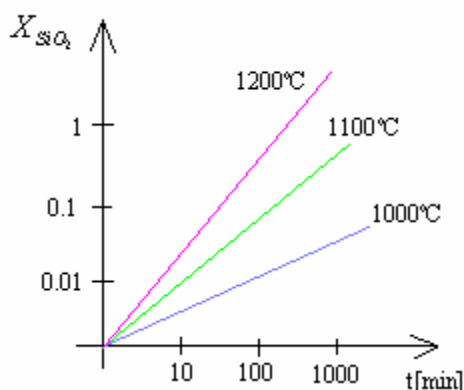
Într-un singur proces se pot introduce 100 de plachete de Si. Oxidarea se face într-un tub deschis.

1 deschis – se realizează oxidarea cu oxigen uscat;

- 2 deschis – se realizează oxidarea cu vapori de apă;
- 2 și 3 deschise – se realizează oxidarea în oxigen umed.

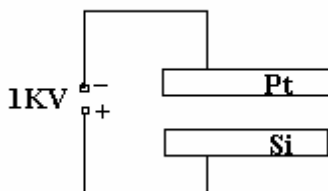
Procesul oxidării în oxigen uscat

Când oxidăm în O_2 uscat pelicula obținută are o calitate înaltă (pelicula nu are pori și are o viteză mică de corodare în HF), însă viteza de creștere a peliculei în O_2 uscat este destul de mică.



Cu cât temperatura este mai mare cu atât viteza de creștere este mai mare

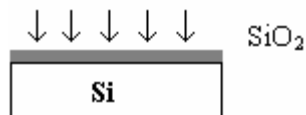
O_2 la temperatura de $1200^\circ C$ este sub formă de ioni negativi.



La câmp de $1KV/cm$ viteza de creștere se majorează și ca urmare placheta atrage ioni negativi.

Procesul de oxidare în vapori de apă

În vapori de H_2O calitatea oxidului este mult mai rea, însă viteza de creștere este mult mai mare. S-a dovedit că în cazul oxidării cu vapori de H_2O , pe suprafața plachetei



se formează prima peliculă de SiO_2 prin care vaporii de apă ar trebui să difuzeze pt. a oxida în continuare. Se demonstrează că vor difuza prin pelicula de oxid doar grupări de hidroxil (OH). Acestea vor forma pori în oxid.

Din aceste considerente viteza de creștere la oxidarea în vapori de apă este mai mare decât viteza de creștere în oxigen uscat.

Problema oxidării în oxigen umed

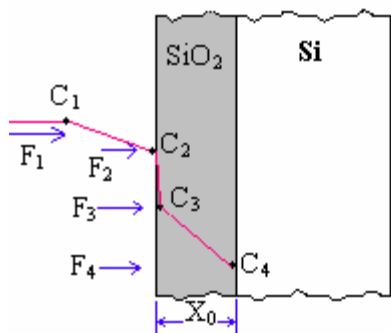
Oxidând în O₂ umed noi putem regăsi calitatea. Adăugând vapori de apă se strică însă calitatea dar mărim viteza de creștere.

Procesul oxidării ideale este: se face întâi oxidare în O₂ uscat, după care se dă drumul la vapori și oxidăm în vapori de apă, după care din nou oxidăm în O₂ uscat.

Obs.! Pt. obținerea peliculei de SiO₂ de 1μm se oxidează în O₂ uscat timp de o oră.

Practic se fac pelicule de 0.1μm prin oxidare în O₂ uscat, vapori de H₂O, O₂ uscat în timp de 1-2h.

Cinetica oxidării termice a Si

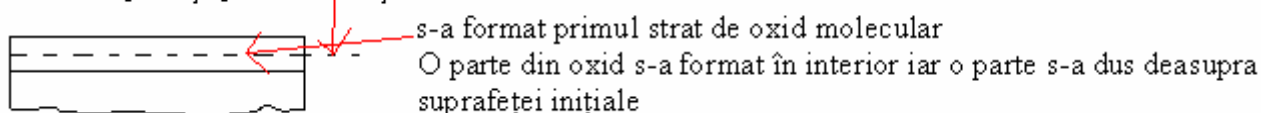


Avem o plachetă de Si pusă în reactor și fluxul de O₂ merge paralel suprafeței plachetei. Concentrația C₁ reprezintă cantitatea de atomi a oxidantului în 1 cm³. Spre stânga punctului concentrația este ct. Pe suprafața peliculei concentrația oxidantului este C₂ (C₂<C₁).

C₃ – concentrația oxidantului dizolvat în oxid;

C₄ – concentrația oxidantului la suprafața plachetei de Si – numai acest oxidant poate intra în reacție chimică și poate forma oxid.

Suprafața plachetei inițiale



Fluxul se realizează întotdeauna când sunt diferențe de concentrații, și reprezintă cantitatea de atomi ai oxidantului care pătrund într-o unitate de timp printr-o unitate de suprafață, F[at/cm²*s].

$$F_1 = h(C_1 - C_2)$$

$$F_2 = \delta(C_2 - C_3)$$

$$\vec{F} = -D \frac{\partial \vec{C}}{\partial X} \quad , \text{unde: } h - \text{constanta vitezei transportului de masă în faza gazoasă;}$$

$$F_3 = D \frac{C_3 - C_4}{X}$$

$$F_4 = K \cdot C_4$$

δ - constanta vitezei dizolvării oxidantului în oxid;

\vec{F} - flux de difuzie;

F₃ – flux de difuzie al oxidantului

K – constanta vitezei reacției chimice între oxidant și Si.

Pt. un regim stabilit, toate fluxurile sunt egale: $F_1=F_2=F_3=F_4$

$$F_2 = F_4 \Leftrightarrow \delta(C_2 - C_3) = K \cdot C_4 \Rightarrow \frac{K}{\delta} = \frac{C_2 - C_3}{C_4}$$

$$F_3 = F_4 \Leftrightarrow D \frac{C_3 - C_4}{x} = K \cdot C_4 \Rightarrow \frac{K \cdot X}{D} = \frac{C_3 - C_4}{C_4}$$

$$\Leftrightarrow \frac{K}{\delta} + \frac{K \cdot X}{D} + 1 = \frac{C_2 - C_3}{C_4} + \frac{C_3 - C_4}{C_4} + 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{K}{\delta} + \frac{K \cdot X}{D} + 1 = \frac{C_2}{C_4}$$

$$\text{Notăm: } C_2 = \frac{C_1}{\alpha > 1} \Rightarrow \frac{K}{\delta} + \frac{K \cdot X}{D} + 1 = \frac{C_1}{C_4} \Rightarrow C_4 = \frac{\frac{C_1}{\alpha}}{\frac{K}{\delta} + \frac{K \cdot X}{D} + 1}$$

$$F_4 = K \cdot C_4 = \frac{\frac{C_1 \cdot D}{\alpha}}{\left[\left(\frac{1}{\delta} + \frac{1}{K}\right) + \frac{X}{D}\right] D} \Rightarrow F = \frac{\frac{C_1 \cdot D}{\alpha}}{\left(\frac{1}{\delta} + \frac{1}{K}\right) D + X}$$

Viteza de creștere a peliculei: $v = \frac{dX}{dt} = \frac{F}{N_0} = F \cdot V$; X- grosimea peliculei; N_0 - nr.

de atomi care se formează într-o unitate de volum; V- volumul oxidului format.

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\frac{C_1 \cdot D \cdot V}{\alpha}}{\left(\frac{1}{\delta} + \frac{1}{K}\right) D + X}; \text{ unde notăm constantele: } \left(\frac{1}{\delta} + \frac{1}{K}\right) D = \frac{A}{2} \text{ și } \frac{C_1 \cdot D \cdot V}{\alpha} = \frac{B}{2}.$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\frac{B}{2}}{\frac{A}{2} + X} = \frac{B}{A + 2X} \Rightarrow \int (A + 2X) dX = \int B \cdot dt \Rightarrow \mathbf{X^2 + A \cdot X - B \cdot t = 0}$$

reprezintă ecuația matematică a oxidării termice a Si.

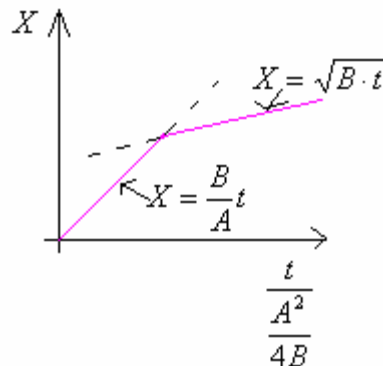
$$X_{1,2} = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 + 4B \cdot t}}{2} \Rightarrow X = -\frac{A}{2} + \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 + B \cdot t} \Rightarrow X = -\frac{A}{2} + \frac{A}{2} \sqrt{1 + B \cdot t \left(\frac{2}{A}\right)^2} \Rightarrow$$

$$X = \frac{A}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{t}{\frac{A^2}{4B}}} \right);$$

$$\text{I - } t \gg \frac{A^2}{4B} \Rightarrow X = \frac{A}{2} \cdot \frac{\sqrt{B \cdot t}}{\frac{A}{2}} = \sqrt{B \cdot t};$$

$$\text{II - } t \ll \frac{A^2}{4B} \Rightarrow X = \frac{A}{2} \left(-1 + 1 + \frac{B \cdot t}{\frac{2A^2}{4}} \right) = \frac{B}{A} t.$$

Reprezentare grafică:



Creșterea peliculelor subțiri de SiO₂ prin oxidarea termică a Si

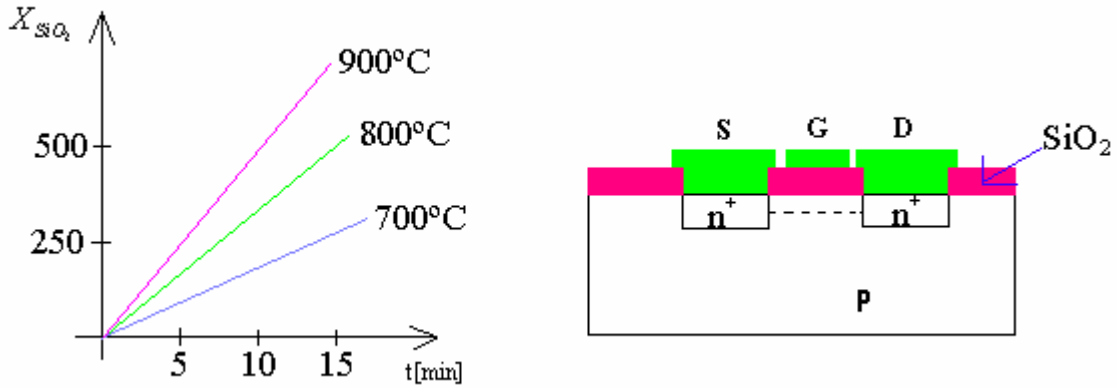
În CI pe scară mare grosimea peliculei de SiO₂ este mai mică decât 500Å (100 de straturi moleculare de SiO₂). Aceste pelicule se caracterizează printr-o tensiune de străpungere $E_{\text{str}} \text{ SiO}_2$ (peliculă groasă) = 10^6 V/cm și $E_{\text{str}} \text{ SiO}_2$ (peliculă subțire-500Å) = $5 \cdot 10^7 \text{ V/cm}$.

S-a observat din analiza cinetică că grosimea peliculei de SiO₂ depinde liniar de

timp: $X_{\text{SiO}_2} = \frac{B}{A} t$, când $t \ll \frac{A^2}{4B}$, unde $\frac{B}{A}$ - constantă care în cazul creșterii peliculei la

nivel de 500Å, aceasta trebuie înmulțită cu 10, rezultă deci că viteza de creștere a peliculei subțiri este mult mai mare ca la cele groase.

Cu cât timpul este mai mare, cu atât grosimea peliculei este mai precisă, calitatea este mai bună dacă aceasta este oxidată în oxigen uscat și la temperaturi minime posibile. Se dorește ca timpul de oxidare să fie cât mai lung pt. a putea controla bine grosimea (se vor folosi 400 – 450°C).



S-a constatat că oxidarea uscată nu este bună în cazul obținerii de pelicule de 500Å. Aceste pelicule conțin ioni de Na^+ (ioni sateliți).

Dacă la G punem 1V la 500Å \Rightarrow câmpul $E = \frac{1V}{500 \text{ Å}} = \frac{1V}{500 \text{ Å} \cdot 10^{-6} \text{ cm}} \cong 10^4 \frac{V}{\text{cm}}$, $1 \text{ Å} = 10^{-4} \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ cm}$.

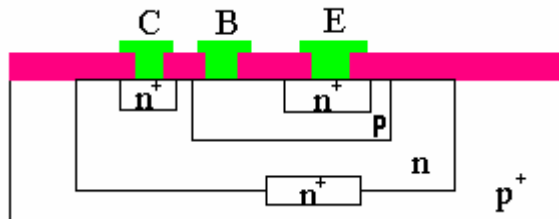
Ionii de Na în câmpul electric polarizează dielectricul. Noi trebuie să punem la G un potențial pozitiv ca să iasă negativ sub G. Dar dacă ionii polarizează, rezultă că câmpul neutralizează câmpul electric format de electroni și atunci ar fi ca și cum nu s-ar fi aplicat nici un potențial (ionii se vor orienta după câmp și vor anula câmpul electric format de electroni). Noi trebuie să scăpăm însă de acești ioni de Na din pelicula subțire (apăreau și în pelicula grosă dar nu deranjează), și putem proceda în felul următor.

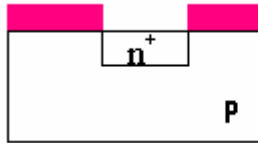
Soluție: în procesul de oxidare termică a Si, în oxigenul uscat se adaugă vapori de acid clorhidric (HCl):

$HCl + Na^+ \rightarrow NaCl + H_2^+$ - se obține molecula de sare de bucătărie care este neutră în câmpul electric.

Pt. a obține pelicule subțiri sub 500Å, este necesar de oxidat Si la temperaturi joase, în atmosferă de oxigen uscat cu adăugarea vaporilor de HCl.

Stratul îngropat în tranzistor:





Pt. a face acest strat îngropat în tranzistor noi am făcut oxidare termică, fotolitografie, ș. a. m. d.

Neajunsul principal a oxidării termice a Si (pt. a obține o peliculă de 1 μm grosime trebuie să avem la oxidare temperaturi mari) este temperatura mare care face ca abrupțea joncțiunilor să se piardă în urma redifuziilor impurităților dintr-o regiune în alta.

S-a pus problema obținerii de pelicule de SiO₂.

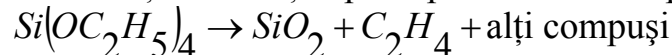
Depunerea peliculelor de SiO₂

Această metodă dă posibilitatea de micșorare a temperaturii de depunere a peliculei, și astfel pelicula poate fi depusă pe orice suport. Dar calitatea peliculei nu este însă la fel de bună ca la oxidarea termică.

Pt. a depune pelicule de SiO₂ se folosește așa numita metoda pirolizei, care se mai numește și descompunerea termică a unei substanțe care conține molecula de SiO₂.

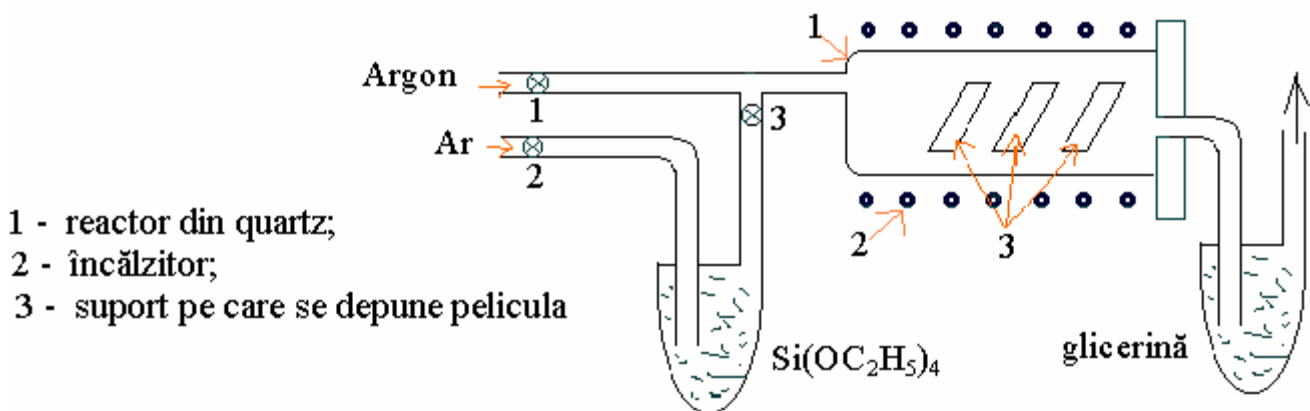
În tehnologia microelectronicii se folosește ca substanță inițială (din grupa *alcooxisilane*) *tetraetaxisilanul*, o substanță organică care are formula: Si(OC₂H₅)₄. Această substanță are temperatura de fierbere t=167°C și temperatura de descompunere (piroliză) t=728 – 840°C.

Construcția instalației pt. depunerea acestei pelicule de SiO₂ este:



Această substanță reprezintă un lichid străveziu (în condiții atmosferice) care în principiu se poate polimeriza sub acțiunea razelor solare. Este o substanță otrăvitoare.

Formarea peliculei:

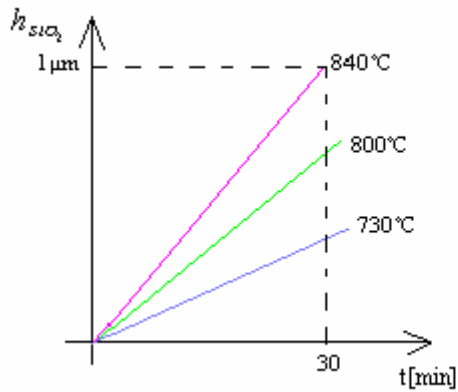


- 1 - reactor din quartz;
- 2 - încălzitor;
- 3 - suport pe care se depune pelicula

Pași: - robinetul 1 deschis ⇒ este scos aerul din reactor și intră argonul.

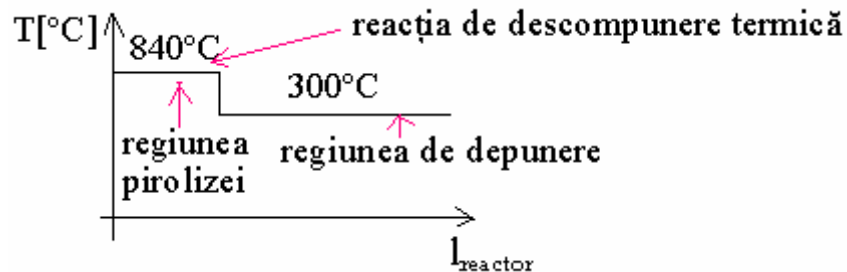
Obs.! Se folosește glicerina pt. că are o presiune a vaporilor saturați mică și nu intră în reactor.

- se închide robinetul 1, se deschide robinetul 2, vine Ar și pe suport are loc reacția de piroliză.



Viteza reacției chimice depinde exponențial de temperatură (grosimea peliculei crește odată cu temperatura plachetei)

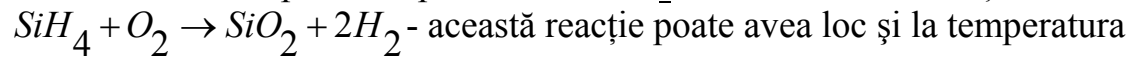
Putem să avem un cuptor cu două regiuni de temperatură:



Putem depune pelicula pe orice suport la 300°C deoarece are o adeziune bună pe suport.

Legea tehnologiei: orice operație se îndeplinește la temperaturi mai joase decât temperatura de la operația precedentă (în tehnologie în general).

Altă metodă de depunere a peliculei de SiO_2 care are la bază reacția:

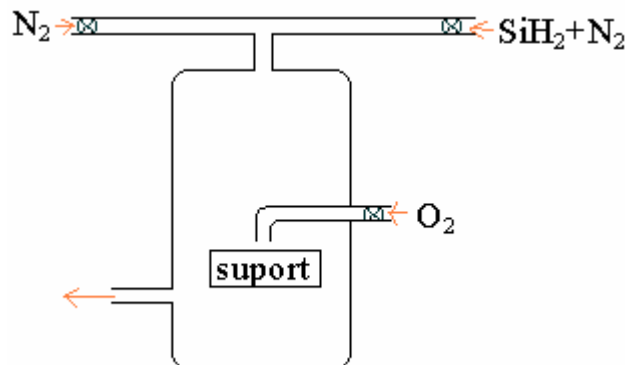


camerei;

SiH_4 – silan, este un gaz explozibil în reacție cu aerul.

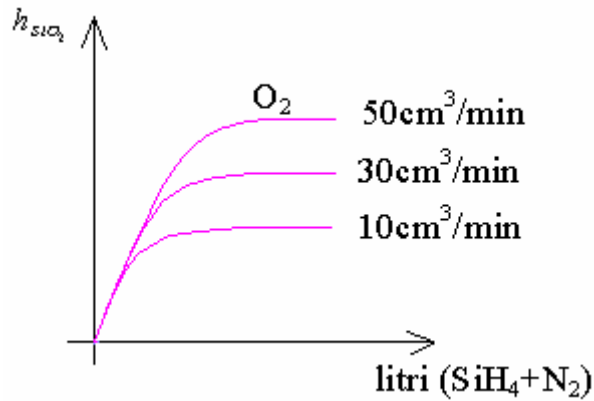
Pt. a nu exploda trebuie să punem cantități foarte mici din această substanță.

Instalația:



N_2 este folosit pt. a evita pericolul exploziei și de a scoate aerul din instalație.

O_2 vine exact deasupra suportului pt. ca pelicula să se depună numai pe acesta și nu pe toți pereții instalației.



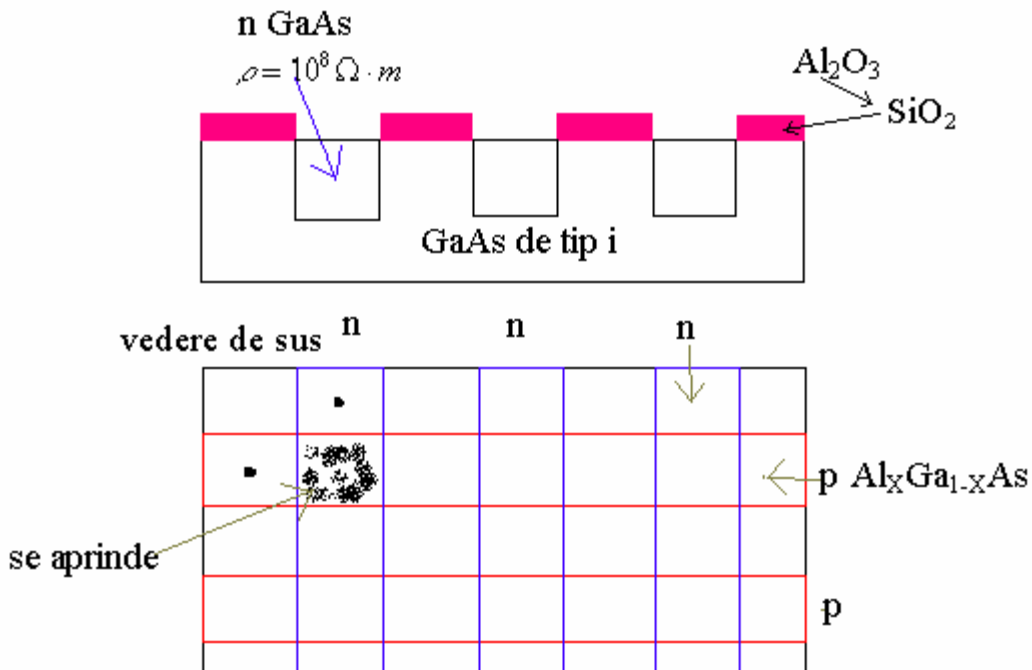
Grosimea peliculei crește linear cu concentrația lui SiH_4 , și viteza reacției la un moment dat este constantă (la O_2).

Depunerea peliculei de Al_2O_3 și Si_3N_4

Aceste pelicule se caracterizează prin diferiți parametri:

- pelicula de SiO_2 se dizolvă numai în HCl pe când pelicula de Al_2O_3 și Si_3N_4 pot fi dizolvate (corodate) în acid ortofosforic la temperatura de $70 - 80^\circ\text{C}$.
- pelicula de Al_2O_3 are cea mai mare valoare a lui ϵ față de SiO_2 ; Si_3N_4 se caracterizează printr-o tensiune de străpungere mare.

Pe această plachetă trebuie crescută o matrice de leduri și apoi o matrice de fotoreceptori:

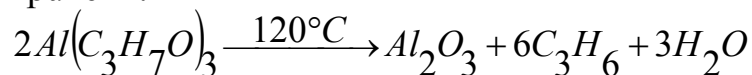


Pt. mască nu se poate folosi SiO_2 pt. că se dizolvă în GaAs topit. Ca urmare dacă această peliculă este înlocuită cu o peliculă de Al_2O_3 , atunci este posibilă umplerea canalelor cu GaAs .

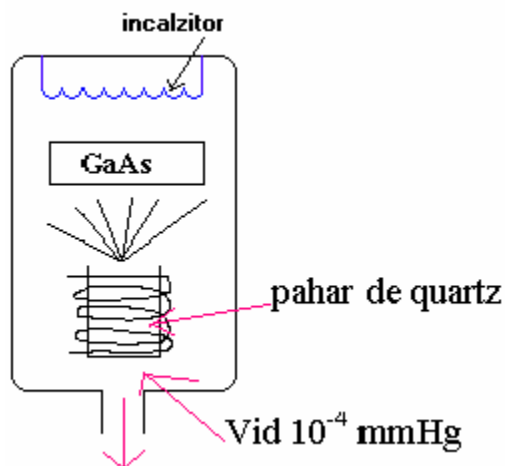
Și astfel a fost formată prima matrice de leduri.

Obținerea peliculei de Al_2O_3

Cea mai simplă metodă este cea de descompunere termică a moleculei de $Al(C_3H_7O)_3$ (această substanță reprezintă un praf alb și intră foarte ușor în reacție chimică cu vaporii de apă din aer). Această moleculă la temperatură nu mai mare de $120^\circ C$ se descompune în:



Instalația folosită:



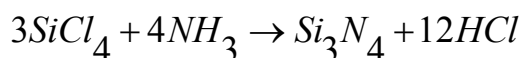
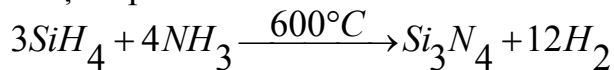
Se încălzește până la $450^\circ C$.

Când temperatura ajunge la $120^\circ C$ toată substanța se vaporizează momentan. Grosimea peliculei depuse depinde de cantitatea de substanță din vaporizator. Această substanță hidrolizează foarte ușor, nu poate fi pusă în contact cu atmosfera. Ea trebuie cântărită cu mare precizie. Într-un bol se pune cântarul și în atmosferă de Ar se cântărește.

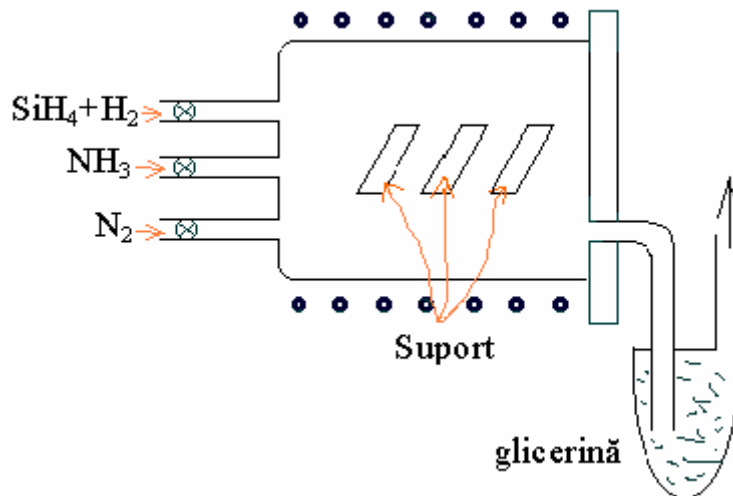
Pelicula are culoarea proporțională cu grosimea (grosimea peliculei se determină prin culoare).

Obținerea peliculei de Si_3N_4

Se obține prin metoda care are la bază reacția chimică:



Instalația: - grosimea peliculei depinde de fluxul reactanților: SiH_4 , NH_3 , N_2 .



Obs.! Întâi se dezlocuiește aerul.

Măsurarea grosimii peliculei dielectrice

Măsurarea are o mare importanță pt. aplicarea acestor pelicule în anumite cazuri. Cea mai simplă metodă de măsurare este metoda măsurării precise.



Putem cântări masa suportului cu peliculă $\Rightarrow P_{sup} + pel$;

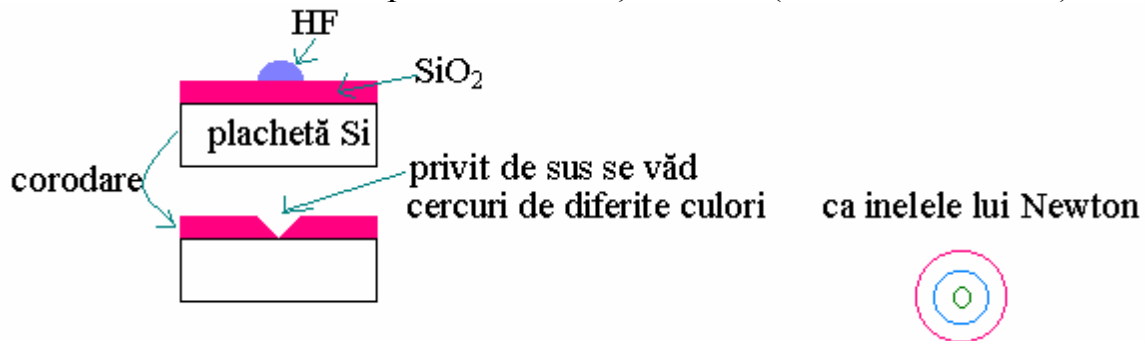
Corodăm pelicula $\Rightarrow P_{sup}$;

Grosimea peliculei: $X = \frac{P_{sup} + pel - P_{sup}}{\rho \cdot S}$;

Masa: $m = \rho \cdot v = \rho \cdot S \cdot X$; v- volumul, S – suprafața.

În industrie se folosește metoda culorilor pt. determinarea grosimii peliculei.

Obs.! Culorile unsoirii cu apa în interferența luminii (Inelele lui Newton).



Culorile curcubeului pot fi repetate, în funcție de grosimea peliculei.

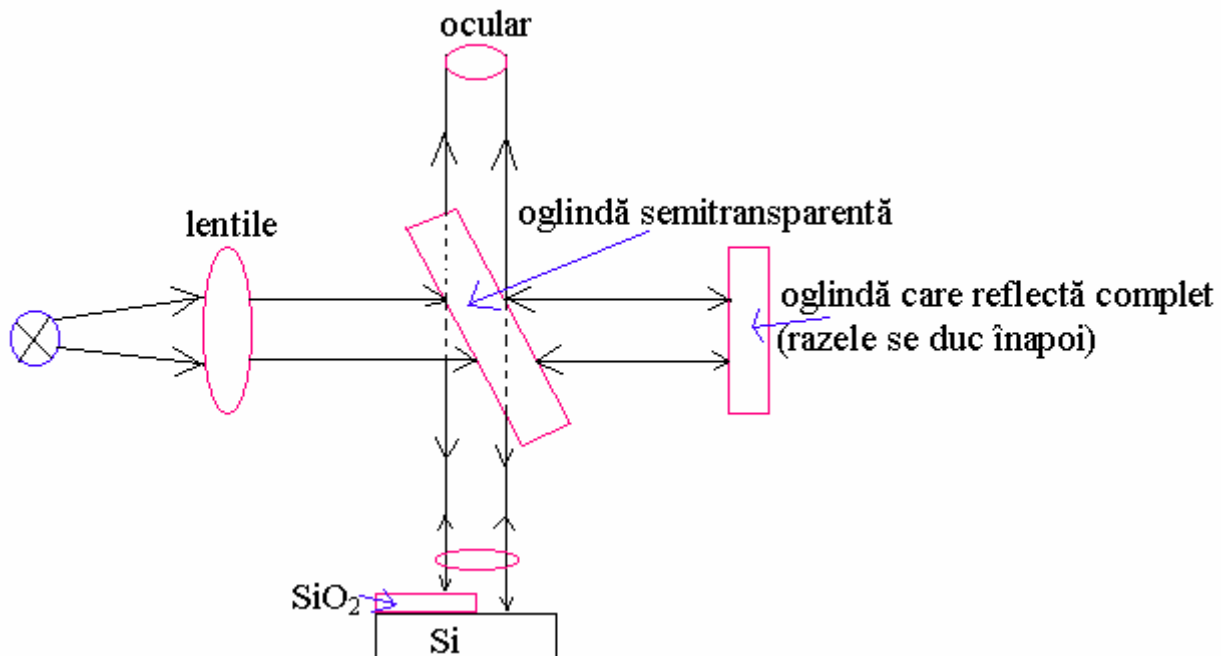
Determinăm ordinul de interferență. De exemplu la suprafață vedem roșu și mai vedem încă de două ori \Rightarrow ordinul de interferență = 3. Se folosește un tabel în care în funcție de culoare și ordin de interferență \Rightarrow grosimea peliculei.

	Ordin de interferență		
culoare	1	2	3
Cafeniu deschis	50Å	500Å	1000Å
Roșu	80Å	800Å	1300Å
Galbeu			
Albastru			

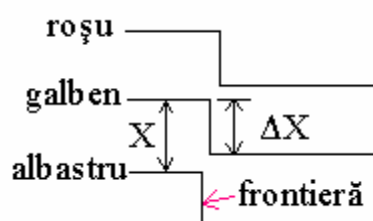
Dacă culoarea nu este omogenă \Rightarrow grosimea nu este omogenă.

Altă metodă de măsurare cu ajutorul unui microscop interferențiomtric care ne dă posibilitatea să măsurăm grosimea peliculei.

Schema acestui microscop:



În ocular se observă:



Dacă aceste raze nimeresc pe o suprafață omogenă, nu trebuie să existe acea frontieră.

Dacă lumina (raza) este verde avem: $h_{SiO_2} = \frac{\Delta X}{X} \cdot \frac{\lambda}{2}$;

$\lambda_{verde} = 0.550 \mu m \Rightarrow h_{SiO_2} = 0.275 \frac{\Delta X}{X}$ - așa se calculează grosimea peliculei.