

Fișa tehnologică:

7.1 Fabricarea plachetelor

Fabricarea plachetelor. In oricare proces VLSI placheta reprezinta materialul de la care se porneste. In tehnologia Si – CMOS, placheta se realizeaza dintr-un lingou de siliciu monocristalin. Lingoul se obtine printr-un procedeu de tragere dintr-un creuzet, in care se afla siliciu pur topit la o temperatura de circa 1475 °C. Cea mai frecventa metoda de obtinere a lingoului din siliciu monocristalin se datoreaza lui Czochralski. Lingoul reprezinta un monocristal de Si, aproape fara defecte, cu o lungime de mai multe zeci de centimetri si cu un diametru de circa 10 cm. Pentru a impiedeca aparitia altor impuritati, monocristalul este dopat N. Monocristalul este taiat sub forma unor discuri/plachete cu o grosime, din considerente mecanice, de circa 300 μm, intrucat structurile electrice nu depasesc in grosime 10 μm. Placheta, de regula de tip N, este acoperita cu un strat epitaxial de Si aproape intrinsec, inainte de a incepe procesul de fabricare a circuitului integrat. Aceasta prelucrare initiala conduce la cresterea rezistentei latch-up. Partea posterioara a plachetei poate beneficia de un proces de implantare ionica pentru reducerea rezistentei electrice de contact, la impachetarea finala

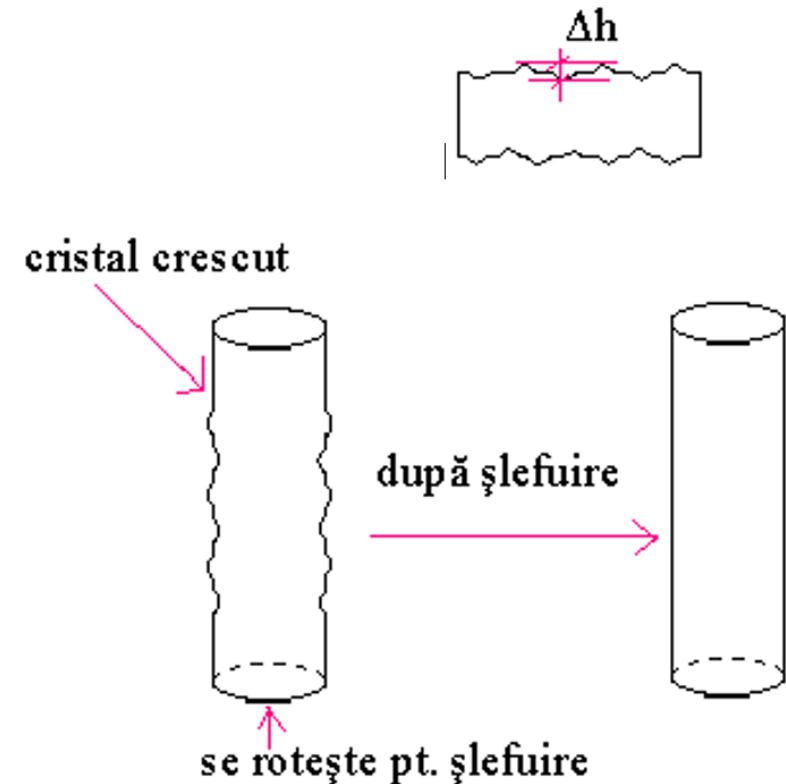
7.1. 1 Procesul de prelucrare a plachetei.

Pentru a fi supuse proceselor tehnologice placheta se prelucrează mecanic și chimic. Prelucrarea mecanică a plachetei constă în tăierea, șlefuirea și poleirea ei. Inițial placheta se taie și în urma tăierii suprafața ei este acoperită cu un șir de defecte care dau plachetei o grosime ne uniformă. Cu scopul de a înlătura defectele de la suprafață și de a da plachetei o grosime uniformă se face șlefuirea plachetelor, după care se face poleirea lor. În urma poleirii pe suprafața plachetei au mai rămas defecte mecanice și fizice. Pentru a se înlătura placheta se supune prelucrării chimice (corodări chimice a suprafeței defectate) înainte de prelucrarea chimică placheta se purifică. Prelucrarea chimică se face cu scopul de:

- a înlătura stratul de defecte de pe suprafață
- a subția placheta până la grosimea necesară
- a face corodarea selectivă

După ce am efectuat operațiile de prelucrare chimică

a plachetei, ea este deja gata pentru aplicarea proceselor tehnologice necesare pentru obținerea circuitelor integrate.

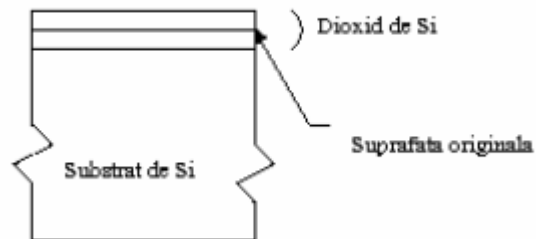


7.1.2 Procesul de purificare a plachetei.

Placheta se purifică prin fierbere în solvenți organici: acetonă, toluen, izopropanol, fiind necesar pentru înlăturarea diferitor grăsimi și alte impurități.

7.2. Procesul de oxidare termică a plachetei, fotolitografia și impantarea ionică.

Oxidarea se referă, de regula, la creșterea sau depozitarea SiO_2 pe suprafața plachetei. La o temperatură înaltă de $1000\text{ }^\circ\text{C}$ și într-o atmosferă de O_2 , o plachetă expusă se va oxida. Această structură de SiO_2 folosește Si de pe plachetă, fiind plasată, atât în materialul plachetei, cât și pe suprafața acesteia, după cum se va vedea în desenul de mai jos.



Acest proces crește un strat de SiO_2 de calitate, care poate fi folosit, fie ca dielectric izolator, fie ca oxid pentru poarta. În prezent, oxidul de poarta cu cele mai bune proprietăți electrice este format prin oxidare termică. Aceasta impune ca procesele care vor urma să aibă loc pe Si expus.

Procesul de oxidare, intensificat prin încălzire până la temperaturi ridicate poartă denumirea de oxidare termică. Oxidarea termică poate fi făcută prin trei metode.

- în vapori de apă
- în oxigen uscat
- în oxigen umed.

Pentru a primi un strat de oxigen de calitate foarte înaltă dar totodată într-un interval de timp mare folosim oxidarea în oxigen uscat, iar pentru a micșora timpul de petrecere a oxidării însă în același timp pierdem din calitatea oxidului folosim oxigenul umed.

În cazul nostru trebuie să primim un strat de $0,1\mu\text{m}$ și folosim oxidarea în oxigen uscat.

Adică petrecem procesul de oxidare într-o etapă :

- depunem un strat cu grosimea de $0,1\mu\text{m}$ în oxigen uscat

7.2.1. Depunerea stratului de oxid în oxigen uscat.

Procesul de oxidare îl petrecem la temperatura de $T=1200\text{ }^\circ\text{C}$, depunem un strat cu grosimea de $0,1\mu\text{m}$ în oxigen uscat.

Timpul de oxidare în oxigen uscat îl calculăm conform expresiei

$$t_1 = \frac{X^2}{B} = \frac{0,01}{0,045} = 14\text{ min}$$

$B=0,045\mu\text{m}^2/\text{h}$ - dat în tabelul constantelor pentru oxidarea termică a Si.

7.2.2. Depunerea fotorezistului.

Fotolitografia este un complex de operații îndeplinit consecutiv pentru definirea topologiei circuitului integrat. Fotolitografia este principalul proces tehnologic pentru producerea dispozitivelor semiconductoare și circuitelor integrate.

Esența fotolitografiei este următoarea:

Pe suprafața special prelucrată se depune un strat subțire de fotorezist (material polimeric dizolvat în solvenți organici sensibil la razele ultraviolete cu caracter pozitiv sau negativ). După uscarea fotorezistului se formează o peliculă destul de dură. Iluminarea acestei pelicule subțiri printr-o fotomască care va împiedica schimbarea proprietăților fotorezistului în anumite regiuni ale plachetei necesare pentru operațiile urătoare.

Developarea și polimerizarea peliculelor ne dă posibilitatea să obținem un relief necesar pentru a petrece alte procese, adică domenii cu fotorezist (niște ferestre în fotorezist). Deci avem nevoie de fotomăști și de fotorezist.

Există fotoreziști pozitiv și negativi. Cel mai des se folosesc fotoreziști pozitivi deoarece au proprietăți mai bune.

Procesul de fotolitografie constă din mai multe operații tehnologice:

1. Inițial se efectuează purificarea plachetei conform p. **5.1.1** .
2. Se depune materialul (fotorezistul) pe suprafața plachetei prin metoda centrifugă timp de 30 secunde la frecvența $\omega = 1300$ rot/min.
3. Aprecierea calității fotorezistului depus se poate determina la vedere, adică stratul de fotorezist trebuie să fie depus uniform pe suprafața plachetei (să nu fie cu diferite defecte, regiuni unde nu a nimerit fotorezistul).
4. Uscarea stratului de fotorezist se face de obicei la temperatura de 90°C în instalația cu raze infraroșii, care permit uscarea uniformă timp de 15-20 min (acest timp nu este strict dar poate varia în dependență de instalație).
5. Pentru a petrece fotolitografia exact în locurile necesare aliniem placheta cu Masca nr. 1 „**Regiunea de tip p**”, documentul Nr1.
6. După aceasta exponăm în instalația cu lumină ultravioletă, timpul optimal de expunare este aproximativ 8s (acest timp iarăși depinde de proprietățile fotorezistului, de intensitatea razelor ultraviolete ș.a.).
7. Efectuăm developarea, introducând placheta exponată în soluție slabă de KOH (0,5%).
8. Spălăm placheta în apă distilată, după care o uscam cu ajutorul centrifugii timp de 1 min.
9. Coacerea fotorezistului rămas se face în aceeași instalație cu raze infraroșii la temperatura de 120°C timp de 10 min. Avem ca scop mărirea durabilității a stratului de fotorezist.
10. Înlăturarea stratului de oxid, corodarea plachetei în locurile unde nu este protejată de fotorezist în soluție de HF:NH₄F:H₂O cu proporția 1:3:7 la viteza de corodare $0,001 \mu\text{m} / \text{s}$. NH₄F se adaugă pentru a evita apariția SiF₄ care poate desprinde pelicula de fotorezist de pe plachetă.
11. După încheierea procesului de corodare placheta se spală în apă de-ionizată și se usucă într-un flux de azot încălzit până la temperatura de 50°C .
12. Se înlătură pelicula de fotorezist în baza KOH (5%), și se efectuează din nou spălarea plachetei în apă de-ionizată.

7.2.3 Procesul de difuzie.

Difuzia este procesul de pătrundere a atomilor unei substanțe în altă substanță datorită mișcării termohaotice. Difuzia poate avea loc în toate stările materiei: gaze, lichide, corpuri solide și plasmă.

Pentru a obține regiunea p trebuie de efectuat procesul de difuzie. În calitate de impuritate utilizăm atomi de bor ce se conțin în gazul B₂He. La temperaturi mai mari de 300°C are loc piroliza B₂He cu formarea borului elementar. Reacția are loc în mediu oxidant ce conține până la 0.01% de B₂O₃ și până la 2.5% O₂ în atmosferă de azot. Efectuăm difuzia în două etape:

- Inițial petrecem predifuzia folosind sursa semiinfinită,
- Apoi petrecem difuzia propriu zisă dintr-o sursă limitată.

Vom calcula în mod mai special acest proces, stabilim parametrii necesari pentru difuzia propriu zisă, și apoi vom calcula pre-difuzia : T₂=1150°C, D₂=10⁻¹² cm²/s, x_{tot}=6μm, N(x,t)=1,5*10¹⁵ cm⁻³.

Fie concentrația finală în stratul de izolare 10¹⁹ cm⁻³, x_{tot}=6μm-calculul difuziei.

$$X_{p-n} = 2\sqrt{D_2 t_2} \cdot \sqrt{\ln \frac{N_{02}}{N(x,t)}}$$

$$t = \frac{x^2}{4D \left(\sqrt{\ln \frac{N_0}{N(x,t)}} \right)^2} = \frac{36 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 10^{-12} \left(\sqrt{\ln \frac{10^{19}}{1.5 \cdot 10^{15}}} \right)^2} = 2,8 \text{ ore}$$

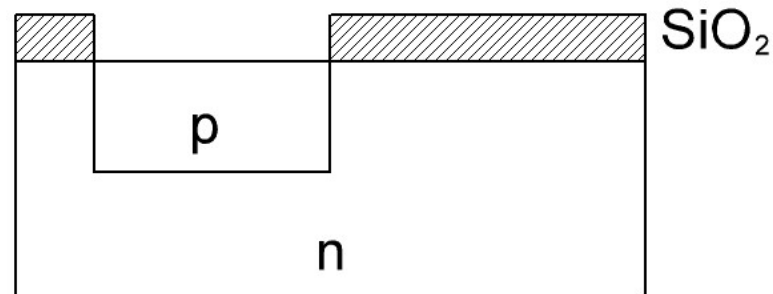
$$Q = N_{02} \sqrt{\pi D_2 t_2} = 2,39 \cdot 10^{15}$$

Știind cantitatea de atomi de care avem nevoie fixăm $t_1=10$ min alegem temperatura de efectuare a difuziei de $T_1=1050^\circ\text{C}$, pentru care $D_2=10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$, $N_0=10^{21} \text{ cm}^{-3}$:

$$t = \left(\frac{Q}{2N_{01}} \right)^2 \frac{\pi}{D_1} = \left(\frac{2.39 \cdot 10^{15}}{2 \cdot 10^{21}} \right)^2 \frac{3.14}{10^{-14}} = 440(\text{s}) \approx 7 \text{ min} = 0.12 \text{ ore}$$

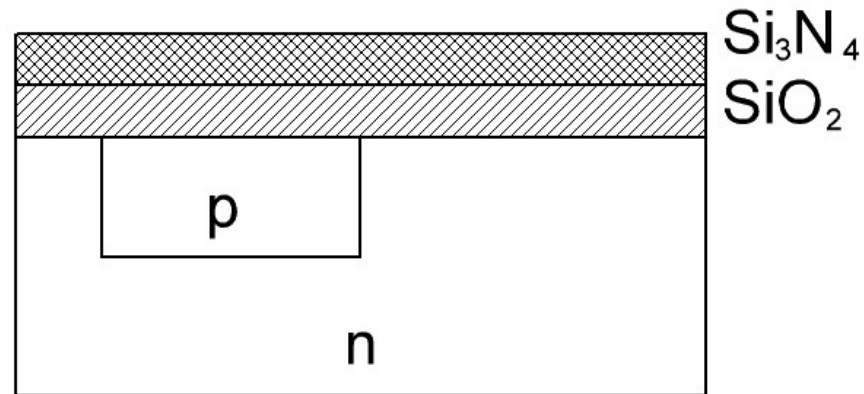
Difuzia dintr-o sursă semi-infinită se va petrece la $T_1=1050^\circ\text{C}$, $t_1=440\text{sec}=0.12\text{ore}$.

Difuzia dintr-o sursă limitată se va petrece la $T_2=1150^\circ\text{C}$, $t_2=2.8\text{ore}$



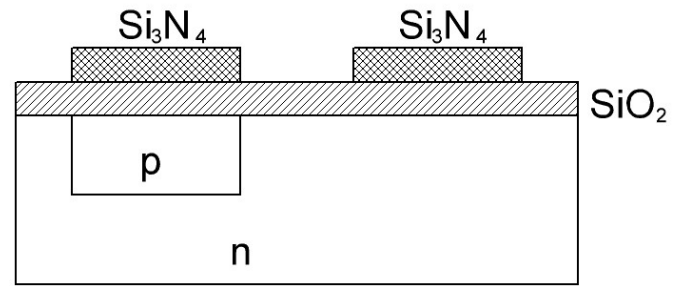
7.3. Corodarea oxidului și depunerea de SiO₂ și Si₃N₄.

Corodarea oxidului se efectuează ca în punctul 4.2.2.10. Iarăși depunem un strat de oxid pentru a efectua izolarea prin tehnica LOCOS. Oxidarea o petrecem conform descrierii expuse în punctul 4.2.1. După ce am crescut stratul de SiO₂ în oxigen umed creștem un strat Si₃N₄ pentru a nu permite trecerea O₂.



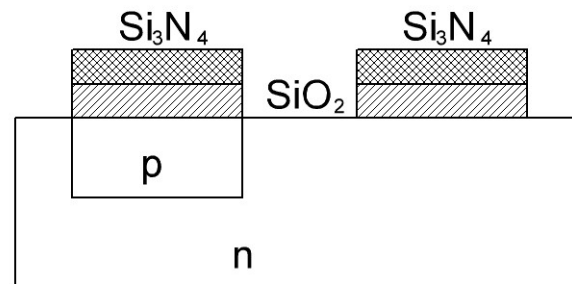
7.4. Fotolitografia pe Si_3N_4 .

Efectuăm fotolitografia pe Si_3N_4 pentru a izola regiunile unde vor fi tranzistoarele de tip p și n, aliniem placheta cu Masca nr.2 "Regiunile pentru Si_3N_4 ".



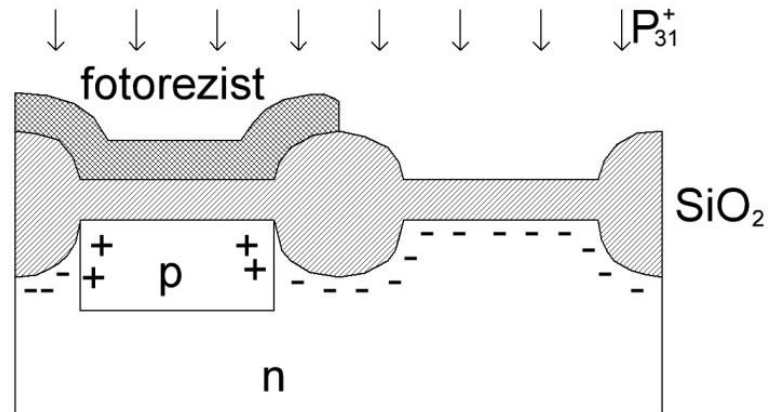
7.5. Corodarea oxidului.

Corodarea oxidului se efectuează ca în punctul 4.2.2.10.



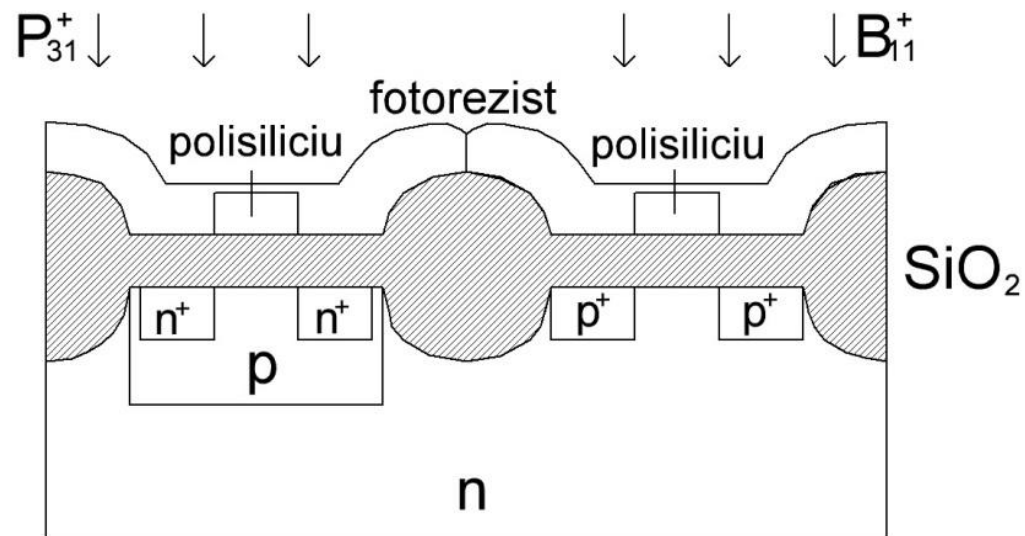
7.6. Efectuarea oxidarii, fotolitografiei, și implantării ionice .

Oxidarea o petrecem conform descrierii expuse în punctul 4.2.1. fotolitografia o efectuăm ca în punctul 4.2.2 pentru a izola regiunea p la implantarea ionică. Implantarea ionică o efectuăm cu ajutorul elementului P_{31}^+ , aliniind placheta cu masca nr.3 ”**Implantarea ionică**”.



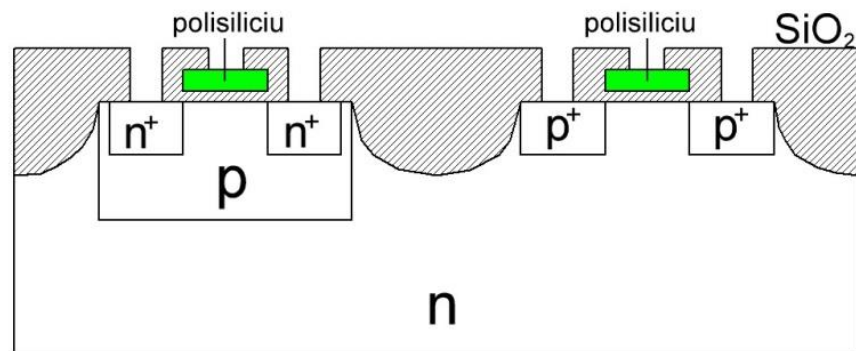
7.7.Efectuarea înlăturării fotorezistului, depunerea polisiliciului, fotolitografia, depunerea și fotolitografia fotorezistului, implantarea ionică .

Înlăturăm fotorezistul și depunem polisiliciu pentru formarea grilei, efectuăm fotolitografia polisiliciului aliniind placheta cu masca nr.4 "Polisiliciu", depunem un strat de fotorezist și efectuăm fotolitografia pentru implantarea ionică cu B_{11}^+ , depunem fotorezist în pe suprafața regiunii n și efectuăm implantarea ionică cu P_{31}^+ .



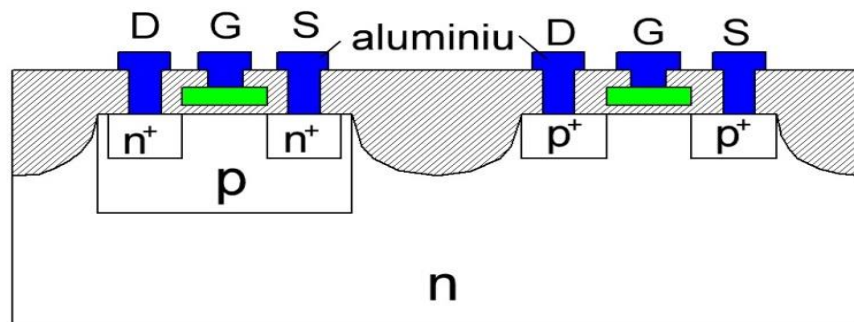
7.8. Efectuarea oxidării și deschiderea ferestrelor de contact .

Acest proces se efectuează la alinierea plachetei cu masca nr.5 "Ferestrele de contact".



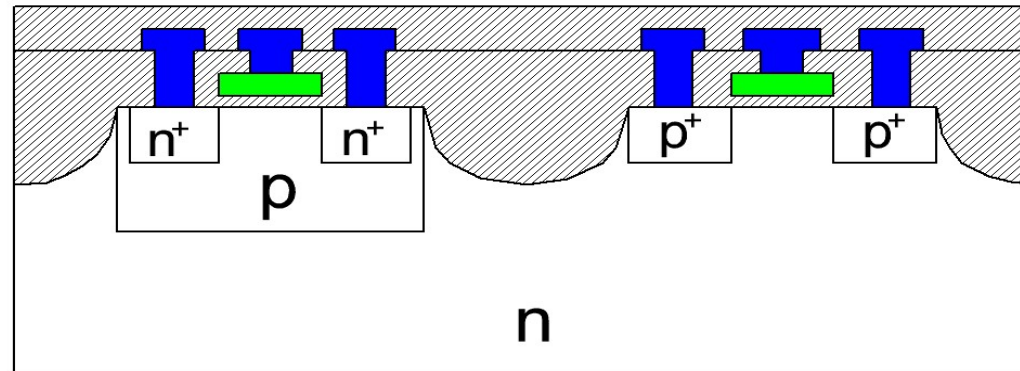
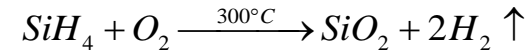
7.9. Depunerea aluminiului și efectuarea fotolitografiei acestuia pentru efectuarea traseelor metalice , contacte pentru grilă și suprafețele de contact.

Acest proces se efectuează la alinierea plachetei cu masca nr.6 "Traseele metalice".



7.10. Oxidarea termica.

Acest se efectuează pentru protejarea cristalului de influența mediului înconjurător. În acest caz stratul de protecție va fi crescut din SiO_2 care se va forma la descompunerea SiH_4 la contactul cu O_2 la temperatura de 300°C . Grosimea necesară este de $0.8\ \mu\text{m}$.



7.11. Fotolitografia pentru contacte-capsulă.

După ce am făcut oxidarea pe toată suprafața plăchetei efectuăm fotolitografia pentru contactele necesare pentru conectarea chipului la capsulă, aliniem plăcheta cu **Masca nr. 7 „Suprafețele de contact”**, documentul tehnic Nr 7.

5. Procesul de încapsulare

8.1 Conectarea CI în cablajul imprimat.

Conectarea CI în cablajul imprimat se face cu ajutorul proceselor de sudare, topirii cu utilizarea aliajelor eutetice. Cerința de bază a operațiilor fiind obținerea contactului cu rezistență mecanică mare, conductibilitate termică și electrică bună.

Sudarea este procesul de unire a elementelor unul cu altul (fără topirea lor) cu ajutorul elementului al treilea, care se numește material de sudare. Temperatura la care are loc sudarea este temperatura de topire a materialului de sudare. Când sistemul ajunge la aceasta temperatură au loc trei procese fizice. Materialul de sudare umezește suprafețele detaliilor care trebuie sudate, apoi în locurile umezite are loc interacțiunea interatomică dintre atomii materialului de sudare și cei a materialelor care trebuie sudate. La umezire au loc două procese: dizolvarea materialului umezit și difuzia lor. La răcirea compoziției încălzite materialul de sudare trece în material dur. În calitate de material de sudare poate fi luat aliajul de plumbul cu alte metale cum e Ag, și altele care se topește la temperatura de circa 150-200°C, timpul de sudare de la pin la pin nu e necesar să fie mai mic de 10 sec.

8.2. Conectarea ieșirilor cristalului

Conectarea ieșirilor se face cu ajutorul metodei de sudare prin termo-compresie cu ultrasunet. Pentru utilizarea metodei date plachetele se încălzesc până la temperatura $t=250^{\circ}\text{C}$, sudarea o efectuăm cu fire de Al, presiunea și frecvența de lucru se determină experimental și depind de diametrul firului utilizat (circa $50\mu\text{m}$), forma instrumentului de sudat, condițiile efectuării procesului.

8.3. Ermetizarea cristalului

După ce cristalul se orientează și se întărește de carcasă și sunt scoase ieșirile el trebuie neapărat să fie ocrotit de mediul înconjurător și eforturilor mecanice, adică de efectuat un înveliș de masă plastică pe bază de rășini epoxite ermetice. Pentru conectarea ermetică a carcasi cu învelișul se folosește aceeași operație de sudare care se descrie în subpunctul 5.2. Mai putem face ermetizarea prin metoda de turnare sau învelire și comprimare sub presiune cât și alte metode.