

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Catedra Microelectronică și Dispozitive cu Semiconductori

TEHNOLOGIA C.I.H. ȘI V.L.S.I.

Îndrumar de laborator

CHIȘINĂU
1999

*Maxim
M. 101*

Cercetarea procesului corodării uscate în tehnologia V.L.S.I.

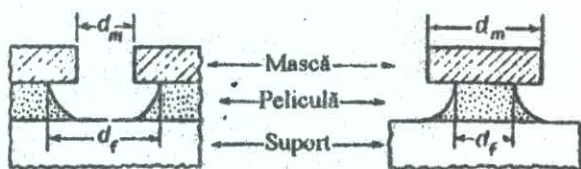
Scopul lucrării: a face cunoștință cu procesul corodării uscate și de cercetat viteza de corodare a diferitelor pelicule în dependență de compoziția plasmei și a parametrilor ei.

Date teoretice

Metodele corodării uscate au multe avantaje și de aceea, se folosesc pe larg în tehnologia V.L.S.I. Corodarea uscată mai poate fi numită și corodare în plasmă (sau asistată de plasmă), ceea ce ne dă posibilitatea de a înțelege că în aceste metode se folosește plasma, care reprezintă descărcări electrice în gaze la presiuni scăzute (10^{-4} -10 torr). Metoda corodării uscate tinde să înlocuiască metodele clasice de corodare chimică umedă în fabricarea circuitelor integrate pe scară mare, datorită posibilității de a transfera mult mai precis configurațiile fotorezistului.

Rezoluția obținută în rezultatul procesului de corodare este criteriul de calitate a transferării imaginii și se caracterizează prin doi parametri. Primul - supracorodarea (B), care reprezintă diferența dimensiunilor laterale a figurii corodate d_f la nivelul interfeței și a măștii d_m . Al doilea parametru - gradul de anizotropie.

$$B = \left| d_f - d_m \right|$$



$$\text{Deplasare} = B = d_f - d_m$$

Fig. 1. Corodarea laterală a peliculei sub masca de rezist, considerând rezistul necorodabil.

Procesul de corodare cu o supracorodare nulă (fig. 2,a) este perfect anizotrop. O astfel de corodare produce un profil al marginii stratului gravat perfect vertical și coincident cu marginea măștii de rezist. Configurațiile sunt transferate, prin urmare, cu o fidelitate perfectă. În acest caz rata corodării laterale (sub mască) este nulă. În particular, în cadrul unui proces

perfect izotrop, caracterizat prin egalitatea ratelor de corodare laterală și verticală, profilul rezultat după corodare are forma unui sfert de cerc (fig. 2.b).

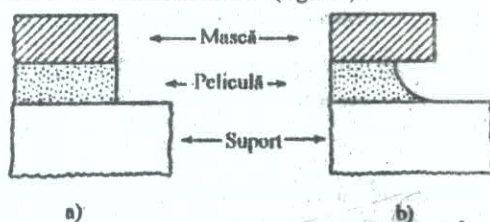


Fig. 2. Profilele corodării: a) corodare perfect izotropă ($A_f=1$); b) corodare perfect izotropă ($A_f=0$).

În acest caz supracorodarea este egală cu grosimea îndoită a stratului (peliculei) corodat. Gradul de anizotropie A_f poate fi determinat ca:

$$A_f = 1 - \frac{V_l}{V_v} \quad (1)$$

unde v_l și v_v - ratele de corodare laterală și verticală corespunzător. Folosind în ecuația (1) parametrii elementului format la terminarea procesului de corodare, se poate scrie:

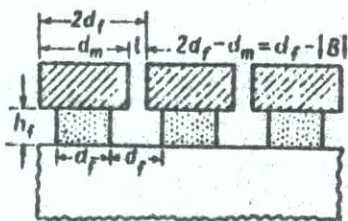


Fig. 3. Compensarea dimensiunilor elementelor măștii luând în considerare supracorodarea pentru a obține în figura gravată fâșii și intervalele dintre ele de aceeași dimensiune.

$$A_r = 1 - \frac{|B|}{2h_r} \quad (2)$$

unde B - supracorodarea; h_r - grosimea stratului corodat.

Astfel, pentru corodarea perfect anizotropă $A_r=0$, iar pentru cea izotropă $0 < A_r < 1$.

Pentru a obține după corodare geometrii de dimensiuni dorite, supracorodarea trebuie avută în vedere încă de la faza de proiectare. Drept exemplu să analizăm corodarea unei figuri care conține fâșii și intervalele dintre ele egale cu d_r , iar lățimea măștii - d_m (fig. 3)

$$l = d_f - |B| \quad (3)$$

sau având în vedere ecuația (2)

$$l = d_r \left[1 - \left(\frac{2h_r}{d_r} \right) (1 - A_r) \right] \quad (4)$$

Din ecuația (4) urmează că dacă d_r este aproape egal cu limita rezoluției litografice, atunci A_r trebuie să tindă către 1 (cu excluderea cazului $h_r \ll d_r$ care nu reprezintă interes practic).

Mai sus, la analiza procesului de corodare a stratului, se subînțelegea că placheta și masca n se corodează în timpul procesului. Însă în practică acest caz se întâlnește destul de rar, mai ales la folosirea procesului de corodare uscată.

Prin urmare, un parametru de mare importanță la transferul imaginii în tehnologia V.L.S.I. reprezintă selectivitatea procesului de corodare, definită ca raportul dintre rata de corodare a stratului de interes și cea a altui strat. La controlul dimensiunilor elementelor formate trebuie de ținut cont de selectivitatea față de materialul rezistului. Selectivitatea față de materialul plachetei depinde de omogenitatea vitezei de corodare precum a *peliculei*, așa și a măștii, identitatea grosimii peliculei, anizotropia vitezei de corodare a măștii și profilul corodării. Pentru analiza influenței acestor factori să examinăm fig. 4.

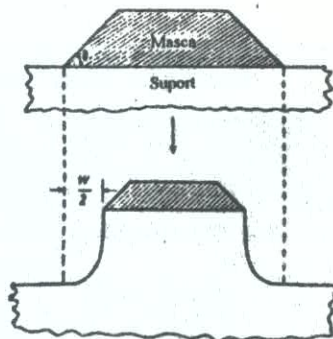


Fig. 4. Formarea conturului elementului corodat cu evidența vitezei de corodare a măștii.

Să examinăm procesul de corodare a peliculei grosimea mijlocie a căreia este egală cu h_f , iar uniformitatea grosimii este determinată de o abatere procentuală d ($0 < d < 1$). Grosimea maximă este deci $h_f(1+d)$, iar grosimea minimă este $h_f(1-d)$. Să presupunem că viteza de corodare a stratului v_f variază în mod similar între limitele $v_f(1-d_f)$ și $v_f(1+d_f)$, unde d_f este un coeficient ce variază între $0 < d_f < 1$. Cazul cel mai defavorabil, care trebuie de avut în vedere, corespunde unei viteze de corodare maxime a rezistului și a unei viteze minime de corodare a stratului în zonele de grosime maximă. Considerând viteza de corodare constantă în timp, timpul necesar corodării complete a stratului în condițiile de mai sus este:

$$t_c = \frac{h_f(1+\delta)}{v_f(1-\delta_f)} \quad (5)$$

Pentru a crește gradul de siguranță a faptului că absolut toate ferestrele se deschid în mod reproductibil, în practică se prelungește durata (5) cu încă o fracțiune Δ din t_c . Astfel timpul total de corodare este:

$$t_i = \frac{h_f(1+\delta) \cdot (1+\Delta)}{v_f(1-\delta_f)} \quad (6)$$

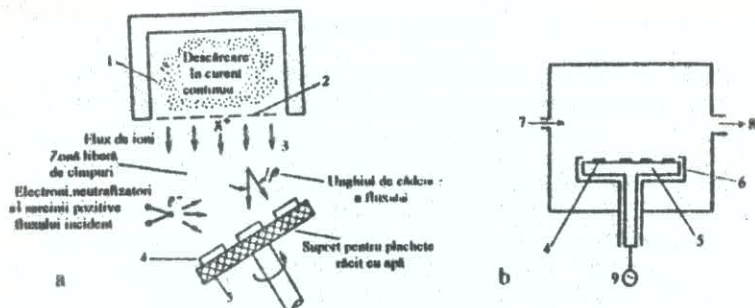


Fig. 5. Înălțarea schematică a sistemelor de corodare cu fascicul de ioni (a) și în plasmă a gazelor inerte (b): 1 - sursa de ioni; 2 - grila de extragere; 3 - fascicul de ioni; 4 - plachetele; 5 - deținător de plachete (catod); 6 - ecran legat în pământ; 7 - gazul de lucru; 8 - direcția către pompă; 9 - sursa de tensiune de frecvență înaltă.

Pe parcursul acestui timp masca este și ea corodată și se micșorează dimensiunile imaginii transferate cu W (fig. 4).

Metodele de transfer ale desenului măștii cu utilizarea procesului corodării în plasmă prevede folosirea gazelor parțial ionizate, care conțin ioni, electroni și neutroni formați la descărcarea electrică în gaze la presiuni joase. La aplicarea câmpului electric în gaze se formează electroni datorită procesului de fotoionizare sau a emisieie autoelectronice. Acești electroni accelerați de câmpul electric se ciocnesc cu alți atomi, ionizându-i.

Termenul de bază "corodarea în plasmă" include metodele de corodare: cu fascicul de ioni, cu fasciculi de ioni reactivi; în plasma gazelor inerte; în plasma cu ioni reactivi. Caracteristica lor generală este necesitatea apariției descărcărilor electrice în gaz, care mai des se numește pur și simplu plasmă.

Corodarea cu fasciculi de ioni, adesea se mai numește "măcinare" cu ioni, reprezintă pulverizarea catodică a suprafeței plachetei sub acțiunea bombardării ei cu un flux de ioni a gazelor inerte de energii mari. Procesul de corodare este de o natură fizică, fiindcă constă în transferul impulsului de la ionul accelerat la atomii de pe suprafață și, ca rezultat, ultimii primeac un impuls necesar pentru a părăsi suprafața. Acest proces are următoarele avantaje:

- se pot coroda orice materiale (ca exemplu, metalizarea Ti-Pt-Au, ce nu e posibilă la corodarea în soluții);
- are cea mai mare rezoluție dintre toate metodele de corodare;
- cu ajutorul acestei metode au fost confecționate elemente mai mici de 10 nm.

La corodarea cu fascicul de ioni (fig. 5,a) sursa de ioni se află la o oarecare depărtare de plachetă. Ionii sunt generați datorită descărcării electrice în gaze la curent continuu într-un "tun ionic" separat și sunt focalizați și accelerați către suprafața probei.

Corodarea în plasmă gazelor inerte, ca și procesul de corodare cu fascicul de ioni, se bazează pe folosirea ionilor gazelor inerte, de exemplu Ar^+ cu o energie destul de mare (>500 eV). Acest proces poate fi realizat cu ajutorul curentului continuu sau mai simplu cu ajutorul sistemului diodic, în care plachetele sunt fixate la catodul, conectat la sursa de radiofrecvență (15,56 MHz, fig. 5,b).

Dacă în camera de lucru, în afară de gazul inert este introdus și un alt gaz activ din punct de vedere chimic (S_2F_6 , CF_4), atunci procesul se numește corodare în plasmă cu ioni reactivi.

Pentru corodarea în plasmă cu ioni reactivi a siliciului și a compușilor lui și a altor metale se folosesc gaze moleculare care conțin unul sau mai mulți atomi a halogenilor în moleculele sale. Alegerea acestor gaze se lămurește prin aceea că elementele formate de ele în plasmă reacționează chimic cu materialele care se corodează, folosind compușii volatili la

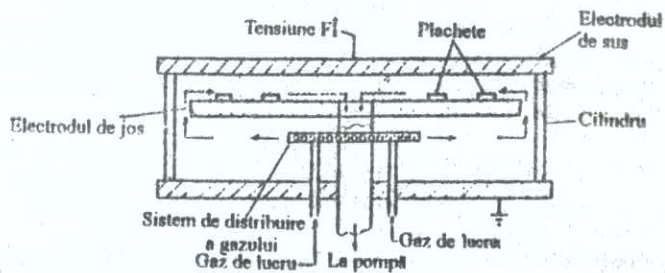


Fig. 6. Sisteme de corodare în plasmă cu ioni reactivi cu electrozi în formă de plăci paralele.

temperaturi destul de joase, care dă posibilitatea de a transfera calitativ imaginea pe fotorezist. Pentru a coroda cu o mare rezoluție, se folosesc reactoare cu electrozi în formă de plăci paralele (fig. 6). Aceste sisteme au un sir de caracteristici deosebite. În primul rând electrozii sunt aproape simetrici (raportul suprafeței alimentate către suprafața plăcii legată la masă este aproape de 1), ceea ce nu se realizează în alte sisteme. Și în al doilea rând plachetele supuse corodării sunt fixate pe electrodul legat la masă și procesul are loc la presiuni relativ înalte a gazelor (13.3 - 1330 Pa).

De obicei, pentru efectuarea procesului de corodare în plasmă este necesară numai pompa mecanică cu o viteză de pompare de circa 1500 l/min.

Valoarea vitezei de introducere a gazului de lucru se află în intervalul de 50 - 500 cm³/min la temperaturi și presiuni standard.

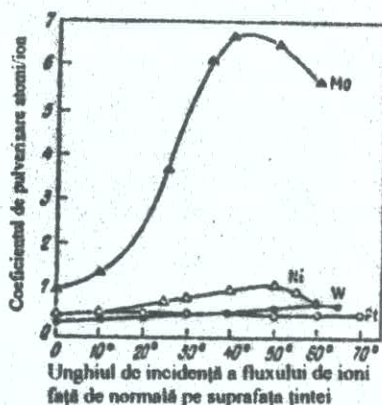


Fig. 7. Dependența randamentului de pulverizare a nichelului, molibdenului și wolframului de unghiul de incidență a ionilor de Hg⁺ cu energia de 200 eV.

Fizica procesului de corodare în plasmă

Procesul de corodare în plasmă cu utilizarea gazului inert - argon este determinat de procesul fizic de transfer al impulsului. Viteza de corodare în primă aproximație depinde de factorii: densitatea fluxului de ioni în direcția plachetei și cantitatea atomilor pulverizați de către un ion incident. Randamentul de pulverizare (numărul de atomi pulverizați prin impactul unui ion) depinde de energia și masa atomică a ionului, a căldurii de sublimare a materialului supus corodării și unghiului de incidență a ionului. Randamentul pulverizării crește pe măsură ce unghiul sub care ionii lovesc ținta este mai oblic (fig. 7). Aceasta se

datorează faptului că ionii cu unghiuri de incidență mici au o probabilitate mai mare de a ceda atomilor îndreptați spre exteriorul țintei și de a transfera energia atomilor mai apropiați de suprafață care sunt mai ușor de dislocat. La unghiuri foarte mari de incidență a ionilor randamentul se micșorează, fiindcă ionii se reflectă de pe suprafața plachetei.

La corodarea straturilor în microelectronică este necesar de a avea posibilitatea de a întrerupe procesul de corodare când stratul s-a corodat, pentru a nu fi corodat materialul care se află sub strat (alt strat, placheta). Însă corodarea în plasmă cu ioni are relativ o mică selectivitate și de aceea se folosesc niște straturi speciale.

În tabelul 1 sunt indicate vitezele de corodare a diferitelor materiale determinate în condiții identice. Cel mai mare raport a vitezelor de corodare este egal cu 20.

Viteza de corodare a diferitelor materiale sub acțiunea fasciculului ionilor de argon este prezentată în tabelul 1. Condițiile corodării: energia ionilor 1.0 KeV; densitatea curentului 1.0 mA/cm²; ionii sunt îndreptați vertical pe suprafața plachetei; presiunea în incinta de corodare $6.6 \cdot 10^{-3}$ Pa.

Tabelul 1

Materialul pulverizat	Viteza de corodare, nm/min	Materialul pulverizat	Viteza de corodare, nm/min
Si	36	Al	44,4
GaAs	260	Zirconiul	32
SiO ₂ (termic)	42	Fe	32
SiO ₂ (depus)	38	Oxidul de fier	66
Rezist electronic	60	Mo	40
PMMA	84	Ti	20
Ag	200	Cr	20
Au	160	Oxid de aluminiu	13

În procesele de corodare în plasmă cu ioni reactivi procesul de pulverizare a materialului de pe suprafața plachetei are loc datorită bombardării cu ioni activi. Corodarea are loc în rezultatul acțiunii comune a bombardării ionice și a reacțiilor chimice. Acest proces dă posibilitatea de a păstra anizotropia de corodare la gazele inerte și de a căpăta o selectivitate datorită componenței chimice de corodare. În afară de aceasta metoda are încă o prioritate legată de formarea produselor volatile în timpul corodării, care pot fi înlăturate din incintă prin pompare.

Să examinăm procesul de corodare în plasmă cu ionii reactivi a Si și SiO₂. Viteza de corodare a acestor materiale prin iradierea lor cu ioni de argon și acțiunea simultană a compusului XeF₂ este mult mai mare decât suma vitezelor de corodare separată în Ar și XeF₂. Rezultatele experimentelor sunt ilustrate în (fig. 8).

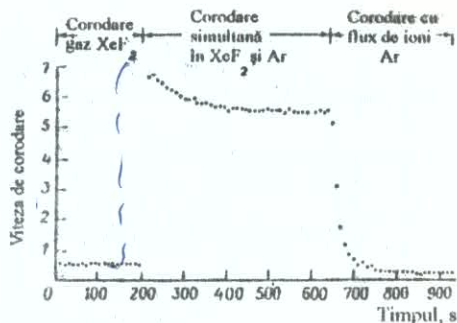


Fig. 8. Dependența vitezei de corodare de timp în procesul corodării în plasmă cu ioni reactivi.

Cum se vede din aceste date experimentale corodarea Si numai în plasmă din XeF_2 sau numai cu ioni de argon are o viteză de corodare foarte mică. Corodare în amestecul acestor gaze majorează esențial viteza de corodare. Datele cercetărilor mas-spectroscopice au arătat că la corodarea Si în plasma XeF_2 , produsul principal al reacției este SiF_4 . Se presupune că la suprafața Si au loc următoarele reacții chimice:



Reacția (8) are loc numai la bombardarea suprafeței cu ioni de Ar^+ .

În corespundere cu acest model bombardarea ionilor purifică suprafața de SiF_2 , iar Si curat rapid intră în reacție cu XeF_2 (reacția 7).

Fenomenele care au loc la suprafață în plasmă reactivă se pot explica prin aceea, că componentele corodante (în principiu electric neutrale), care apar în procesul descărcărilor electrice în gaze, sunt adsorbite de suprafață și intră în reacție cu atomii ei, ca rezultat se formează compuși volatili, care sunt evacuați prin pompare.

Pentru corodarea reactivă adesea se folosesc amestecuri cu multe componente, care reprezintă de obicei componenta principală cu unul sau mai multe adaosuri, care sunt introduse nu numai pentru a obține o anumită viteză de corodare, dar și a altor parametri: selectivitatea, uniformitatea. Ca exemplu de influență a acestor adaosuri la viteza de corodare a Si și SiO_2 în amestecuri care conțin CF_4 , servește fig. 9. Viteza de corodare a Si și SiO_2 în plasmă, care conține numai CF_4 , este relativ joasă. La adăugarea oxigenului în plasmă, viteza de corodare rapid crește până la o anumită concentrație a oxigenului, iar mai departe se micșorează.

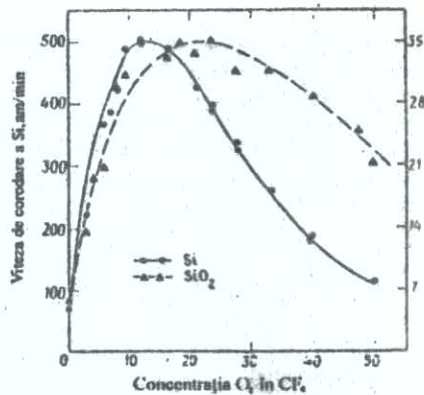


Fig. 9. Influența adaosului de oxigen în plasma CF₄ la viteza de corodare a Si și SiO₂.

Ordinea îndeplinirii lucrării

1. Faceți cunoștință cu instrucțiunea de exploatare a instalației cu vid ВУП-4.
2. Primiți de la profesor (inginer) 3-4 probe din Si pe care sunt depuse diferite pelicule (SiO₂, ZnS, fotorezist ș.a.).
3. Măsurăți cu ajutorul microscopului МИИ-4 grosimea inițială a peliculei.
4. Așezați probele cu ajutorul pensetei pe măsura (catod) a instalației.
5. Acoperiți catodul cu un cilindru special din sticlă și conectați la anod (electrodul de sus al cilindrului) contactul de la sursa de alimentare cu tensiune înaltă.
6. Închideți cu acuratețe instalația cu un clopot de sticlă.
7. Conectați la alimentarea electrică pompele și obțineți în volumul de lucru cu un vid înalt (lucrarea de laborator nr. 1.)
8. Deschideți ventilul butiliei cu argon și umpleți sifonul cu argon și rapid închideți ventilul.
9. Pe pupitrul din dreapta instalației conectați tensiunea înaltă între catod și anod și fixați valoarea tensiunii după indicațiile inginerului.
10. Deschideți ventilul de intrare a argonului în camera mică a instalației și reglați viteza de alimentare cu argon în așa mod ca între anod și catod să se păstreze descărcarea luminiscentă (licărire roză). Timpul corodării uscate este indicat de către profesor (inginer).
11. După terminarea procesului de corodare uscată închideți ventilul de vid înalt, deschideți ventilul de intrare a aerului în volumul de lucru și deschideți instalația ridicând clopotul din sticlă.

12. Atenț, cu ajutorul pensetei luați probele corodate și așezați-le pe o hârtie de filtru.
13. De pe suprafața plăchetei acoperite cu fotorezist, scoateți fotorezistul, așezând plăcheta într-un vas de sticlă în care se toarnă dimetilformamidă până la acoperirea probei.
14. Cu ajutorul microscopului MИИ-4 determinați grosimea peliculei rămase după corodarea uscată, iar pe plăcheta de Si, acoperită parțial cu fotorezist, determinați adâncimea corodării.
15. Determinați viteza de corodare a diferitelor pelicule.

Cerințe față de referat

1. Scopul lucrării.
2. Scurte date teoretice.
3. Fișa tehnologică a operațiilor îndeplinite.
4. Tabelul cu rezultatul măsurărilor grosimii peliculelor pînă și după procesul corodării uscate.

Rezultatele măsurărilor

Tabelul 2

Tipul peliculei					
Grosimea inițială, nm					
Grosimea rămasă, nm					
Viteza de corodare, nm/min					

5. Comparați rezultatele obținute a vitezei de corodare uscată cu rezultatele din tabelul 1.
6. Concluzii.

Întrebări de control

1. Care sunt prioritățile procesului corodării uscate față de corodarea în soluții?
2. Cum poate fi determinată anizotropia procesului de corodare?
3. Ce se înțelege prin termenul *selectivitatea procesului de corodare* și cum poate fi determinată?
4. Ce tipuri de corodare uscată cunoașteți și prin ce se deosebesc?
5. Care sunt particularitățile constructive a instalațiilor pentru corodarea uscată?
6. În ce constă natura corodării în plasmă cu gaz inert și cu adaosuri ale gazului de reacție?

Lucrarea de laborator nr. 6

Cercetarea construcției și topologiei V. L.S.I.

Scopul lucrării: studierea construcției și topologiei diferitelor elemente ale circuitelor V.L.S.I. (Very large scale integration) în baza tranzistorilor M.O.S., precum și metodele de conectare a suprafețelor de contact cu bornele de ieșire a capsulei.

Date teoretice

În măsura creșterii volumului de realizare și desăvârșirii tehnologiei circuitelor integrate (C.I.) monolite ce a fost stabilit că în afară de aceste priorități, realizarea căror se consideră scopul principal la etapele inițiale de confecționare a sistemelor integrate (dimensiuni mici, nivel scăzut de consum a energiei, masă mică) acestea mai au și un șir de caracteristici universale: prețul de cost scăzut, fiabilitate înaltă și complexitate înaltă de funcționare.

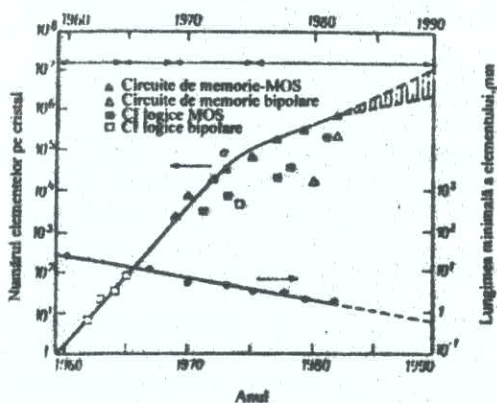


Fig. 1. Creșterea numărului de elemente în cristal (a) și micșorarea dimensiunilor elementelor C.I. (b).

Absolut este clar că prioritățile C.I. sunt evidente atunci când cristalele conțin mai multe elemente. Din acest motiv cercetările științifice sunt îndreptate în direcția majorării gradului de integrare. Fig. 1 (curba a) ilustrează creșterea exponențială față de timp a numărului de elemente în C.I. Observăm că complexitatea circuitelor integrate

continuu s-a majorat de la circuite integrate pe scară mică sau S.S.I. (Small scale integration), având până la o sută de elemente pe cip pe scară medie, sau M.S.I. (Medium scale integration), cu până la 1000 elemente pe cip pe scară mare, sau L.S.I. (large scale integration) cu câte 10000 componente pe cip și pe scară foarte mare, sau V.L.S.I. cu până la 10^5 și mai multe componente pe un cristal.

Cel mai important factor de asigurare a acestui nivel înalt de integrare - micșorarea continuă a dimensiunilor elementelor C.I. (curba b, fig. 1). Începând cu anul 1960 viteza mijlocie de micșorare a dimensiunilor elementelor este de la nivelul de 13% anual.

Rezultatele miniaturizării dispozitivelor sunt manifestate prin micșorarea prețului de costa a unui element logic și îmbunătățirii caracteristicilor de exploatare (Fig. 2).

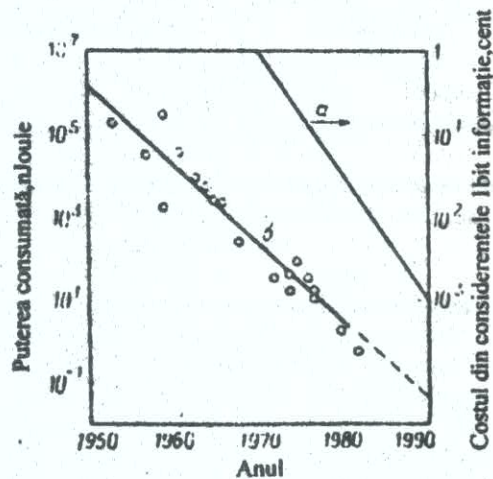


Fig. 2. Micșorarea prețului de cost al cristalelor de memorii la un bit de informație (a) și scăderea consumului de energie la un bit de informație (b).

Simultan cu micșorarea dimensiunilor elementelor se micșorează și timpul de comutare a tranzistoarelor M.O.S. (Metal-oxid-semiconductor) timpul de comutare este proporțional câtului de la împărțirea lungimii canalului la tranzistor către viteza de mișcare a purtătorilor de sarcină. Începând cu anul 1960 rapiditatea de funcționare a dispozitivelor a crescut cu trei ordine, iar puterea disipată la porțile tranzistoarelor în circuitele digitale s-a micșorat cu patru ordine.

După principiul de funcționare (tipul purtătorilor de sarcină care asigură trecerea curentului prin canal) tranzistorii M.O.S. sunt cu canal de tip n (fig. 3 a, c) și cu canal

de tip p (fig. 3 b, d), iar după structura lor se deosebesc ca M.O.S. - tranzistori cu canal indus (fig. 3 a, b) și M.O.S. - tranzistori cu canal inițial (fig. 3 c, d).

În circuitele integrate mai mult se utilizează M.O.S. - tranzistori cu canal indus sau inițial de tipul n , fiindcă ei pot funcționa la frecvențe mai înalte datorită mobilității mai mari a electronilor în canal.

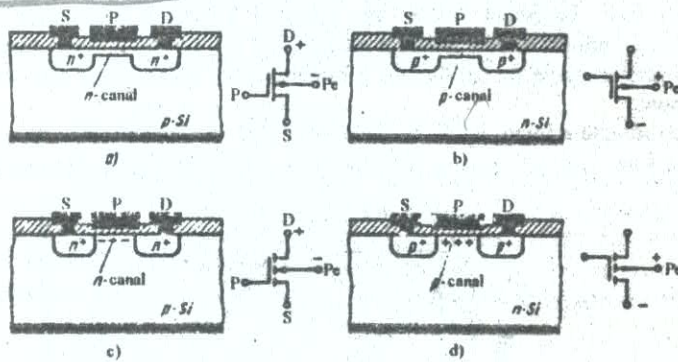


Fig. 3. Structura și marcarea tranzistorilor M.O.S. cu canal inițial de tipul n (a) și p (b); cu canal indus de tipul n - (c) și p - (d); S - sursa; P - poarta; D - drenea; Pl - placheta.

O varietate a tehnologiei tranzistoarelor cu canal de tip n reprezintă tehnologia de confecționare V.L.S.I. cu tranzistori M.O.S., la care poarta este bariera Shottky. În așa tranzistori bariera Shottky se formează datorită contactului local dintre materialul porții și canalul tranzistorului. Mai des în calitate de material pentru poartă se utilizează siliciida de platină, iar traseele în circuit se formează din structuri cu multe straturi (Mo-Au, Mo-Pt). Aluminiul, care destul de des se folosește pentru formarea barierelor Shottky cu siliciul de tip n , nu poate fi folosit în calitate de material pentru poartă datorită gradului înalt de solubilitate a Si în Al, interacțiunea Al cu oxidul, migrația atomilor de Al în câmpurile electrice.

În ultimii ani ca materiale pentru confecționarea tranzistoarelor M.O.S. sunt compuşii semiconductori $A^{III}B^V$ (de exemplu, GaAS) care se deosebesc printr-o mobilitate mai înaltă a purtătorilor de sarcină și ca rezultat - rapiditate sporită de funcționare a dispozitivelor.

Particularitățile tehnologice. Pentru tehnologia de confecționare a C.I.-M.O.S. sunt caracteristice următoarele principale particularități determinate de către construcția și structura lor:

a) întregul flux tehnologic de confecționare se reduce la confecționarea tranzistoarelor M.O.S. și conexiunilor dintre ele, fiindcă structurile M.O.S. pot fi folosite nu numai în calitate de tranzistori, dar și ca rezistori sau condensatori, adică practic toate funcțiile în circuite pot fi realizate de structurile M.O.S.;

b) în procesele tehnologice adesea sunt excluse operațiile de izolare a componentelor, fiindcă în circuitele integrate M.O.S. ele nu sunt necesare datorită autoizolării componentelor de către materialul plachetei inițiale. În circuitele M.O.S. - V.L.S.I., fiindcă distanțele dintre elemente sunt foarte mici, pot apărea tranzistoare parazite, care vor înrăutăți funcționarea circuitului, și din aceste considerente izolarea elementelor se asigură prin creșterea oxidului local și dopare pe câmp;

c) destul de simplu într-un cristal pot fi confecționați tranzistori M.O.S. cu canal de tip n sau p , ce dă posibilitatea de a confecționa circuite integrate cu mari posibilități funcționale.

d) numărul operațiilor fluxului tehnologic de confecționare a C.I. M.O.S. poate fi redus cu 30% în comparație cu numărul operațiilor tehnologice necesare pentru confecționarea circuitelor cu tranzistori bipolari și ca rezultat se majorează randamentul acestor circuite.

Acum să analizăm diferite construcții ale tranzistoarelor M.O.S. și topologia diferitelor circuite realizate în baza lor.

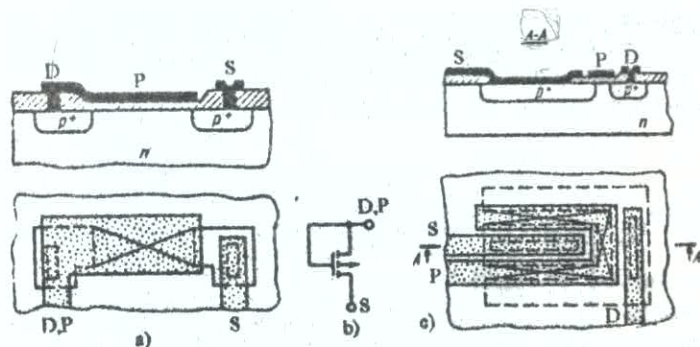


Fig. 4. Varietatea construcțiilor tranzistoarelor p-M.O.S.: a - tranzistori de sarcină; b - schema principală; c - tranzistor activ cu canal în formă de «fl».

Tranzistoarele M.O.S. se pot deosebi prin funcțiile care le îndeplinesc în circuit, de pildă tranzistori activi și de sarcină. Tranzistoarele de sarcină îndeplinesc în C.I. funcția de rezistor. Valoarea rezistenței necesare a canalului acestor tranzistori poate fi obținută constructiv (alegerea dimensiunilor geometrice ale canalului) și schemotehnic

(prin aplicarea la poartă a potențialului necesar). Fiecare din cele patru tipuri de tranzistori M.O.S. (fig. 3) poate fi folosit în calitate de sarcină, iar placheta se conectează la sursa de alimentare.

La tranzistoarele de sarcină valoarea pantei caracteristicii drenă-poartă poate fi mică și raportului dintre lungimea canalului și lățimea lui se alege în așa mod ca pentru panta dată tranzistorul de sarcină să ocupe o suprafață minimală (fig. 4, a).

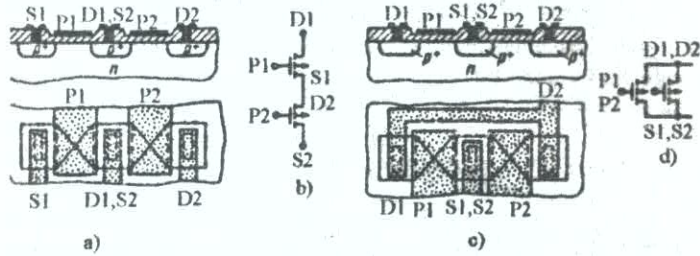


Fig. 5. Fragmente topologice (a, c) și schemele electrice (b, d) la conectarea în serie (a, b) și paralelă (c, d) a tranzistoarelor.

În acest caz când este necesar de a asigura panta înaltă a caracteristicii tranzistorului activ raportul lungimii canalului față de lățimea lui (l_c/b_c) trebuie să fie mai mare sau egală cu 20. În scopul micșorării suprafeței ocupate de acest tranzistor este recomandată forma canalului de tipul «I» (fig. 4, c)

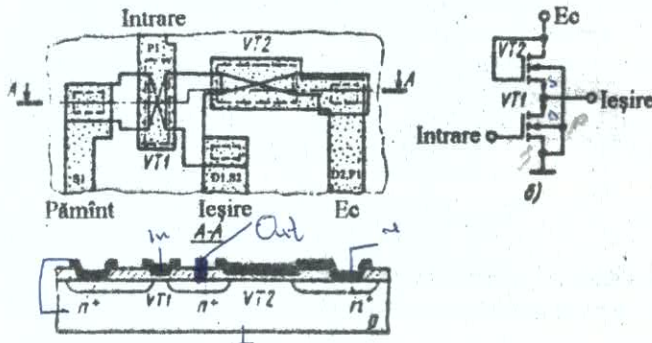


Fig. 6. Topologia (a) și schema electrică a inversorului (b) în baza tranzistorului n-M.O.S. cu sarcină neliniară și metalizarea de Al.

Pentru majorarea gradului de integrare în C.I. când este necesară conectarea în serie sau paralelă a tranzistoarelor, regiunile surselor și ale drenelor tranzistoarelor M.O.S. pot fi contopite (fig. 5)

Schema de bază a multor C.I.-M.O.S. este inversorul, care conține un tranzistor activ și unul de sarcină. În fig. 6 este arătată construcția inversorului, în care regiunea difuzionică a drenii tranzistorului activ VT1 și sursa tranzistorului de sarcină VT2 sunt contopite.

La tranzistoarele M.O.S. cu poarta de Al sunt considerabile regiunile de acoperire a porții cu regiunea sursei și drenii, care pe de-o parte sunt necesare pentru asigurarea trainică de formare a canalului, iar pe de altă parte aduce la formarea capacităților parazitare C_{p-s} și C_{p-d} , care micșorează rapiditatea de funcționare a C.I.-M.O.S.

Micșorarea regiunilor de acoperire este dificilă datorită operațiilor de aliniere în procesele de fotolitografie, precum și de mica rezoluție a acestui proces care nu depășește $\pm 1\mu\text{m}$.

Folosirea polisiliciului în calitate de material pentru poartă dă posibilitatea, datorită autoalinierii, radical de micșorat lungimea canalului până la dimensiuni submicronice și considerabil de mărit parametrii tranzistoarelor M.O.S. (fig. 7)

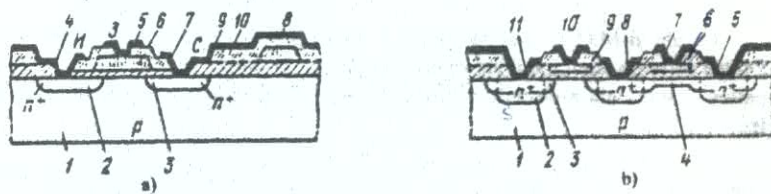


Fig. 7. Structura tranzistorilor M.O.S. cu poarta din polisiliciu: a) n-M.O.S. tranzistor cu canal indus; b) n-M.O.S. tranzistor cu canal indus și inițial.

a) 1 - placheta de tipul «p»; 2, 3 - regiunile difuzionice «n⁺» ale sursei, drenii și șinele difuzionice (primul nivel de metalizare); 4, 5, 7 - contacte din aluminiu; 6 - poartă din polisiliciu; 8 - conductor din polisiliciu dopat (al doilea nivel de metalizare); 9 - șina din aluminiu (al treilea nivel de metalizare);

b) 1 - placheta de tipul «p»; 2 - regiunea difuzionică «n⁺» a sursei; 4 - canal inițial format prin implantarea ionică; 5, 7, 8, 10, 11 - contactele din aluminiu ale surselor, drenelor și porților; 6, 9 - porțile din polisiliciu.

Să analizăm diferite circuite digitale și topologia lor. În fig. 8 este ilustrată schema principală a circuitului «ȘI-NU», confecționat în baza tranzistoarelor n-M.O.S. cu

metalizarea din aluminiu, în tranzistorul de sarcină are canal inițial, iar tranzistorul activ – canal îndus.

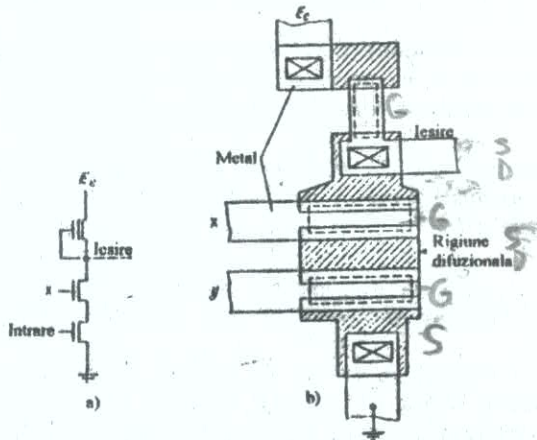


Fig. 8. Schema de principiu a celulei «ȘI-NU» (a) și topologia celulei (b)

Celula n-M.O.S. arătată în fig.9 îndeplinește operații logice mai complicate. Pentru anumite combinații ale valorii semnalelor la intrare x_1, x_2, x_3, x_4 ($x_2=x_4$ și $x_1=x_3=0$) partea funcțională a circuitului este deschisă pentru curent și la ieșire o să avem «0» logic.

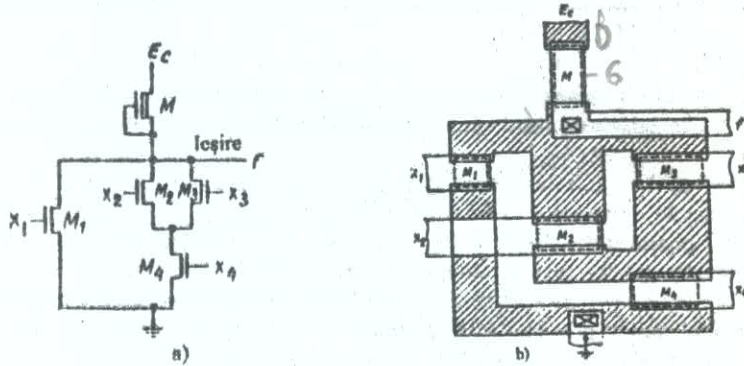


Fig. 9. a – schema de principiu a celulei n-MOS; b – topologia celulei

În fig. 10 este prezentată schema de principiu a circuitului n-M.O.S. (a) cu părțile din polisiliciu și topologia (b).

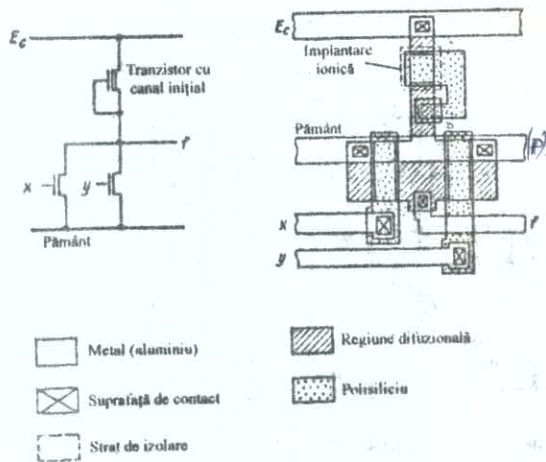


Fig. 10. Schema de principiu a circuitului n-M.O.S. (a) cu părțile din polisiliciu și topologia (b).

Producerea cristalelor pentru memorii ocupă un loc principal în tehnologia VLSI. Printre diferite tipuri de memorii cel mai înalt grad de integrare au memoriile operaționale (R.A.M.) sau memoriile cu selecție samovolnică. În asemenea memorii fiecare bit de informație poate fi selectat după dorință din matrice, în care sunt înscrise biții. Pentru a alege informația dintr-o anumită coloană a matricei se folosește șina de adrese, care poate fi îndeplinită prin metoda difuziei, sau din polisiliciu ori metal. În mod analogic alegerea informației din rândurile verticale are loc cu ajutorul șinei de date. Datele pot fi înscrise în memorie și scoase din ea în orice timp.

Memoriile statice sunt memorii nevolatile, deoarece dacă se întrerupe alimentarea cu energie și apoi se cuplează din nou, relațiile între intrări și ieșiri programate în memorie nu sunt pierdute. În fig. 11 este arătată o memorie statică, care conține șase n-M.O.S. tranzistoare, patru dintre care (VT1-VT4) reprezintă un multivibrator, necesar pentru păstrarea unui bit de informație. Tranzistoarele VT5 și VT6 introduc și scot datele din celulă în acel moment când șina de adrese și date sunt activate simultan. În

calitate de sarcină a multivibratorului se folosesc tranzistoarele VT1 și VT2, care funcționează în regimul de golire.

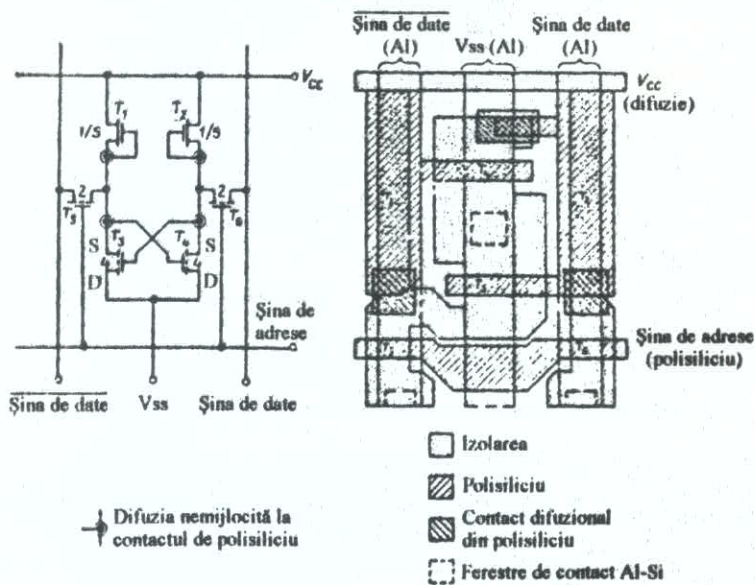


Fig. 11. Celula memoriei statice, în care sarcina reprezintă un tranzistor: a - schema de principiu ; b - topologia.

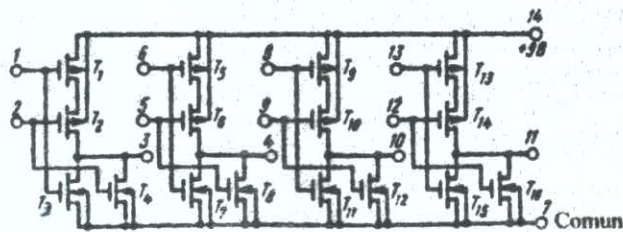


Fig. 12. Schema de principiu a C.I. «SAU-NU».

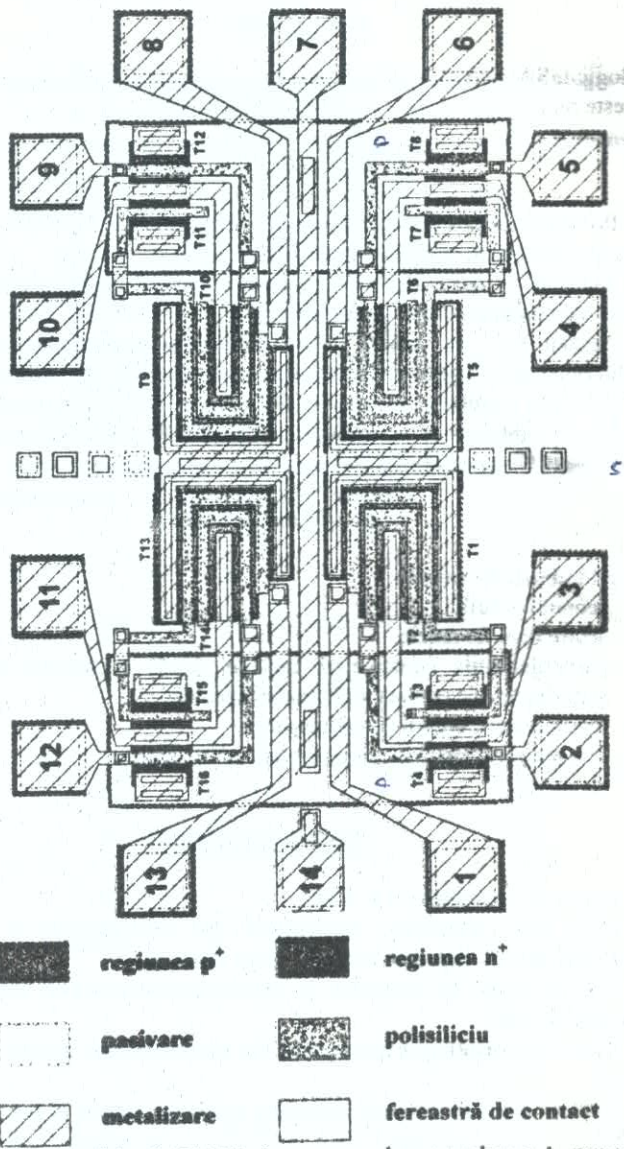


Fig. 13. Topologia C.I. «SAU-NU» în corespundere cu schema de principiu (fig. 12).

Circuitul logic «SAU-NU» confecționat după tehnologia C.M.O.S. cu porțile din polisiliciu este reprezentat în fig. 12, iar topologia în fig. 13.

Ordinea îndeplinirii lucrării

1. Primiți de la profesor (inginer) două tipuri de C.I. M.O.S. cu metalizare din aluminiu și al doilea cu porțile din polisiliciu.
2. Analizați vizual construcția capsulei și metoda de conectare a suprafețelor de contact a cristalului cu bornele capsulei.
3. Așezați C.I. pe măsura microscopului și studiați (desenați) topologia circuitului sau a unui fragment al acestui circuit (după indicațiile profesorului).
4. Analizați topologia elementelor de testare a C.I.
5. În corespundere cu topologia desenată desenați schema principială a circuitului logic (fragmentului).

Conținutul referatului

Referatul trebuie să conțină:

- 1) scopul lucrării;
- 2) scurte date teoretice;
- 3) particularitățile construcției capsulei VLSI și metoda de conectare a suprafețelor de contact cu bornele capsulei;
- 4) topologia circuitului (fragmentului);
- 5) schema principială în corespundere cu topologia;
- 6) concluzii.

Întrebări de control

1. Care sunt prioritățile V.L.S.I.?
2. Care sunt prioritățile tehnologiei de confecționare a C.I. în baza tranzistoarelor M.O.S. față de CI cu tranzistori bipolari?
3. Cum se poate de îndeplinit în topologie conectarea în serie și paralelă a tranzistorilor M.O.S.?
4. Care sunt prioritățile principale ale tranzistoarelor M.O.S. cu poarta din polisiliciu?
5. Cum se poate de realizat topologia memoriei statice în baza tranzistoarelor n-M.O.S.?
6. Care sunt particularitățile tehnologiei de confecționare a C.I. C.M.O.S.?

Bibliografie

1. Horia Cârstea, Mihai Georgescu. **Circuite electronice în tehnologia hibridă. Aplicații.** Timișoara, Editura Facla, 1987.
2. **Конструирование и технология микросхем.** Под ред. Л.А.Коледова. М., Высшая школа, 1984.
3. Коледов Л.А. **Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок.** М., Радио и связь, 1989.
4. Мурога С. **Системное проектирование сверхбольших интегральных схем.** Т.1.-М., Мир, 1985.
5. **Плазменная технология в производстве СБИС** Под ред. Н. Айнспрука и Д. Брауна - М., Мир, 1987.
6. Radu M. Bărsan. **Fizica și tehnologia circuitelor M.O.S. integrate pe scară mare.** București, 1989.
7. **Технология СБИС.** Т.2. Под ред. С. Зи - М. Мир, 1986.
8. Черняев В.Н. **Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров.** М. Радио и Связь, 1987.

Cuprins

<i>Lucrarea de laborator nr. 1.</i>	<i>Tehnologia rezistoarelor peliculare în circuitele integrate hibride</i>	<i>3</i>
<i>Lucrarea de laborator nr. 2.</i>	<i>Tehnologia condensatoarelor peliculare în circuitele integrate hibride și cercetarea parametrilor lor</i>	<i>9</i>
<i>Lucrarea de laborator nr. 3.</i>	<i>Studierea construcției și topologiei circuitelor integrate hibride (C.I.H.)</i>	<i>14</i>
<i>Lucrarea de laborator nr. 4.</i>	<i>Tehnologia confecționării plăcilor cu cablaj imprimat</i>	<i>19</i>
<i>Lucrarea de laborator nr. 5.</i>	<i>Cercetarea procesului corodării uscate în tehnologia V.L.S.I.</i>	<i>29</i>
<i>Lucrarea de laborator nr. 6.</i>	<i>Cercetarea construcției și topologiei V.L.S.I.</i>	<i>40</i>
	<i>Bibliografie</i>	<i>51</i>

TEHNOLOGIA C.I.H. ȘI V.L.S.I.

Îndrumar de laborator

Elaborare: Viorel Trofim

Redactor: Svetlana Dihor-Balaban

Bun de tipar 21.01.99.		Formatul hârtiei 60x84 1/16.
Hârtie de ziar.	Tipar ofset.	Coli de tipar 3,25.
Tirajul 50 ex.		Comanda nr. 4

U.T.M., Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168.
Secția de redactare, editare și multiplicare a U.T.M.
Chișinău, str. Studenților, 11.