

# BAZELE TEHNOLOGICE ALE MICROELECTRONICII

## *Bibliografie:*

Ion Pârvu – Produse anorganice semiconductoare (1997)

Tehnologia materialelor semiconductoare

Radu M. Bârsan – Fizica și tehnologia circuitelor MOS integrate pe scară mare (1989)

Paul Gray, Robert Mayer – Circuite integrate analogice – Analiză și proiectare

## Cap.1 Tehnologia materialelor semiconductoare

### *Etapele principale de dezvoltare a tehnologiei materialelor, dispozitivelor și circuitelor semiconductoare*

În 1806 în Îndrumătorul de cuvinte se spunea că tehnologia include în sine aproape tot ce știu și ce fac oamenii. În Dicționarul Enciclopedic Rus în 1877 se spunea că tehnologia este știința despre producerea uneltelor de muncă și poate fi împărțită în două direcții: mecanica și chimia.

Mecanica se ocupă de prelucrarea materiei crude cu ajutorul meseriilor.

Chimia transformă materia pe baza reacțiilor chimice.

După Dicționarul Politehnic din 1980, tehnologia provine de la două cuvinte din greacă: “*tehne*” – măiestrie și “*logos*” – cuvânt, știință și aceasta reprezintă metode de prelucrare, producere și schimbarea proprietății formei materiei prime pt. obținerea producției finale.

Pentru a realiza un oarecare dispozitiv sau circuit integrat (C.I.) trebuie îndeplinită o succesiune de operații tehnice.

Se numește operație tehnică un proces care este îndeplinit la un anumit loc de lucru.

Există operații tehnice: - **principale**(sunt acele operații datorită cărora operația devine un produs final);

- **secundare**(creșterea epitaxială; purificarea H<sub>2</sub>).

Proces de producere – include toate lucrările care se îndeplinesc la firmă pt. a produce un produs finit. Primele utilizări ale materialelor semiconductoare în tehnică au fost redresoarele pe baza seleniului (1886 - Frits). În 1927 (Grondal și Ghigher) au fost folosite redresoarele pe baza CuO (oxid de cupru).

Ge și Si au proprietăți semiconductoare foarte bune. Proprietățile principale ale Ge au fost descrise în 1870 de către Mendeleev.

În 1886 Vinclev a sintetizat pentru prima oară Ge (în Germania, de unde vine și numele).

În scoarța pământului Ge există doar în valoare de 0.001% , pe când Si este foarte răspândit în sol sub formă de bioxid de siliciu (SiO<sub>2</sub>) și el constituie 25% din greutatea pământului.

În 1951 N. Ganiunov a descoperit un șir de materiale semiconductoare:

II	III	IV	V	VI
Cd	In	Ge	As	S
Zn	Ga	Si	P	Se
Hg	Al	Sn	Sb	Te

Dacă facem un aliaj din elementele din grupa a-V-a cu elemente din grupa a-III-a obținem un material de forma A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> - care are proprietăți semiconductoare binare.

Banda interzisă (E<sub>g</sub>) pt. aceste semiconductoare este: GaAs=1.45eV, GaP=2.2eV, InP=1.35eV, InAs=0.24eV, InSb=0.16eV, AlAs=3eV. Banda interzisă pt. Ge și Si:

E<sub>g</sub> Ge = 0.707eV;

E<sub>g</sub> Si = 1.1eV.

Lungimea de undă a ledurilor:  $\lambda = \frac{1.24}{E_g}$  - lumina infraroșie.

Led-urile roșii se fac pe bază de GaP. InSb are cea mai mare mobilitate a purtătorilor de sarcină. Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As – amestec format din GaAs și AlAs este folosit la lasere.

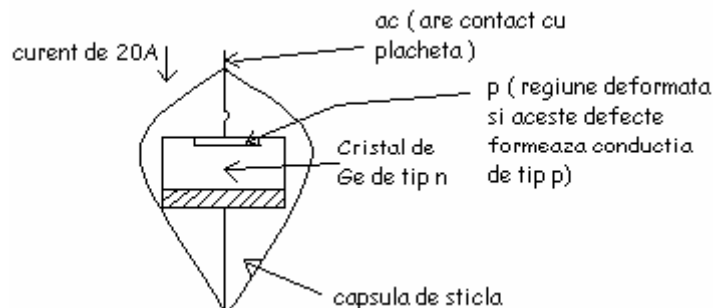
În 1963 pt. prima dată la Chișinău a avut loc o conferință de fizica semiconductoare – Laser pe baza semiconductorilor cu joncțiune pn.

N Ganiunov a mai arătat că elementele din grupa a-II-a și a-VI-a formează elemente cu proprietăți semiconductoare: A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> (E<sub>g</sub> ZnTe = 2.4eV, ZnSe, E<sub>g</sub> CdSe = 1.45eV, CdSe, E<sub>g</sub> Hg ≈ 0, HgAs).

Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te – pe baza acestui material se fac unele fotoreceptoare care au proprietatea de a vedea noaptea.

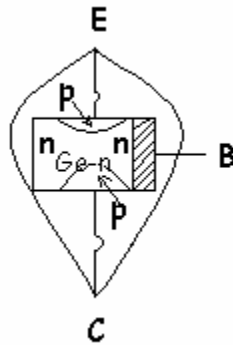
Compuși cuaternari – In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub> se folosesc pt. lasere cu lungime de undă între 1.3 și 1.55μm.

În 1939 pt. prima dată a fost stabilit din punct de vedere teoretic posibilitatea de formare a tranzistorului. În 1940 pt. prima dată a fost creată dioda punctiformă.



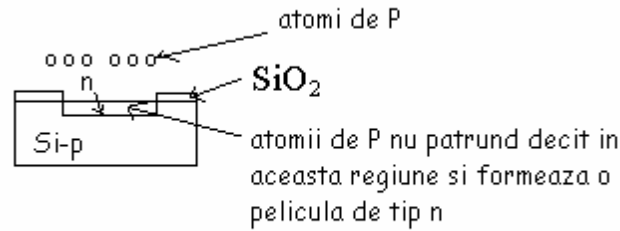
- frecvența de funcționare normală.

În 1948 savanții americani Bardin, Bratın și Shacly au realizat tranzistorul cu contacte punctiforme.



În 1955 a apărut tehnologia joncțiunii pn formată prin difuzia impurităților (primele tranzistoare formate prin difuzie).

În 1957 s-a demonstrat că pelicula de  $\text{SiO}_2$  cu grosime de  $1\mu\text{m}$  nu permite trecerea impurităților, iar în 1959 această peliculă a fost folosită în microelectronică.



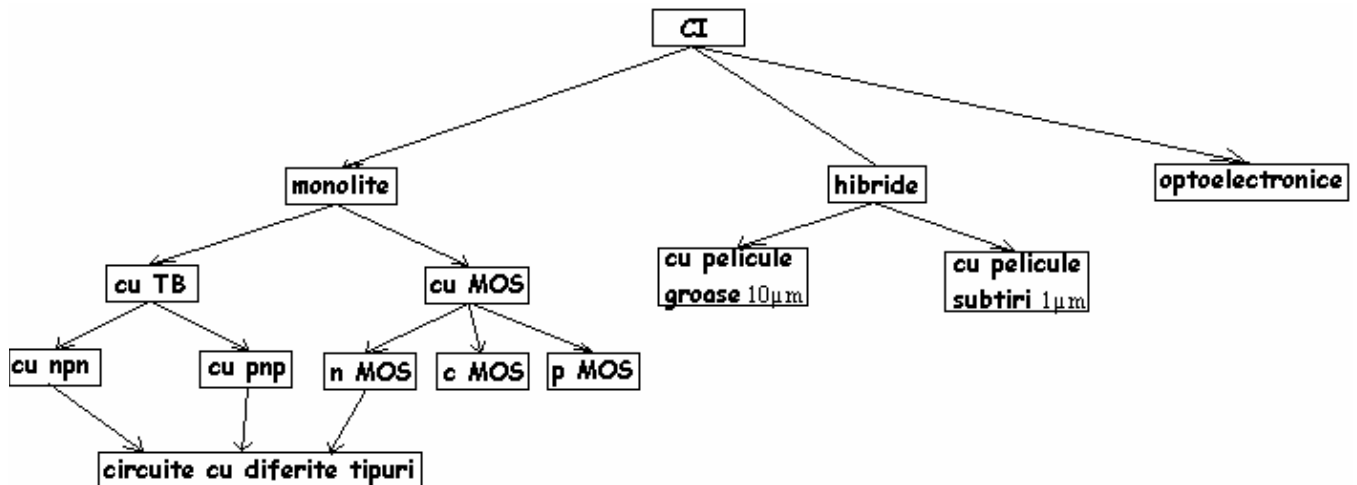
În 1959 au apărut primele circuite integrate (CI) care conțineau tranzistoare bipolare (TB).

În 1964 au fost confecționate primele CI cu tranzistoare MOS.

În 1968-1969 s-au făcut primele led-uri (diode luminescente).

În 1970 deja un cristal conținea câte 1000 tranzistoare MOS.

## Clasificarea CI din punct de vedere al procesului tehnologic



CI monolite ( din greacă “mono”- singular, unic, “ litos”- piatră) – în aceste circuite integrate toate elementele active ( D, T) și pasive (R,C) sunt formate în placa de Si, iar conexiunile între aceste elemente sunt pe suprafața plachetei. În monolite fiecare element trebuie izolat unul de altul.

CI hibride – pe suprafața unei plăci de ceramică se fac toate elementele pasive și toate conexiunile, iar elemntele active se conectează la urmă. Hibridele pot funcționa la frecvențe mult mai înalte decât cele monolite.

- cu pelicule subtiri – se formează prin depunerea vaporilor de Al în vid;
- cu pelicule groase – la acestea se folosesc paste rezistoare, conductoare și dielectrice.

CI optoelectronice – există trei elemente de bază:

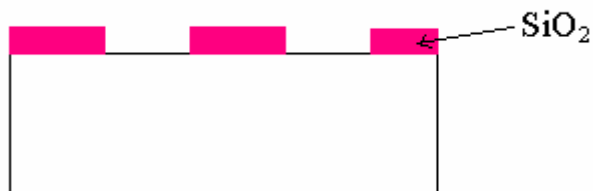
- sursa de lumină (laser);
- fotoreceptor (detectează această sursă de lumină);
- calea de transmisie pe baza joncțiunii pn.

## Noțiuni de tehnologie a CI

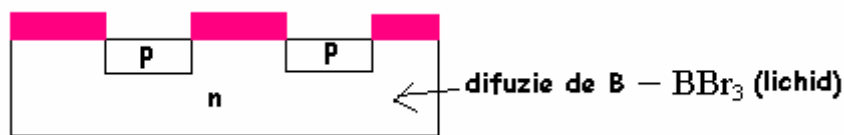
În 1957 a apărut tehnologia tranzistorilor planari.



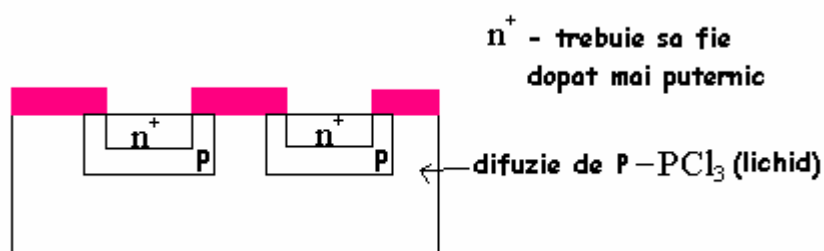
- această placchetă introdusă într-un cuptor electric se realizează oxidarea:  
$$\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$$
- apoi se realizează un proces de fotolitografie; în placchetă se formează niște ferestre:



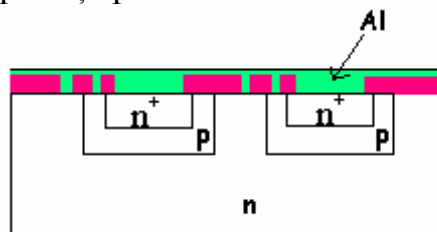
- apoi se face difuzia de tip p:



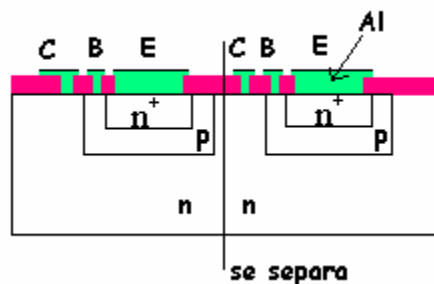
- se mai face o oxidare, apoi din nou un proces de fotolitografie:



- la npn purtătorii sunt electronii care se injectează în bază și formează curentul prin bază, o altă parte de electroni se injectează în colector și se formează curentul prin colector;
- pt. a face contactele placheta se oxidează din nou și din nou procesul fotolitografic ⇒ că se deschid niște ferestre de contact, după care se depune Al pe toată suprafața plachetei:

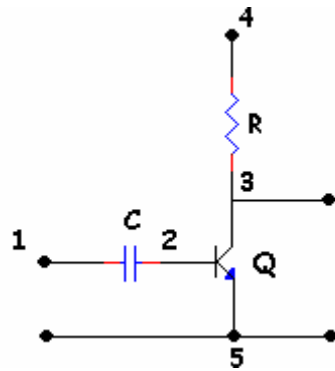


- apoi se înlătură Al cu ajutorul fotolitografiei, după care prin separare rezultă două tranzistoare care se pun fiecare în câte o capsulă.



Această tehnică planară a tranzistorului a fost în principiu trecerea rapidă la tehnologia circuitelor integrate.

În 1961 se realizează primele CI.



Pt. a face acest circuit în cadrul unui CI trebuie ca:

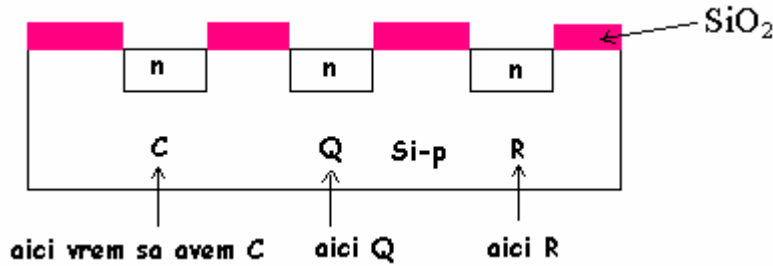
- structura lui Q trebuie să fie alta decât cea de la tranzistorul fabricat anterior;
- capacitatea de barieră a joncțiunii pn o folosim ca o capacitate în CI monolite.

$$R = \rho \frac{l}{b \cdot h} \quad ; \quad b = \text{lățimea}; \quad h = \text{grosimea.}$$

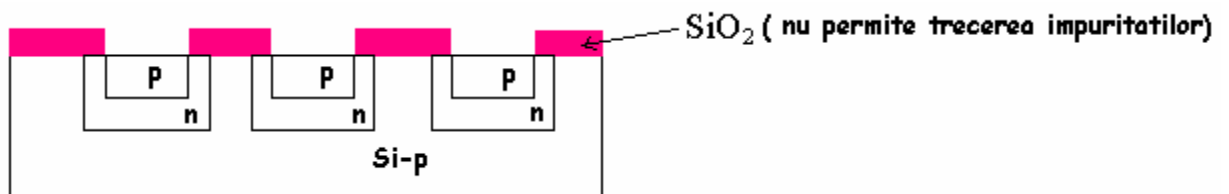
Vrem să folosim cam aceeași metodă de realizare a tranzistorului planar și pt. CI.



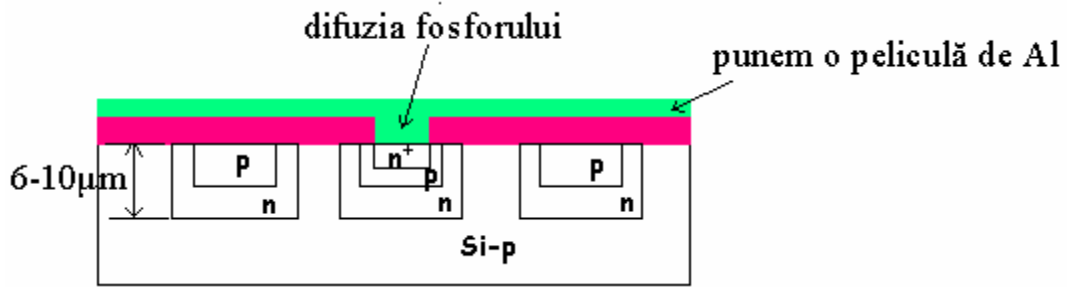
Următoarea operație este fotolitografia plus difuzia a impurităților de tip n (adică difuzia fosforului).



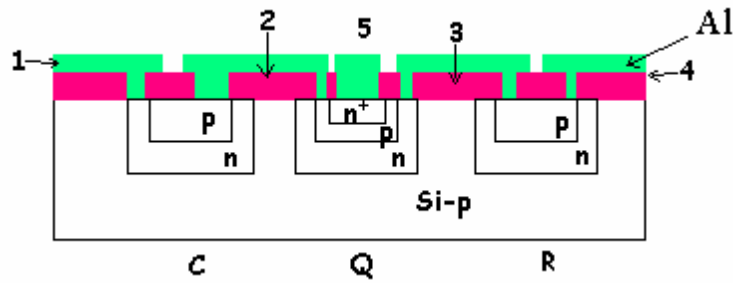
Următoarea operație este oxidarea pe toată suprafața plus fotolitografie plus difuzie a impurităților de tip p:



- pt. construcția C vom folosi joncțiunea BC  $\Rightarrow$  structura C este astfel realizată.
- pt. construcția R vom folosi regiunea bazei tranzistorului  $\Rightarrow$  structura R este realizată.
- pt. a realiza tranzistorul se face din nou oxidare plus fotolitografie, dar nu mai deschidem ferestre unde este C și R, după care difuzia fosforului ( $n^+$ ) pt. E.

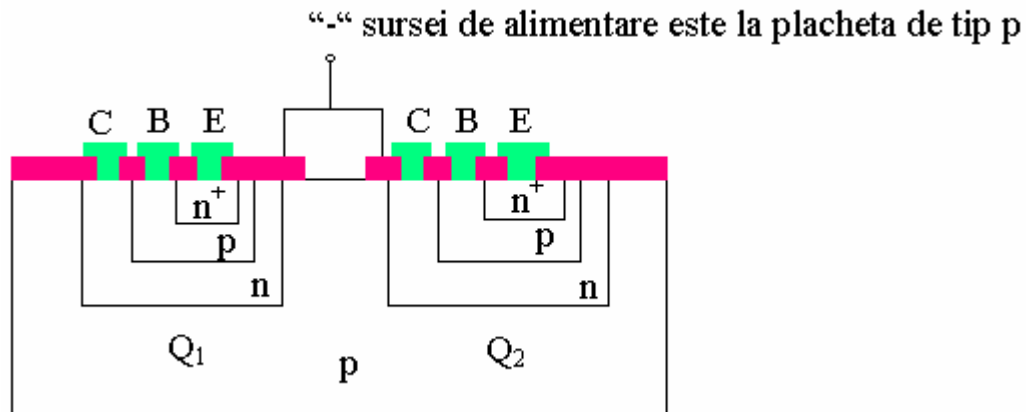


- realizăm contactele ⇒

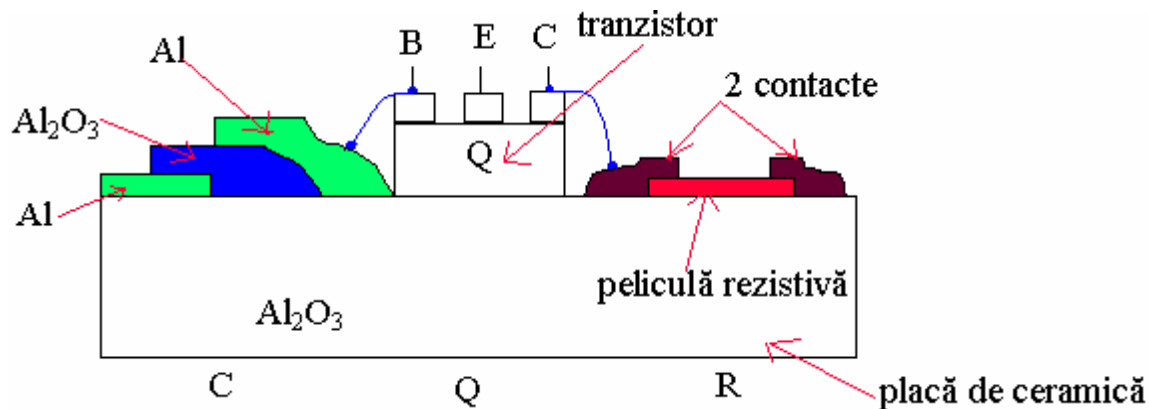


- tranzistorul Q are o joncțiune în plus față de cel realizat anterior (are conducție de tip n înconjurată de p).

Cum arată două tranzistoare la finalul procesului:



Realizarea aceluiași circuit în tehnologia hibridă



- în hibride obținem o precizie de 1/1000 (pt. R și C);
- pt. realizarea aceluiași CI ne trebuie o mască pt. C, o mască pt. pelicula rezistivă, pt. contacte  $\Rightarrow$  în total patru măști.

Într-un  $\text{cm}^3$  de Si monocristalin se găsesc aproximativ  $5 \cdot 10^{22}$  atomi. Există plachete de Si-n care au n (concentrația) =  $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  atomi de impuritate  $\Rightarrow$

$$C_{\text{impurități}} = \frac{5 \cdot 10^{16}}{5 \cdot 10^{22}} = 10^{-6} = 10^{-4}\% \Rightarrow \text{la 1 milion de atomi de bază ai Si îi}$$

corespunde 1 atom de impuritate