Lucrarea nr. 2

TEHNOLOGIA TRANZISTOARELOR BIPOLARE

2.1 SCOPUL LUCRĂRII

Lucrarea îşi propune cunoaşterea:

- variantelor constructive de tranzistoare bipolare;
- principalelor etape ale tehnologiei tranzistoarelor bipolare;
- structurii emitoarelor tranzistoarelor bipolare medie şi mare de putere şi a celor de înaltă frecvenţă;
- modului de transfer a căldurii degajate de cip spre mediul ambiant;
- modului de apreciere a tranzistoarelor defecte.

2.2. INDICAȚII TEORETICE

Tranzistoarele bipolare se împart în funcție de tehnologia de fabricație în:

- tranzistoare aliate, realizate prin procese de aliaere - tehnologie specifică tranzistoarelor cu germaniu;
- tranzistoare simplu difuzate (structură hometaxial): se realizează prin difuzarea simultană a impurităților pe ambele fețe ale unei plachete dopate inițial;
- tranzistoare dublu şi triplu difuzate se obțin prin difuziile succesive ale bazei şi emitorului; se caracterizează tensiuni mai mari de colector, deoarece zona colectorului conține şi o zonă de rezistivitate mare;
- tranzistoare planar epitaxiale sunt forte răspândite în construcția tranzistoarelor de semnal mic precum şi a celor de putere destinate aplicațiilor la tensiuni mici şi medii.

Structura unui tranzistor planar epitaxial dublu difuzat este prezentată în figura 1. Etapele principale de obținere a tranzistoarelor *npn* planar epitaxiale discrete sunt prezentate în tabelul 1.

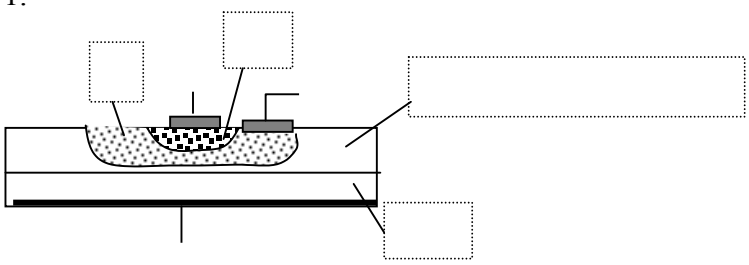


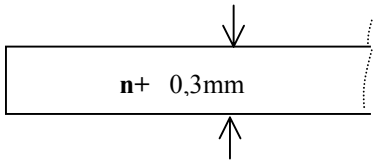
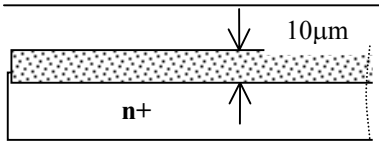
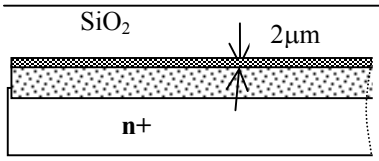
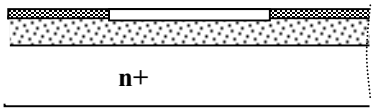
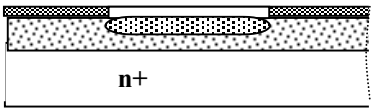
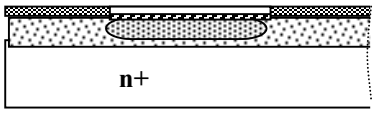
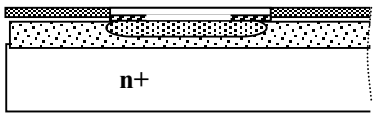
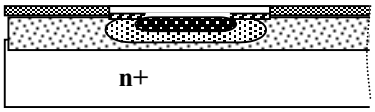
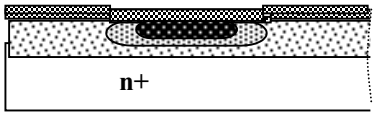
Fig. 1 *Structura unui tranzistor planar epitaxial*

Plachetele semiconductoare sunt supuse unor multitudini de operații, care se realizează într-o succesiune bine determinată, prin procesul tehnologic specific pentru fiecare variantă constructivă de tranzistoare.

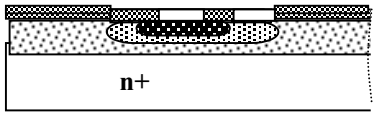
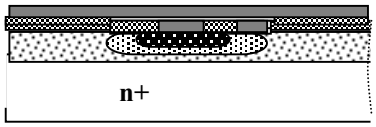
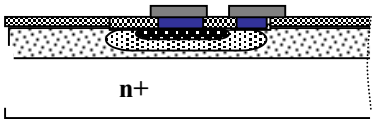
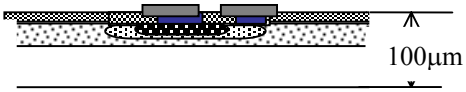
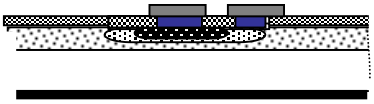
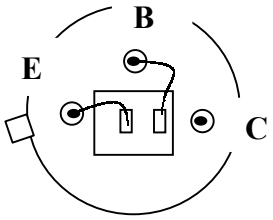
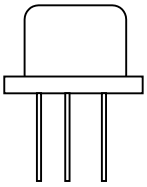
Tranzistoare *npn* sunt mai răspândite decât cele *pnp* datorită caracteristicilor mai bune (factor de amplificare, frecvență de tăiere) care se pot obține prin tehnologia planară.

În tabelul 1 se prezintă principalele etape ale tehnologiei de obținere a tranzistoarelor epitaxiale (tranzistoare planar epitaxiale dublu difuzate).

Tabelul 1

1.		Plachetă de *Si* (wafer) monocristalin puternic dopat ($N_I \approx 10^{16}$ atomi/cm^2) cu *D*=50÷75mm şi grosime g≅0,3 mm
2.		Creşterea epitaxială unui strat *n* slab dopat $x_{epi} \approx 10\mu m$
3.		*Oxidarea* termică umedă a unui strat de oxid cu grosimea ≈2μm
4.		*Fotolitografie (masca 1)* – deschiderea ferestrei pentru difuzia bazei
5.		Predifuzia atomilor de bor
6.		*Difuzia* atomilor de bor în atmosferă oxidantă
7.		*Fotolitografie* (masca 2) – deschiderea ferestrei pentru difuzia *emitorului*
8.		*Difuzia emitorului* prin impurificare cu fosfor schimbându-se tipul dopării (din *n* în *p*)
9.		Reoxidare

Tabelul 1 Principalele etape ale tehnologiei unui tranzistor npn planar epitaxial (cont.)

10.		*Fotolitografie* (masca 3) – Deschiderea ferestrelor pentru contactele ohmice (B şi E)
11.		Metalizare neselectivă *(Al pur pentru zone p* şi Au-Sb sau Au-Ni pentru zone *n)*
12.		*Corodarea stratului metalic* (cu excepţia zonelor de contact)
13.		Reducerea grosimii subtratului
14.		Metalizarea subtratului
15.		Montarea în capsulă (lipire colector) Sudarea bazei şi a emitorului
16.		Încapsulare, marcare

Construcția verticală a structurii tranzistorului bipolar realizat în tehnologia planară, face ca circulația curentului de colector să fie perpendiculară pe curentul de bază. În aceste condiții o mare parte a curentului de emitor se concentrează la periferia emitorului . Din această

cauză se impune, în special la tranzistoarele de curent mare, ca prin construcție să se asigure un bun raport dintre perimetrul şi aria emitorului, aşa cum se indică în figura 2 pentru tranzistoarele 2N3055 (I_C=15A) (fig. 2.a) şi BD140 (I_C=1,5A) (fig. 2.b).
Fenomenul de concentrare a liniilor de curent la periferia emitorului determină şi geometria emitorului pentru tranzistoarele de înaltă frecvență 2N3375– structura de pieptăne (mai multe emitoare conectate în paralel- fig. 2. c).

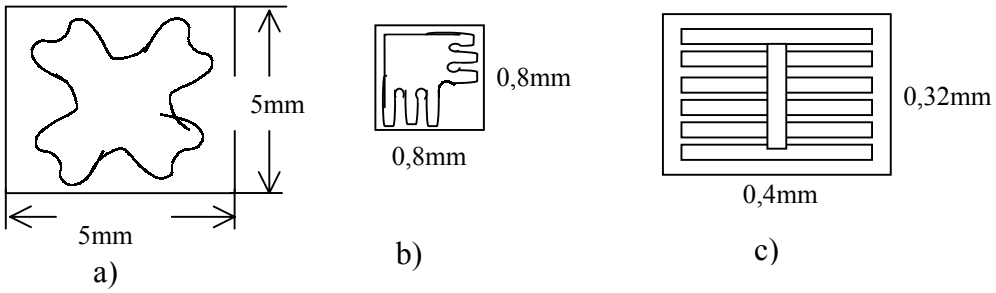


Fig. 2 *Geometria emitorului pentru tranzistoarele: a) 2N3055, b) BD140, c) 2N3375*

Din figura 2 se observă că dimensiunile cipului sunt dependente de valoarea maximă a curentului de colector pe care tranzistorul trebuie să o suporte. În funcționarea tranzistorului, trecerea curentului prin joncțiuni determină o putere disipată care se transformă în căldură. Căldura disipată trece prin siliciu şi dă naştere unor gradienți de temperatură pe suprafața cipului.
Căldura degajată de către cipul tranzistorului în timpul funcționării sale trebuie să treacă din siliciu spre capsula în care acesta este încapsulat şi apoi de la capsulă la mediul ambiant. Pentru tranzistoarele din siliciu din considerente de fiabilitate se impune ca temperatura cipului (joncțiunii) să nu depăşească 150^0 - 200^0C.
Rezistența termică *joncțiune - capsulă* R_{jc}[W/^{0}C] reprezintă o caracteristică a cipului tranzistorului respectiv, dar şi a capsulei folosite. Această valoarea se indică în cataloagele producătorilor de tranzistoare. Puterea maximă P_{max} [W] pe care o poate disipa un cip (valoare ideală) se poate determina cu relația:

$$P_{\max} = R_{jc} \cdot T_j \qquad (2.1)$$

Valoarea P_{max} care se obține cu relația (2.1) este mai mare decât ceea care se poate obține în codiții reale.

2.3 DESFĂŞURAREA LUCRĂRII

A) Se vizualizează plachete semiconductoare cu structuri de tranzistoare bipolare.
Se determină dimensiunile plachetei de siliciu (la măsurarea diametrului se are în vedere precizările de la lucrarea 1) şi dimensiunea cipului (Lxl).
Se calculează numărul maxim de tranzistoare (cipuri) de pe plachetă cu relația (2.2) şi numărul estimativ de cipuri cu relația (2.3).
Datele se consemnează în tabelul 2.

Tabelul 2

Nr. crt.	***Diametrul plachetei***		***Dimensiuni cip***		N_{max}	N_{estim}	***Observații***
	D [mm]	D [inch]	L[mm]	l[mm]			

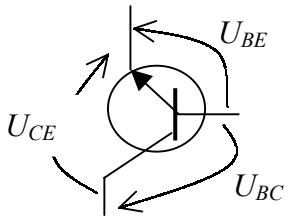
În rubrica observații se va indica forma structuri vizualizate şi faza în care acestea se prezintă, comparativ cu operațiile tehnologice prezentate în tabelul 1 (indicarea ultimei operații la care a fost supusă placheta semiconductoare de pe care se face vizualizarea).

B) Se identifică tipul de capsulă pentru diferite tranzistoare (minim 5 capsule) şi constată care este modul de dispunere a cipurilor (încapsularea) unor tranzistoare bipolare existente în laborator.
Rezultatele se centralizează în tabelul 3.

Tabelul 3

Nr. crt.	***Tip capsulă (cod)***	$R_{jc}[W/^{0}C]$	***Dispunerea terminalelor***	P_{max} ***[W]***

C) Cu ajutorul multimetrului digital având comutatorul pe poziția de măsurare a căderii de tensiune în sens direct se măsoară pe rând între U_{BE}, U_{BC} şi apoi U_{CE} . Datele se trec în tabelul 4.



Tranzistoarele bune (*FUNCȚIONAL)* se recunosc valorile U_{BE}, U_{BC} =0,4…0,6 V şi U_{CE} =∞ (indicație de depăşire domeniu U_{CE} =1). *DEFECT* se declară tranzistorul la care una dintre valori nu corespunde domeniului de valori precizat.

Tabelul 4

Nr.	***Tip tranzistor***	U_{BE} ***[mV]***	U_{BC} ***[mV]***	U_{CE} ***[mV]***	***Concluzii***

2.4. MOD DE LUCRU

Atenție: Manipularea plachetelor se efectuează cu deosebită grijă, deoarece acestea sunt forte fragile şi se pot deteriora (sparge).

2.4.1 *Vizualizarea structurilor* se face cu ajutorul unei lupe, iar pentru măsurarea dimensiunilor cipurilor (L şi l) se foloseşte un microscop metalografic.

a) Vizualizarea.
Partea optică a microscopului nu se va fixa direct pe probă (placheta de siliciu) pentru a nu o deteriora, ci se va sprijini lateral pe două benzi de distanțare cu grosimea de 1…1,5mm amplasate diametral față de plachetă.
Se reglează obiectivul microscopului, prin rotirea acestuia, până când se va distinge clar forma structurii de pe plachetă.

b) Măsurarea dimensiunilor cipului. Se roteşte partea care conține vernierul, pentru a încadra cipul paralel cu rigla de măsură (axa pe care sunt marcate diviziunile de măsură). Pentru a se vedea clar diviziunile riglei de măsură se va roti uşor obiectivul (stnga sau dreapta). Se încadrează inițial lungimea cipului (L) şi se citesc prin ocular numărul de diviziuni (o diviziune =0,1mm) care corespundacestei dimensiuni. Se roteşte apoi cu 90^0 partea de citire a microscopului şi se măsoară lățimea (l). Rezultatele măsurării (L şi l) se notează în tabelul 2.

Se calculează numărul maxim de cipuri de pe plachetă:

$$N_{\max} = \frac{\sup rafata\ totala}{\sup rafata\ cipului} = \frac{(\pi \cdot D^2 / 4)}{L \cdot l} \qquad (2.2)$$

Numărul estimativ de cipuri se determină prin prin raportarea suprafeței utile a plachetei la suprafața unui cip. Suprafața utilă se obține prin diminuarea suprafeței totale cu suprafața corespunzătoare cipurilor de probă (dacă acestea există - cipuri diferite ca structură de cipurile majoritare) şi suprafața echivalentă a periferiei plachetei (fără structuri). Datele acestor determinări se centralizează în tabelul 2.

$$N_{estim} = \frac{\sup rafata\ utila}{\sup rafata\ cipului} = \frac{\sup rafata\ totala - \sup rafata\ neutilizata}{L \cdot l} \qquad (2.3)$$

2.3.2 Încapsularea

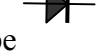
Se urmăresc eşantioanele (părți ale capsulelor: ambază şi capac) care se vor pune la dispoziție în acest scop. Capsulele metalice sunt formate din: *ambază* - partea de fixare a cipului (conține şi terminalele) şi capacul. Capsulele din plastic au o ambază metalică care la încapsulare se mulează în material plastic. La aceste tranzistoare, după încapsulare ambaza nu mai este vizibilă.

a) Se va urmări succesiunea operațiilor de încapsulare a cipurilor tranzistoarelor de mică putere (cu capsulă metalică şi cu capsulă din material plastic) şi la cele de putere (capsula TO-3).

b) Se va desena forma ambazei şi a capacului.

c) Cu relația 2.1 se determină P_{max} *[W]*.

Datele se vor introduce în tabelul 3.

Determina integrității joncțiunilor  tranzistoarelor se face cu ajutorul multimetrului digital având comutatorul pe poziția de măsurare a căderii de tensiune în sens direct "DIODE" se măsoară pe rând între U_{BE}, U_{BC} şi apoi U_{CE} . Datele se trec în tabelul 4. Tranzistoarele care sunt funcționale (bune) se recunosc valorile U_{BE}, U_{BC}

=0,4…0,6 V şi U_{CE} =∞ (indicație de depășire domeniu U_{CE} =1). DEFECT se declară tranzistorul la care una dintre valori nu corespunde domeniului de valori precizat.

2.5 ÎNTREBĂRI

1. Ce tipuri de tranzistoare bipolare cunoaşteți şi prin ce se caracterizează ?
2. Ce fel de forme au emitoarele tranzistoarelor de putere ? Care este motivul ?
3. Enumerați care sunt principalele operații folosite la realizarea tranzistoarelor epitaxiale dublu difuzate?
4. Ce valoare are puterea disipată P_{max} la o joncțiune având R_{jc}=0,25W/^{0}C?
5. Care este principiul care stă la baza determinării stării de integritate a tranzistoarelor bipolare ? Indicați o altă metodă care se poate folosi în acelaşi scop.

2.6. CONȚINUTUL REFERATULUI

1. Scopul lucrării;
2. Tehnologia de realizare a tranzistoarelor bipolare;
3. Completarea tabelelor (2, 3, 5) cu rezultatele determinărilor experimentale;
4. Prezentarea principalelor operații şi a subansamblelor de la încapsularea tranzistoarelor;
5. Răspunsuri la întrebări.