

# Cuprins

## Capitolul 1: Teoria relativității restrânse

1.1. Bazele teoriei relativității restrânse .....	5
1.2. Postulatele teoriei relativității restrânse. Transformările Lorentz. Consecințe .....	12
1.3. Elemente de cinematică și dinamică relativistă .....	18

## Capitolul 2: Elemente de fizică cuantică

2.1. Efectul fotoelectric extern .....	24
2.2. *Efectul Compton .....	32
2.3. Ipoteza De Broglie. Difracția electronilor. Aplicații .....	38
2.4. Dualismul undă-corpusul .....	41

## Capitolul 3: Fizică atomică

3.1. Spectre .....	44
3.2. Experimentul Rutherford. Modelul planetar al atomului .....	50
3.3. Experimentul Frank-Hertz .....	54
3.4. Modelul Bohr .....	57
3.5. *Atomul cu mai mulți electroni .....	62
3.6. Radiațiile X .....	69
3.7. *Efectul Laser .....	74

## Capitolul 4: Semiconductoare. Aplicații în electronică

4.1. Conducția electrică în metale și semiconductori. Semiconductori intrinseci și extrinseci .....	79
4.2. Dioda semiconductoare. Redresarea curentului alternativ .....	88
4.3. *Tranzistorul cu efect de câmp. Aplicații .....	93
4.4. *Circuite integrate .....	99

## Capitolul 5: Fizică nucleară

5.1. Proprietăți generale ale nucleului .....	104
5.2. Energia de legătură a nucleului. Stabilitatea nucleului .....	108
5.3. Radioactivitatea. Legile dezintegrării radioactive .....	114
5.4. Interacțiunea radiației nucleare cu substanța. Detecția radiațiilor nucleare. Dozimetrie .....	122
5.5. Fisiunea nucleară. Reactorul nuclear .....	130
5.6. Fuziunea nucleară .....	137
5.7. *Acceleratoare de particule .....	144
5.8. *Particule elementare .....	147

Probleme recapitulative .....	153
-------------------------------	-----

Potrivit relației (5), liniile spectrale care apar ca umbră a acestui mecanism depind de numărul atomic ( $Z$ ) al elementului, deci sunt o caracteristică a atomului emisiv.

Dacă în urma interacțiunii electronului cu atomul țintă electronii de pe straturile inferioare sunt scoși din atom, locul lor va fi luat de electronii de pe straturile superioare care se vor rearanja pentru ca atomul să ajungă în starea fundamentală. Dacă lipsa unui electron apare pe stratul  $K$ , atunci reocuparea acestui strat se poate face cu electroni de pe straturile  $L$ ,  $M$ ,  $N$ . Aceasta duce la apariția liniilor  $K_{\alpha}$ , dacă electronul efectuează tranziția de pe nivelul  $L$  pe nivelul  $K$ ;  $K_{\beta}$ , dacă tranziția electronului este de pe nivelul  $M$  pe  $K$  etc. În cazul în care reocuparea se face pe nivelul electronic  $L$ , linii caracteristice vor fi notate  $L_{\alpha}$ , dacă tranziția are loc de pe nivelul  $M$  pe nivelul  $L$ , etc.

#### Estimarea energiei unui electron incident

Să considerăm doi electroni aflați pe nivelul  $K$  al unui atom cu număr atomic  $Z$ . Fiecare electron îl va ecrana parțial pe celălalt, față de nucleu. Dacă  $Z$  este sarcina nucleului, sarcina nucleară efectivă „văzută” de un electron este  $Z_{\text{ef}} = (Z - 1)$ . Energia unui electron pe nivelul  $n$  al atomului de hidrogen este dată de relația:

$$E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n^2} \right) \text{ cu } n = 1, 2, 3 \dots \quad (6)$$

Ținând cont de existența celui alt electron și de sarcina nucleului, relația (6) poate fi modificată:

$$E'_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} Z_{\text{ef}}^2 \left( \frac{1}{n^2} \right) = -Z_{\text{ef}}^2 E_0, \quad (7)$$

unde  $E_0 = 13,6 \text{ eV}$ .

Deci energia nivelului fundamental ( $n = 1$ ) este:

$$E_1 = -(Z - 1)^2 \cdot (13,6 \text{ eV}) \quad (8)$$

Similar, se poate estima energia unui electron aflat pe un nivel  $L$  sau  $M$ . Diferența dintre energiile celor două nivele între care are loc tranziția este egală cu energia a fotonului emis.

### Exemplu

Estimați energia caracteristică a unei radiații  $X$  emise de o țintă de tungsten, la o tranziție de pe nivelul  $M$  ( $n = 3$ ) pe nivelul  $K$  ( $n = 1$ ). Se dă numărul atomic al tungstenului  $Z = 74$ .

#### Rezolvare

Utilizând relația (8), se determină energia unui electron de pe nivelul  $K$ :

$$E_K = -(74 - 1)^2 \cdot 13,6 \text{ eV} = -72,5 \text{ keV}$$

Electronul de pe nivelul  $M$  ( $n = 3$ ) este supus unei sarcini nucleare efective determinate de diferența dintre sarcina nucleului și numărul de electroni de pe nivelele stărilor date de  $n = 1$  și  $n = 2$ . Deoarece sunt 8 electroni pe nivelul  $n = 2$  și un singur electron pe  $n = 1$  se obține  $Z_{\text{ef}} = Z - 9$ . Energia electronului pe nivelul  $M$  va fi:

$$E_M = Z_{\text{ef}}^2 E_0 = -(Z - 9)^2 \frac{E_0}{3^2} = 6,38 \text{ keV}.$$

Deci energia unei cuante  $X$  emise este:

$$E_M - E_K = -6,38 \text{ keV} - (-72,5 \text{ keV}) = 66,1 \text{ keV}.$$

Din  $E_M - E_K = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

se obține:  $\lambda = \frac{hc}{E_M - E_K} = 0,0188 \text{ nm}.$

## 3.6.3. Aplicații ale radiațiilor X

### A. Aplicații medicale

Când corpul uman este expus la radiații  $X$ , oasele, cu greutate atomică mai mare decât țesuturile moi, absorb în mai mare măsură radiațiile și apar distinct pe filmele radiografice. Cu cât țesutul este mai dens, cu atât mai întunecată este imaginea (fig. 7).

Radiațiile  $X$  provoacă fluorescența anumitor materiale (platinocianură de bariu, sulfură de zinc), proprietate pe baza căreia au și putut fi descoperite. Dacă filmul fotografic este înlocuit cu un ecran pe care s-a depus un material fluorescent, structura obiectelor opace poate fi observată direct - tehnica poartă numele de *fluoroscopie*. Alături de radiodiagnostic, fluoroscopia este un mijloc utilizat pentru diagnosticarea unor maladii interne.



Fig. 7. Radiografia unei mâini.

Razele  $X$  sunt utilizate și în tratamentul medical în tratarea cancerului.

### B. Aplicații industriale

O caracteristică importantă a radiațiilor  $X$  este puterea de ionizare.

Supradoparea pentru schimbarea succesivă a purtătorului mobil majoritar, determină o cale unică de variație a rezistivității (în jos – fig. 2) care limitează posibilitățile de proiectare ale tranzistorilor din circuit. Problema este rezolvată de tehnologia stratului epitaxial.

### Dicționar

**Epitaxie:** proces de depunere a unui strat subțire dintr-un material pe un substrat de același fel (de obicei, dar nu neapărat), astfel încât structura să nu se modifice (cristalul se continuă fără a-și modifica orientarea).

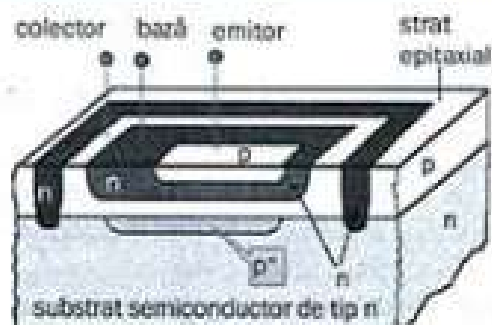


Fig. 3. Diagrama secțiunii transversale a unui circuit integrat. Se observă stratul epitaxial în care este structurat tranzistorul și inelul de tip n care-l delimitează.

Procesul de depunere epitaxială începe cu substratul de siliciu (în fig. 3 - dopat n) în care este difuzat un dopant p. Acesta formează stratul îngropat pe care se depune stratul epitaxial de dopant p care reprezintă colectorul tranzistorului. În jurul ariei care delimitează viitorul tranzistor este difuzat profund în structura siliciului un inel închis de tip n cu rolul de a izola tranzistorii între ei. Indiferent de polaritatea tensiunilor colectorilor tranzistorilor vecini, una dintre cele două jonțiuni p-n este întotdeauna polarizată invers. În final sunt difuzate, în stratul epitaxial, regiunile bazei (n) și ale emiterului (p).

**Conectarea Tranzistoarelor** - Una dintre cele mai importante probleme care se pune în cazul unui circuit integrat este realizarea conexiunilor dintre tranzistoarele care-l compun, dintre acestea și alte componente.

Din cele trei conexiuni ale fiecărui tranzistor, una, cea a colectorului se realizează de obicei, prin intermediul stratului îngropat, încă înainte de depunerea stratului epitaxial. Aceasta deoarece colectori sunt adesea conectați direct la sursa de tensiune (fig. 4b). Principiul realizării conexiunilor din partea superioară a circuitului integrat este sugerat în diagrama din fig. 4a.

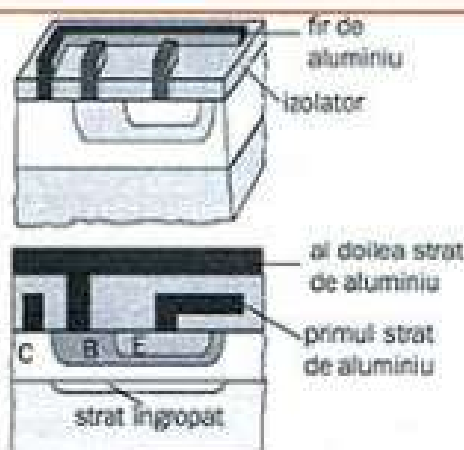


Fig. 4. Principiul realizării conexiunilor într-un circuit integrat (a). Depuneri succesive de izolanți și metal pentru realizarea conexiunilor (b).

Pentru aceasta:

- se depune un strat izolator (de exemplu  $\text{SiO}_2$ , - este ușor de produs și compatibil cu semiconductorul de siliciu - sau polimer);
- se dau găuri în stratul izolator, acolo unde se dorește realizată conexiunilor;
- se depune o peliculă metalică (aluminiu, tungsten sau cupru),

În acest fel, pot apărea conexiuni suprapuse. Depășirea acestui obstacol necesită depunerea mai multor straturi metalice despărțite de straturi izolatoare.

Materialele utilizate au mare importanță în obținerea caracteristicilor urmărite prin proiectare. De exemplu; geometria rețelei de conectare și rezistivitatea aluminiului ( $\rho = 2,7 \mu\Omega\text{cm}$ ) determină o anumită rezistență R, a circuitului. Pe de altă parte, între liniile conductoare vecine, despărțite de dielectric apar capacități parazite (C). Cele două, determină o constantă de timp RC care limitează superior viteza de propagare a semnalului. Metalizările cu aluminiu, izolate cu  $\text{SiO}_2$  restricționează frecvența de operare a circuitului integrat la circa 1 GHz (gigahertzi). Necesitatea creșterii vitezei de operare a impus micșorarea rezistenței prin utilizarea depunerilor metalice de cupru ( $\rho = 1,7 \mu\Omega\text{cm}$ ).

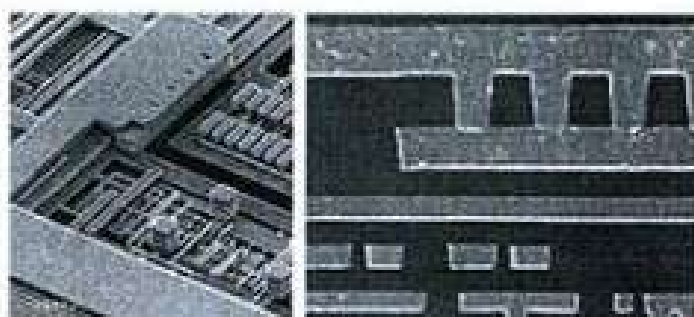


Fig. 5. Matricea celor 7 straturi metalice de tungsten și cupru ale unui cip IBM (a) și depunerile izolatoare dintre acestea, văzute în secțiune transversală (b). În această imagine mărită tranzistorii nu se văd. Ei se găsesc sub interconexiunile de tungsten (dreapta jos).