

Semiconductorii

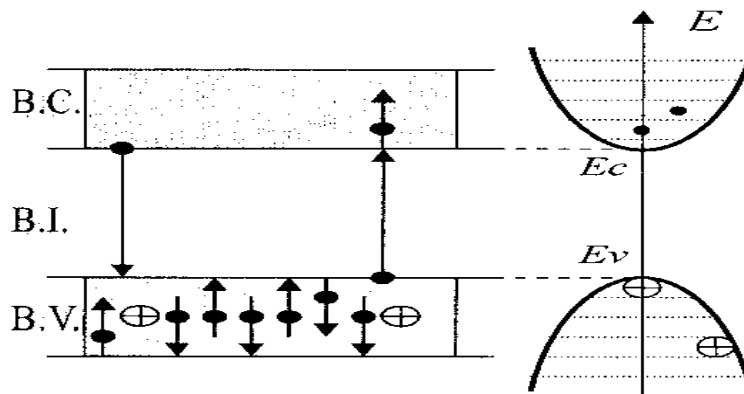
- **semiconductori *intrinseci*** (fără impurități), a căror conducție electrică se datorează doar trecerii electronilor din BV în BC;
- **semiconductori *extrinseci*** (cu impurități), la care conducția electrică se datorează, în plus, și unui număr foarte mic de atomi străini.

Perioda	Pătura	Grupa	III	IV	V	VI	VII
2	L K	$Z \rightarrow$ $E_g(\text{eV}) \rightarrow$	5 B (1,1)	6 C (1,2)			
3	M L K			14 Si (1,1)	15 P (1,5)	16 S (2,5)	
4	N M L K			32 Ge (0,67)	33 As (1,2)	34 Se (1,7)	
5	O N M L K			50 Sn (0,1)	51 Sb (0,12)	52 Te (0,36)	53 I (1,25)

Semiconductori intrinseci

- La temperaturi scăzute, toți electronii sunt atașați de atomii de care aparțin. Atomii în rețeaua cristalină sunt legați prin legături covalente, nu există electroni liberi, la $T=0$.
- Dacă temperatura crește, datorită agitației termice, o parte din legături slăbesc și unii electroni pot trece din BV în BC, având energie suficientă să treacă peste banda interzisă (BI).
- Prin plecarea unui electron, în locul lui rămâne un **gol**. Deoarece în ansamblu materialul semiconductor este neutru, **golul** din legătura chimică se manifestă ca o sarcină electrică pozitivă, egală în valoare cu sarcina electronului.

-**generare a golurilor**, prin trecerea unui electron din BV în BC;
- **recombinare a electronilor** cu golurile, prin trecerea electronilor din BC în BV.



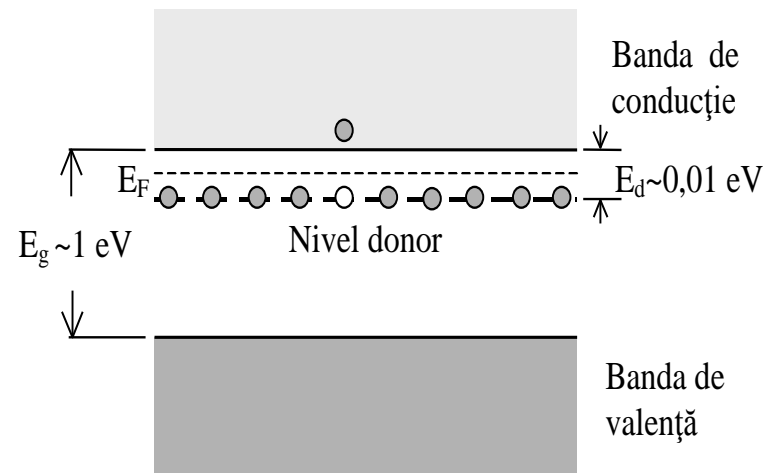
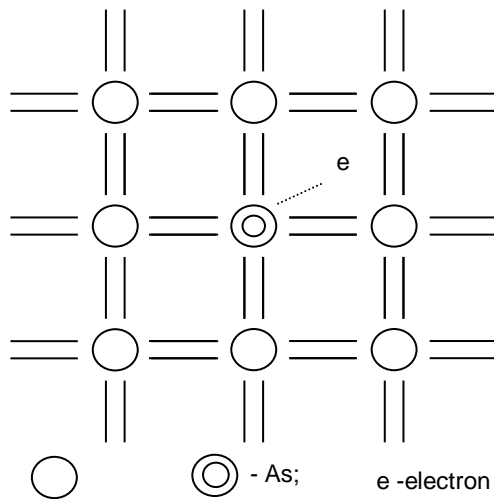
Semiconductori intrinseci

- La semiconductorul intrinsec concentrațiile purtătorilor sunt egale: $n=p$
- $\sigma_0 = e \cdot n_0 (\mu_e + \mu_g)$ - *conductivitatea inițială a semiconductorului.*
- *La semiconductoare rezistivitatea depinde de temperatură conform legii:*

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \rho_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right)$$

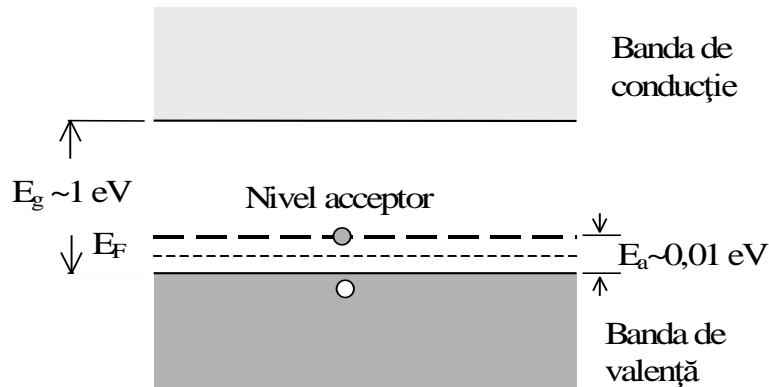
Semiconductori extrinseci

- În funcție de raportul dintre valența dopantului și valența semiconductorului de bază se pot deosebi:
 - Semiconductori de *tip n*, dacă $v_{\text{dop}} > v_{\text{baza}}$, de tip donor.
 - Semiconductori de *tip p*, dacă $v_{\text{dop}} < v_{\text{baza}}$, de tip acceptor.



Semiconductorul de bază (gr. A IV-a) și o impuritate din gr. a V-a (As), de tip *n*.

Semiconductori extrinseci

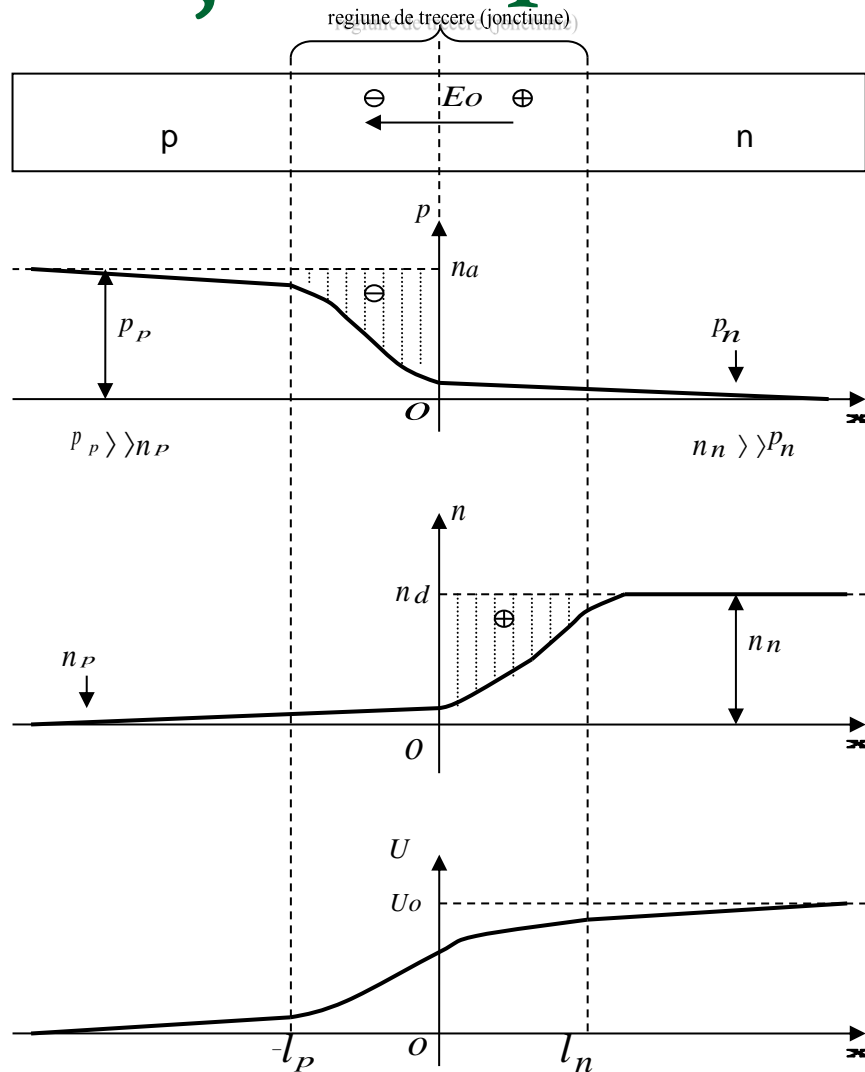


Nivele energetice în semiconductorul **p**.

În semiconductorii extrinseci dopați cu **impurități acceptoare**, purtătorii **majoritari** de sarcină sunt **golurile** din BV datorate impurităților acceptoare și a celor creați prin trecerea electronilor semiconductorului de bază din BV în BC. Purtătorii **minoritari** sunt electronii semiconductorului de bază trecuți din BV în BC.

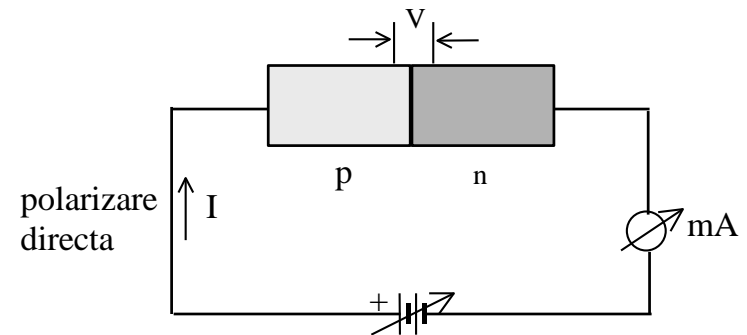
În semiconductorii dopați cu **impurități donoare**, purtătorii de sarcină sunt electronii, de aceea semiconductorii aceștia extrinseci se numesc de tip n. Purtătorii **majoritari** sunt **electronii**, iar purtătorii minoritari - golurile, create de electronii semiconductorului de bază.

Joncțiunea p-n



Joncțiunea p-n este zona de trecere de la semiconductorul p la semiconductorul n în aceeași rețea cristalină.

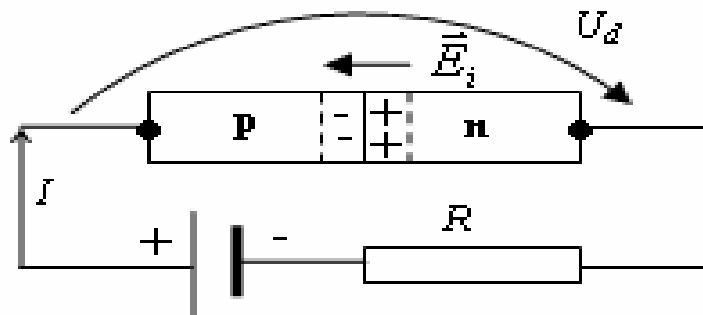
Are loc redistribuirea purtătorilor și formarea zonei de sarcină spațială (**Z.S.S.**): electronii majoritari din zona n trec prin difuzie în zona p și lasă în zona n sarcini pozitive fixe necompensate: în zona p electronii se combină cu golurile, astfel în zona p apar sarcini negative fixe necompensate.



Joncțiunea p-n

Joncțiunea este **polarizată direct** dacă zona p a acesteia se conectează la polul pozitiv al sursei iar zona n la polul negativ. Curentul direct prin joncțiune crește exponențial cu tensiunea directă.

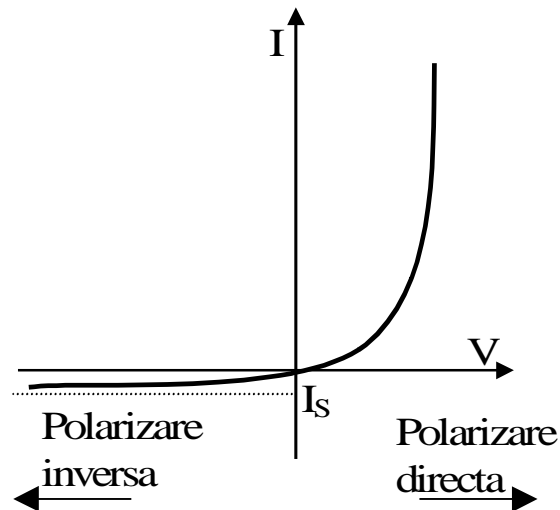
Joncțiunea este **polarizată invers** dacă zona p a acesteia se conectează la polul negativ al sursei iar zona n la polul pozitiv. Curentul prin joncțiunea polarizată invers este foarte mic și la creșterea tensiunii tinde spre o valoare de saturație numit **curent invers de saturație I_s** .



Polarizarea directă a joncțiunii p-n.

Joncțiunea p-n

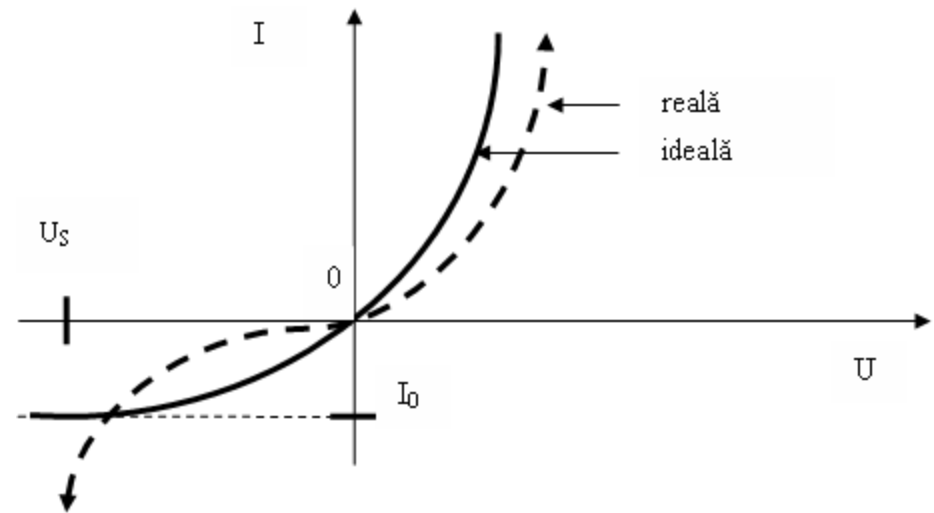
■ Caracteristica diodei



$$I = I_s [\exp(eU / mkT) - 1]$$

I_s - curentul invers de saturație.

m este un coeficient dependent de natura chimică a diodei și de modul de preparare al joncțiunii, $m=[1, 2]$.



Caracteristica curent-tensiune a *diodelor reale*, este într-un anumit fel diferită față de cea a diodei ideale, descrise de ecuația de mai sus. Diodele reale se caracterizează printr-o tensiune inversă de străpungere U_s la care curentul invers crește brusc.

DIODA SEMICONDUCTOARE

■ Dioda *electroluminiscentă* (LED)

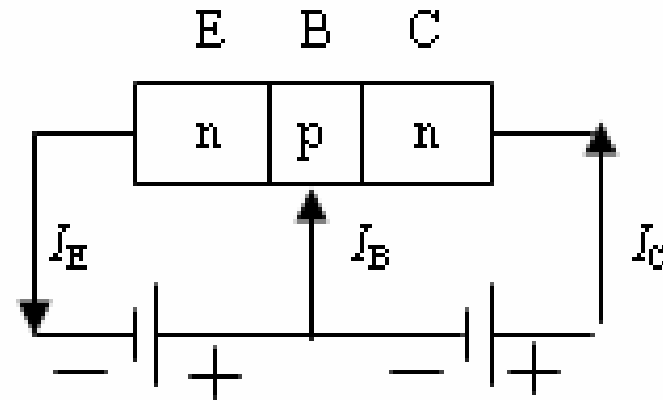
Este o **joncțiune p - n care emite lumină**. Când joncțiunea este polarizată direct, sunt injectate spre joncțiune un mare număr de goluri din regiunea p și electroni din regiunea n . În joncțiune electronii se recombina cu golurile, iar în urma recombinaării unei perechi electron-gol se emite un foton cu energie aproximativ egală cu lărgimea benzii interzise.

Efectul fotovoltaic

Semiconductorul absoarbe fotoni ai radiației cu care este iluminat, se crează perechi electron-gol. Perechile create în joncțiune sau destul de aproape de aceasta ca să poată migra fără recombinație sunt separate de către câmpul electric al joncțiunii, care antrenează electronii spre regiunea n și golurile spre regiunea p . Astfel dioda se comportă ca o sursă de tensiune electromotoare și poate menține un curent printr-o rezistență de sarcină conectată la bornele sale. Dispozitivul este numit adesea **celulă solară** deși el poate funcționa cu lumina oricărei surse, cu condiția ca energia fotonilor emiși de aceasta să fie mai mare ca lărgimea benzii interzise.

Tranzistorul

- Joncțiuni –npn
- - pnp



Tranzistorul.

La tranzistorul în conexiunea cu bază comună, curentul colectorului este comandat de curentul emitorului care la rândul său este determinat de tensiunea aplicată între emitor și bază.

Efectul Seebeck

- **Efectul Seebeck** constă în generarea unei tensiuni electromotoare
- între sudurile a două metale diferite sau două semiconductoare
- diferite sau un metal și un semiconductor când sudurile se află la
- temperaturi diferite.
- Tensiunea termoelectromotoare, φ , este generată prin trei procese:
- 1) gradientul de temperatură în lungul conductoarelor determină apariția unui flux ordonat al purtătorilor de sarcină;
- 2) fenomenul de contact determină modificarea nivelelor Fermi;
- 3) fononii rețelei antrenează electronii în lungul firului de la sudura caldă spre cea rece.

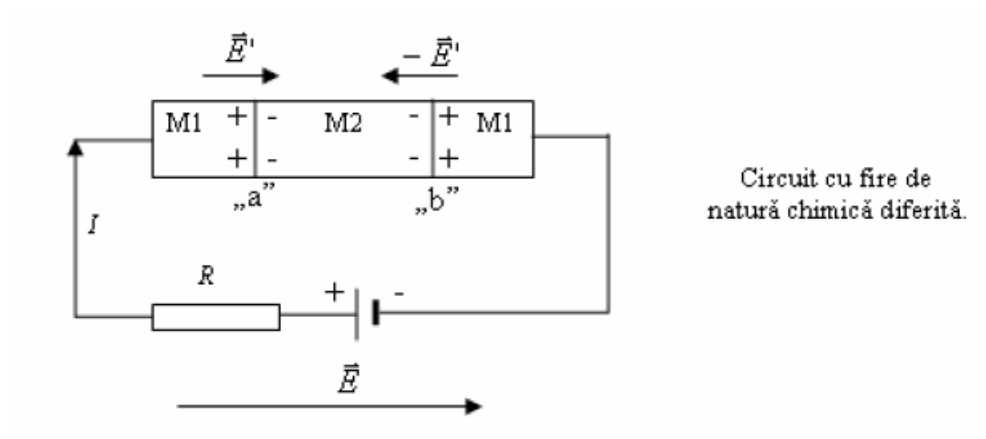
$$\varphi = \frac{k}{e} (T_1 - T_2) \cdot \ln \frac{n_1}{n_2} = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\alpha = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

→ coeficient termoelectric

Efectul Peltier

Efectul Peltier se produce dacă prin circuitul închis a două fire de natură chimică diferită trece un curent electric continuu și constă în încălzirea unei suduri și răcirea celeilalte. Este efect opus efectului Seebeck.



Din zona „a” vor pleca spre zona „b” electronii cei mai energetici. Prin plecarea acestora, distribuția de echilibru, în spațiul restrâns din jurul sudurii, este perturbată. Distribuția de echilibru se restabilește dacă electronii din zona „a” absorb energie de la rețea și, ca urmare, aceasta se va răci. Analog, rețeaua din zona „b” se va încălzi.




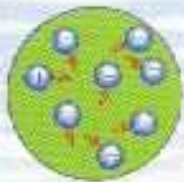
PLASMA

Pe Pamant, materia:
solid, lichid, gaz.

In 1879,

Sir William CROOKES

a identificat a 4-a stare de agregare ,
numita in 1929 « **PLASMA** »
e catre **Irving LANGMUIR**.

Solid	Liquid	Gas	Plasma
Example Ice H_2O	Example Water H_2O	Example Steam H_2O	Example Ionized Gas $H_2 \rightarrow H^+ + H^+ + 2e^-$
Cold $T < 0^\circ C$	Warm $0 < T < 100^\circ C$	Hot $T > 100^\circ C$	Hotter $T > 100,000^\circ C$ 1 > 10 electron Volts
			
Molecules Fixed in Lattice	Molecules Free to Move	Molecules Free to Move, Large Spacing	Ions and Electrons Move Independently, Large Spacing

PLASMA

Pentru a produce și susține o plasmă,
trebuie BREAKING legaturi



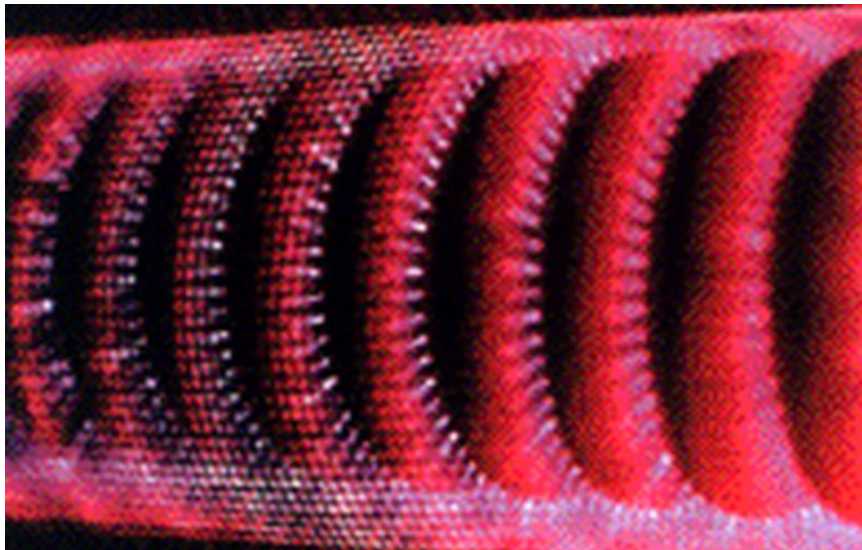
trebuie injecta energie :




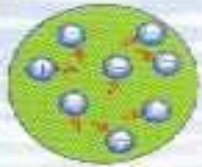
termic,

electric,

electromagnetic

(vizibil, UV, ...)



Solid	Liquid	Gas	Plasma
Example Ice H_2O	Example Water H_2O	Example Steam H_2O	Example Ionized Gas $H_2 \rightarrow H^+ + H^+ + 2e^-$
Cold $T < 0^\circ C$	Warm $0 < T < 100^\circ C$	Hot $T > 100^\circ C$	Hotter $T > 100,000^\circ C$ (10 electron Volts)
			
Molecules Fixed in Lattice	Molecules Free to Move	Molecules Free to Move, Large Spacing	Ions and Electrons Move Independently, Large Spacing

Display cu plasmă

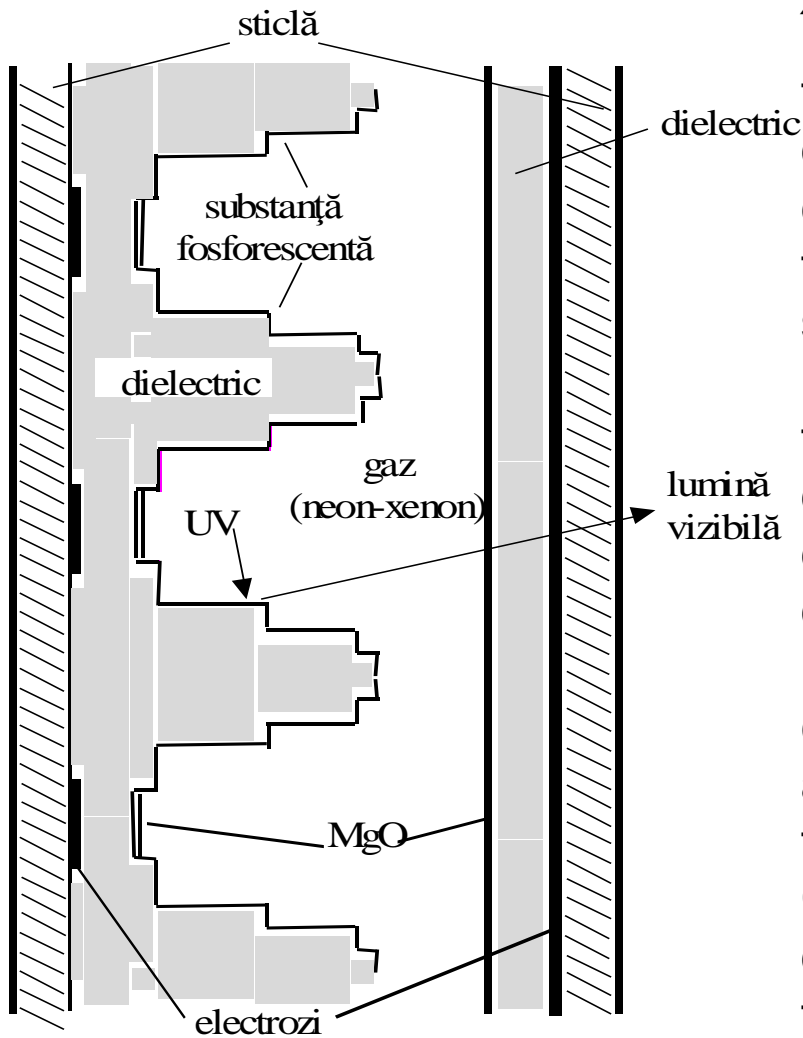
O **plasmă** slab ionizată reprezintă un sistem complex în care electroni, ioni pozitivi, specii excitate și fotoni interacționează împreună și cu câmpul electric.

Câmpul electric în regiunea de plasmă se micșorează iar căderea de potențial se redistribuie în regiunea dintre catod și plasmă, până sunt îndeplinite din nou condiții de echilibru. Acest nou regim corespunde descărcării luminescente și este caracterizat printr-o emisiune luminoasă intensă rezultată din dezexcitățile atomilor și moleculelor, a căror excitare s-a produs prin ciocniri electronice. Descărcarea luminescentă decurge la o tensiune mai mică decât tensiunea de străpungere, tensiunea minimă depinzând de amestecul de gaze și de catodul materialului (200 V este o valoare tipică).

În displayurile color este folosită emisiunea UV din descărcare spre a excita o substanță fosforescentă în cele trei culori fundamentale (un pixel de pe ecran include trei celule de descărcare). Amestecuri tipice de gaze rare folosite în panourile de display cu plasmă

(PDP) color sunt neon-xenon și heliu-xenon. Alegerea procentajului de gaz tampon (helium sau neon) rezultă din compromisul între tensiunea de lucru joasă (mai mult gaz tampon) și o emisie mai puternică de UV (mai mult xenon). Speciile excitate sunt create în timpul descărcării prin ciocniri cu electronii a atomilor de xenon în starea fundamentală urmată de reacțiile de transfer a excitației. Energia necesară electronilor pentru excitarea atomilor de xenon este furnizată de câmpul electric intens .

Panouri Display cu plasmă



În timpul funcționării, se aplică permanent o tensiune sub formă de impulsuri dreptunghiulare (tensiune de susținere) pe electrozii linii și coloane. Amplitudinea acestei tensiuni este mai mică decât tensiunea de străpungere. Pentru a aprinde un element, peste tensiunea de susținere se aplică o tensiune suplimentară între linia și coloana care definesc o celulă: ca urmare ia naștere o descărcare și se emit fotoni UV. Această descărcare conduce la acumularea unei sarcini (sarcină de memorie) pe straturile de dielectric care apoi stabilește o tensiune opusă celei aplicate. Această reducere a căderii de tensiune conduce la stingerea descărcării. Când se inversează polaritatea, tensiunea datorată sarcinii de memorie se adaugă la tensiunea aplicată și celula de descărcare se aprinde din nou. Astfel se realizează o descărcare pulsantă în celulă la fiecare semiperioadă, când pixelul este aprins.

LASERUL

LASER este acronimul din limba engleză pentru **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (amplificarea luminii prin emisia stimulată a radiației).

Primul laser construit
în anul **1960**
de către T.H. Maiman.



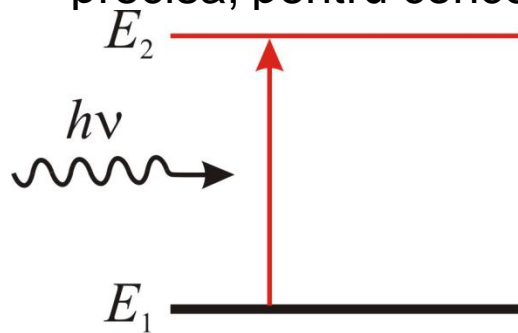
Primul efect Laser produs
În România în anul **1961**
de către Ion I. Agârbiceanu.

Elementele principale ale dispozitivului laser:

- **Mediul activ** (stare gazoasă, lichidă sau solidă), format din atomi, molecule sau ioni care pot genera și amplifica lumina ca urmare a tranzițiilor cuantice între nivelele lor energetice caracteristice.

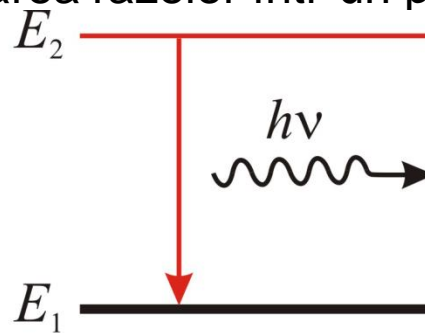


- **Pompajul optic** - excitarea sistemelor atomice care formează mediul activ pe nivele energetice superioare pentru a realiza *inversia de populație*.
- **Rezonatorul optic** - sistem de lentile și oglinzi necesare pentru **amplificarea optică** a radiației emise. Este folosit pentru colimarea mult mai precisă, pentru concentrarea razelor într-un punct calculat, pentru dispersia



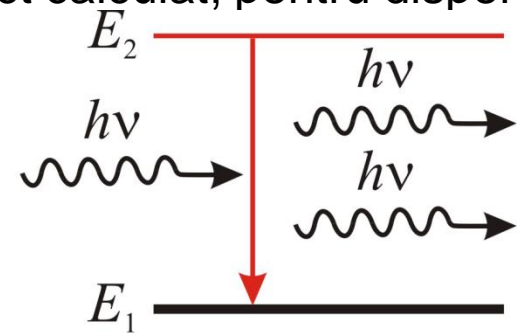
(a)

(a) absorbția
stimulată



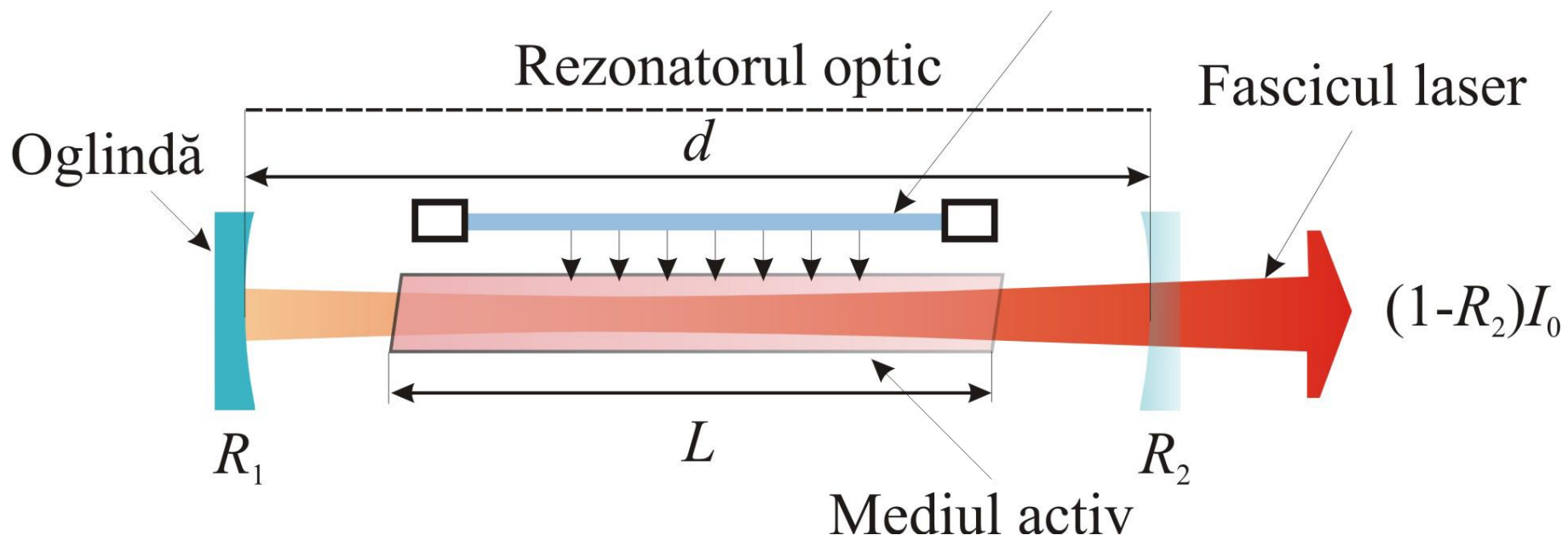
(b)

(b) emisia spontană



(c)

(c) emisia



Reprezentarea schematica a laserului

Proprietățile radiației laser

1. **Intensitatea** pentru cele mai multe tipuri de laser depășește cu câteva ordine de mărime pe cea a surselor de lumina incoerenta. Intensitatea mare a fasciculului laser permite studierea fenomenelor neliniare, cum ar fi procesele multifoton sau fenomenele de saturație.

$$I(\nu, z) = I_0 e^{\sigma(N_2 - N_1)z}$$

Câștigul optic G :

$$\frac{I(\nu, 2L)}{I(\nu, 0)} = e^{G(\nu)}$$

$$G(\nu) = 2\sigma(N_2 - N_1)L$$

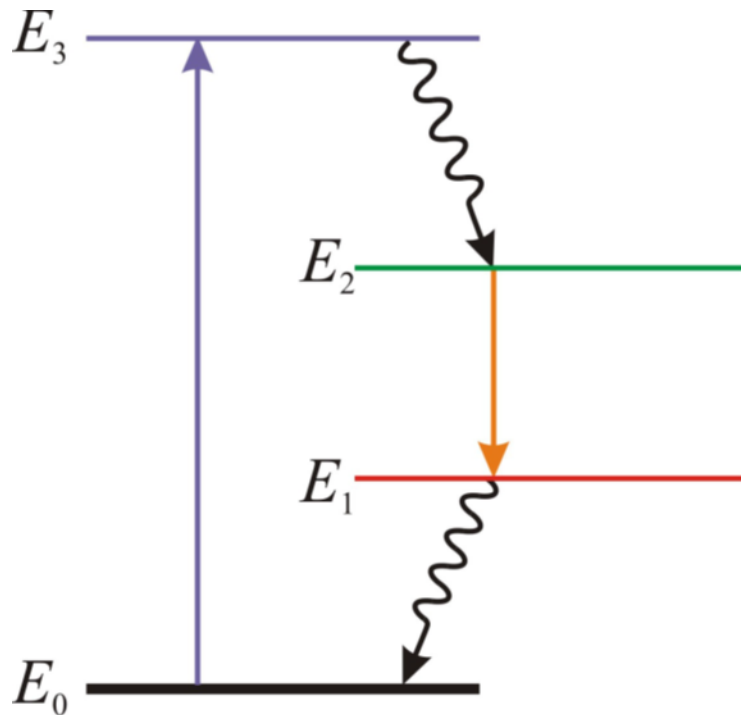
2. Direcționalitatea sau **divergența redusă** (unghiul solid mic) a fasciculului laser face mai facilă manipularea și controlul fasciculului de lumină și permite folosirea lui în dispozitivele optice integrate. Din punct de vedere spectroscopic, această proprietate a fasciculului laser este folosită în cazul măsurătorilor coeficienților de absorbție foarte mici.

3. Monocromaticitatea sau lărgirea spectrală mică are un impact considerabil asupra dezvoltării tehnologiilor și aplicațiilor spectroscopiei de înaltă rezoluție. Spre exemplu, rezoluția spectrală furnizată de anumite lasere depășește cu câteva ordine de mărime pe cea a celui mai sensibil monocromator.

4. Coerența - Foarte multe experimente în spectroscopia laser depind de proprietățile de coerență ale radiației. În spectroscopie fasciculele coerente de lumină sunt folosite pentru o mai bună rezolvare a spectrelor (separare mai bună a benzilor spectrale).

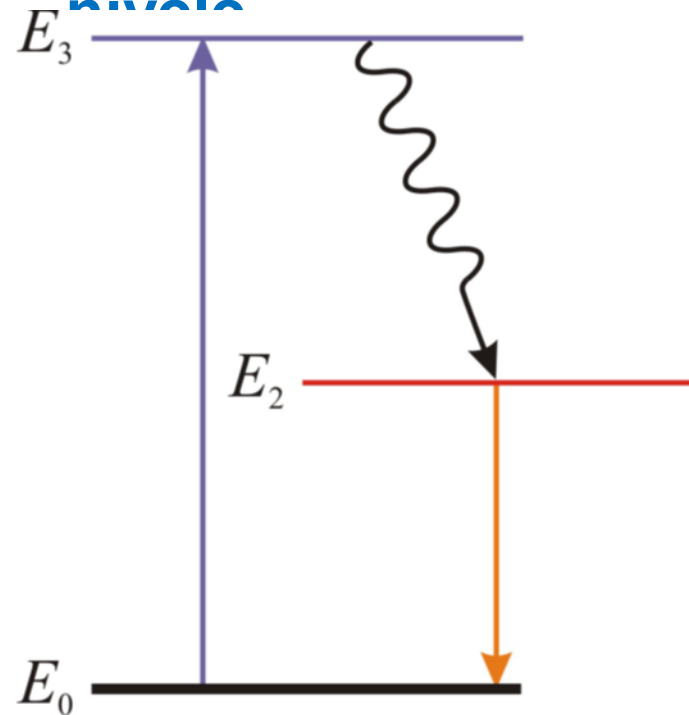
5. Posibilitatea funcționării laserului în regim de pulsuri scurte și ultracurte (de ordinul femtosecundelor) de intensitate mare. Această caracteristică permite studierea fenomenelor rapide și ultrarapide .

Laserul cu 4 nivele

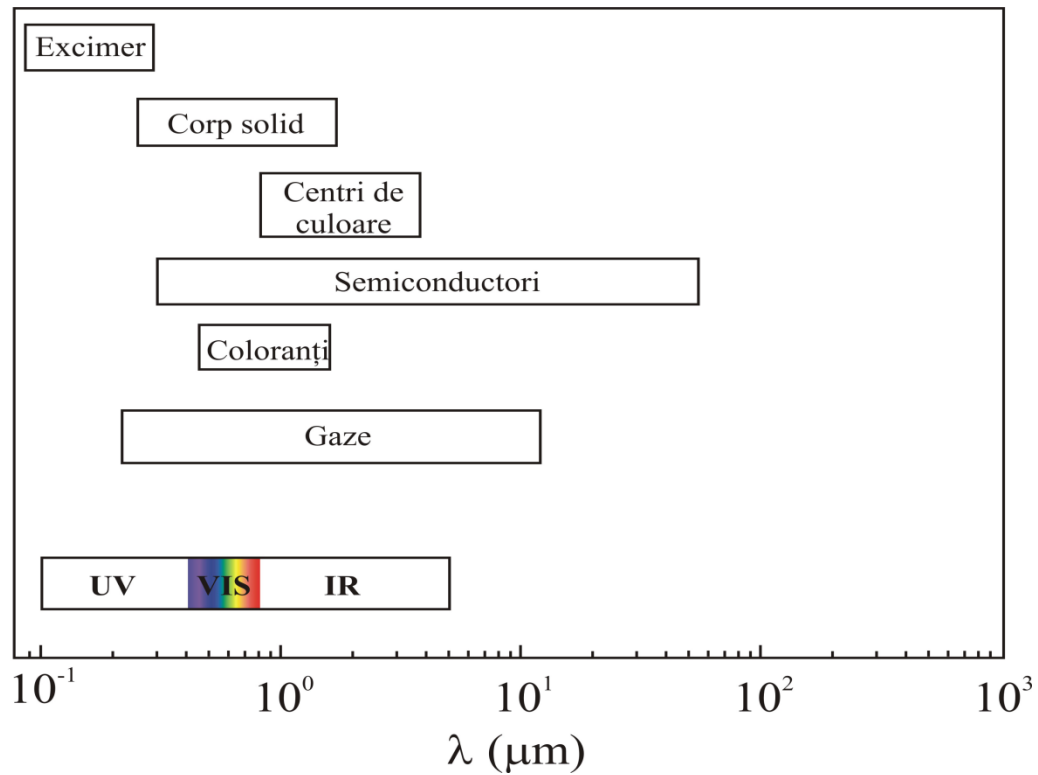


(a)

Laserul cu 3 nivele



(b)



Domeniile spectrale acoperite de diferitele tipuri de lasere

Laseri cu excimeri

Mediul activ al acestui tip de laser constă dintr-un gaz inert (X) sau dintr-un amestec de gaz inert cu unul de halogen (X+Y). Denumirea de excimer provine de la **dimer excitat**, adică o moleculă biatomică formată din doi atomi de gaz inert (XX)* sau dintr-un atom de gaz inert și unul de halogen (XY)*.

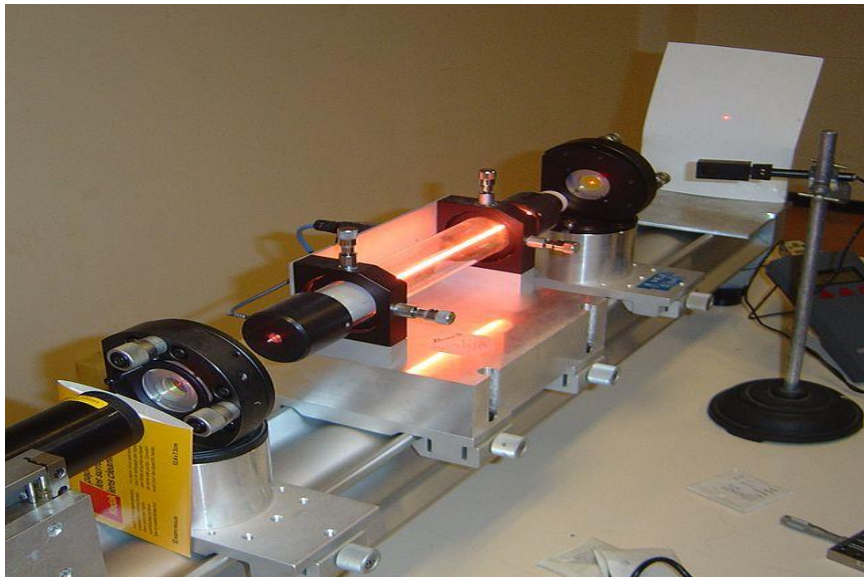
Caracteristica esențială care permite obținerea efectului laser de către acest mediu activ constă în faptul că atomii care formează dimerul sunt legați numai în starea excitată.

Excimerul	$\lambda_{em.}$ (nm)
Ar ₂	126
ArF	193
ArCl	175
Kr ₂	146
KrF	248
KrCl	222
Xe ₂	170-175
XeF	351, 353
XeCl	308
XeBr	282

**Laseri cu excimeri și lungimile de undă de emisie
caracteristice**

Laseri cu gaz

i) **Tranziția laser** are loc între nivelele electronice ale atomilor neutri sau ionizați (laseri cu gaz atomic: **laserul cu He-Ne**, laseri cu gaz ionic: **laserii cu Ar^+ și Kr^+**). Se caracterizează prin monocromaticitatea pronunțată a fasciculului laser în comparație cu laserii cu corp solid și printr-un gradul înalt de coerență.



laser cu heliu-neon

Laseri cu gaz

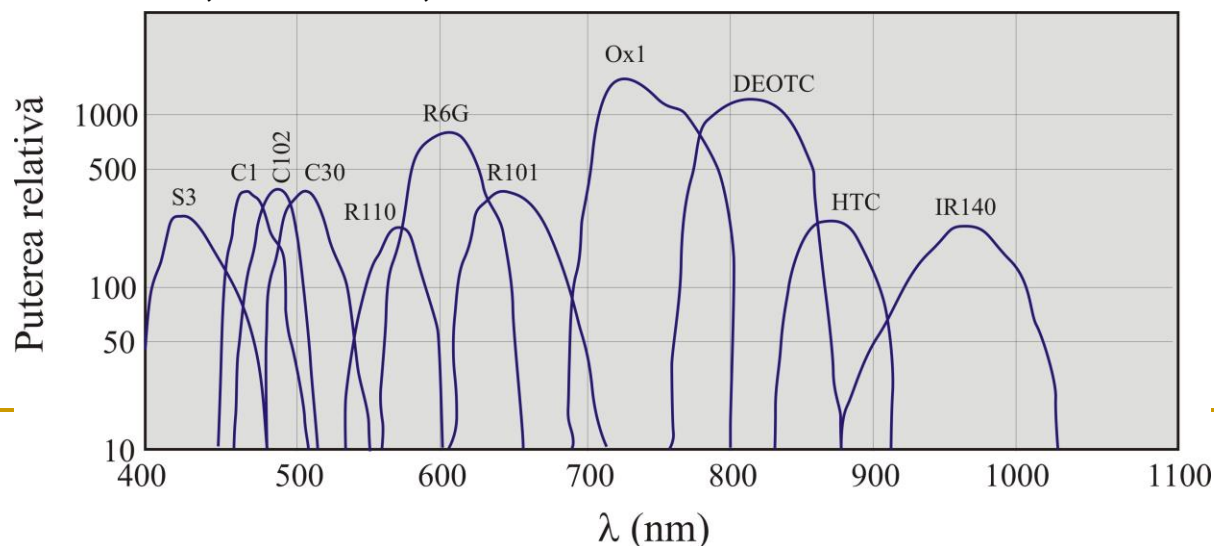
ii) A doua categorie de laseri cu gaz, folosește ca mediu activ moleculele (gazul molecular).

În acest caz, tranzițiile laser au loc între nivelele de rotație-vibrație ale moleculelor, și astfel lungimile de undă de emisie se vor găsi în domeniul **IR** al spectrului .

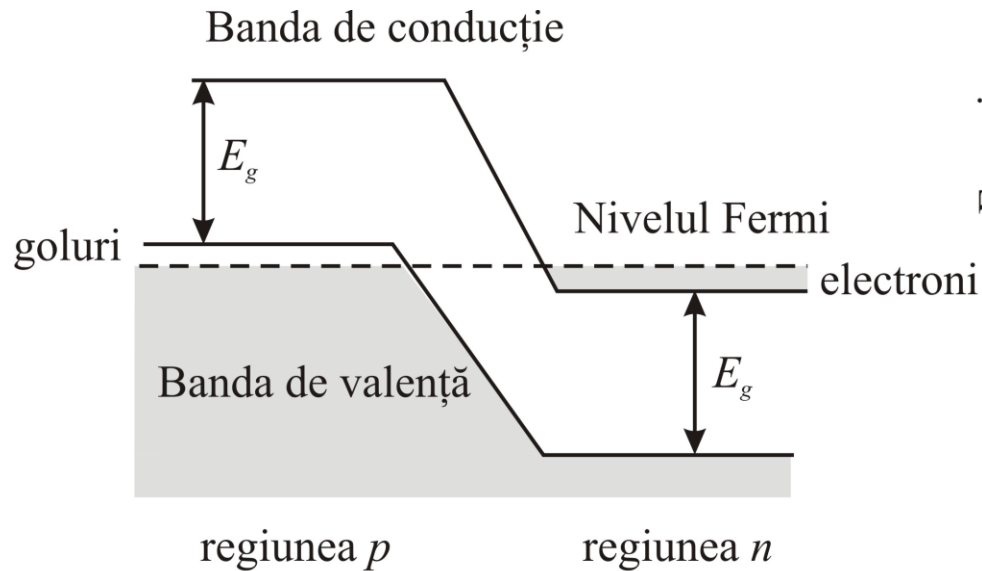
Laserul cu CO₂: lungimea de undă laser caracteristică acestuia este în jurul a 10600 nm, iar puterea fasciculului laser, care operează în regim continuu, este de câțiva kilowați cu o eficiență laser de aproximativ 30%.

Laseri cu coloranți

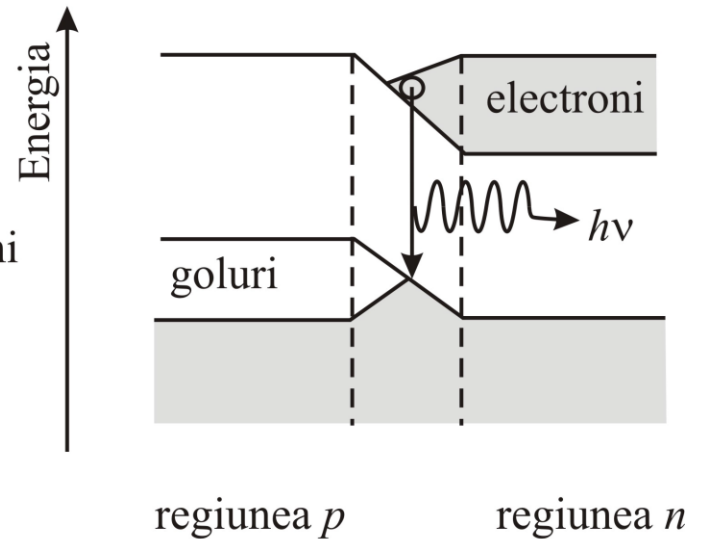
- Mediul activ al acestor tipuri de laseri este format din molecule de colorant dizolvate într-un lichid (de exemplu, alcool etilic sau metilic), care prezintă o fluorescență intensă în urma excitării cu lumină din domeniul vizibil sau UV.
- Laserii cu coloranți reprezintă cea mai larg utilizată categorie de laseri acordabili. În regim de pulsuri, puterile tipice ale acestor laseri sunt în domeniul 10^{-3} - 10^6 W, iar în regim continuu puterea laserului este de ordinul unităților de wați cu o semilărgime de aproximativ 1 MHz.



Laseri cu semiconductori

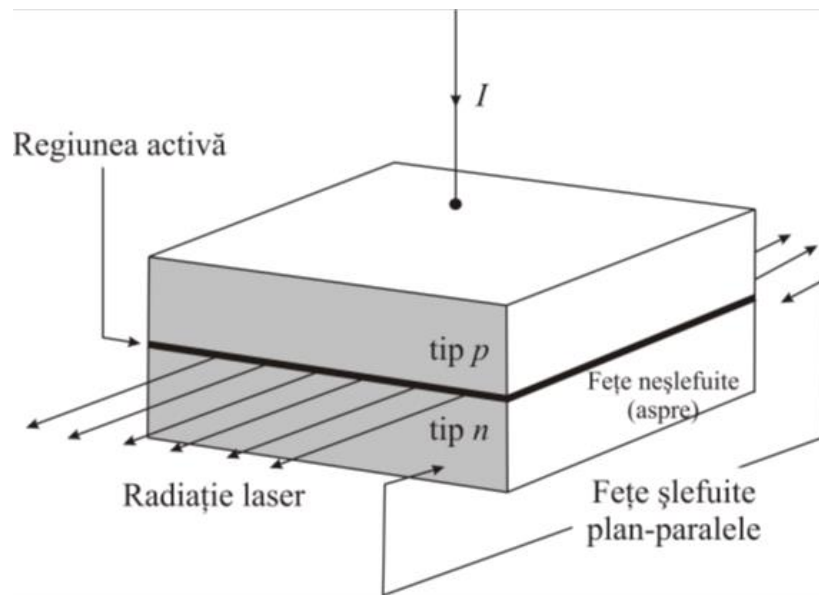


(a)

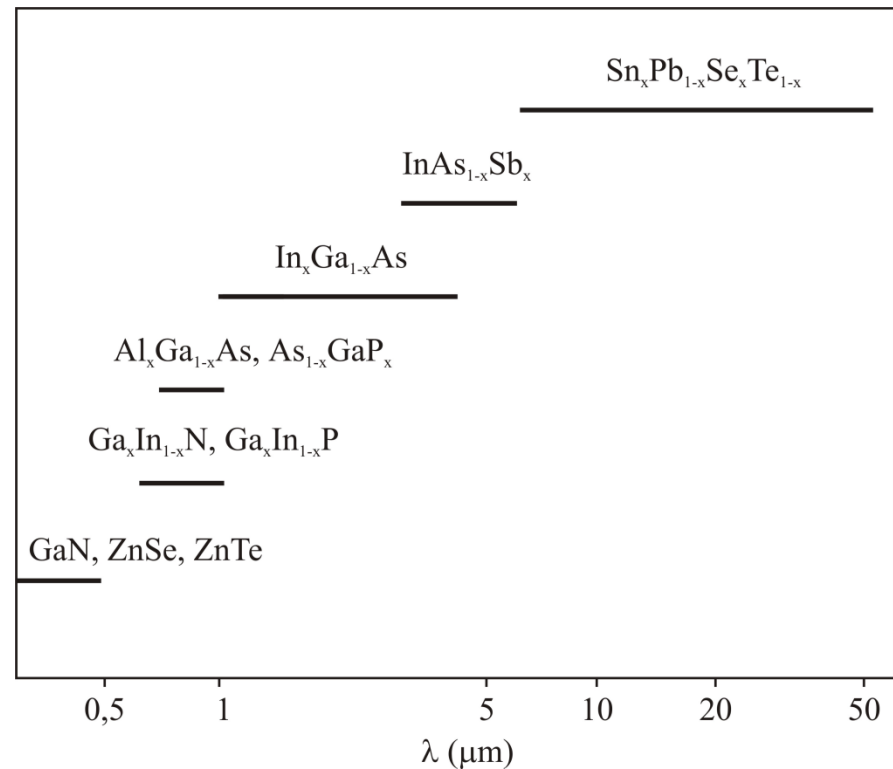


(b)

Principiul de funcționare a unei diode laser



Reprezentare joncțiunea p -n folosită pentru producerea efectului laser.



Domeniile spectrale ale emisie laser pentru câteva materiale semiconductoare.

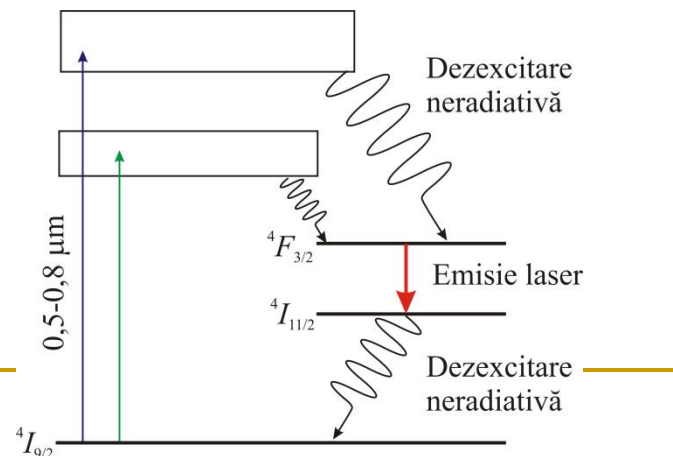
Laseri cu corp solid

Mediul activ constă dintr-un material izolator (dielectric) în care se găsesc centri optic activi. Trei tipuri de centri activi sunt folosiți, de obicei, ca centri activi laser, și anume: ionii de pământ rar, ionii metalelor de tranziție și centri de culoare.

Laserul cu rubin ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$) - primul laser construit în anul 1960 de către T.H. Maiman . Nivelele energetice implicate în emisia laser sunt asociate ionului de Cr^{3+} care substituie ionul de Al^{3+} în rețeaua cristalină a Al_2O_3 . Prin folosirea unei bare de rubin plasată în interiorul unei lămpi cu pulsuri în formă de spirală care conține xenon la presiune mare, este posibil pompajul optic al ionilor Cr^{3+} de pe nivelul fundamental pe nivelele excitate.

Laserul Nd:YAG

(cristal de Yttrium Aluminium Garnet dopat cu ioni de Nd^{3+})



Extreme **Light** Infrastructure - Nuclear Physics



ELI-NP - Phase I



Project co-financed by the European Regional Development Fund



Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics (ELI-NP) - Phase I

Project co-financed by the European Regional Development Fund



www.eli-np.ro



European Centre for high-level research on **laser** and gamma matter interactions, interdisciplinary research infrastructure for fundamental and applied sciences.