

DIODES LASER

1 - Semi-conducteur et effet Laser

Le semi-conducteur de base utilisé dans ce type de composant, l'arséniure de gallium-aluminium (GaAlAs), possède une largeur de bande $E_g = 1,6$ eV. La relation

$$\lambda = \frac{h C}{E_g} \quad \text{s'écrit} \quad \lambda \text{ (nm)} = 1242 / E_g(\text{eV})$$

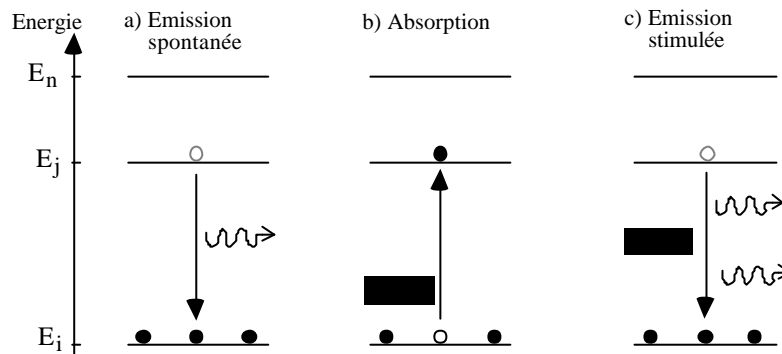
si on exprime E_g en électron-volt et λ en nanomètre. D'où une longueur d'onde de l'ordre de 780 nm, à la limite du visible.

1-1) Emission stimulée

Une raie spectrale déterminée correspond à la transition radiative d'un électron entre 2 niveaux d'un système donné (atome, molécule, cristal semi-conducteurs etc). Cette transition peut s'effectuer selon 3 processus:

a) Emission spontanée : l'électron descend spontanément d'un niveau E_j vers un niveau inférieur E_i et le système émet un photon d'énergie $h\nu_{ij}=E_j-E_i$.

b) Absorption : si des photons d'énergie $h\nu_{ij}$ sont déjà présents dans le milieu, alors le système peut en absorber un en faisant passer un électron du niveau fondamental E_i vers le niveau supérieur E_j .



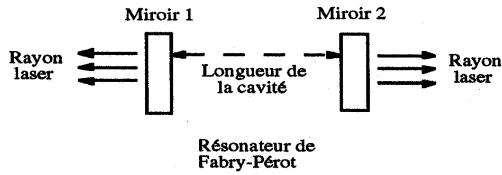
c) Emission stimulée (ou induite) : c'est le phénomène inverse du précédent. L'un de ces photons $h\nu_{ij}$ peut induire un électron se trouvant dans le niveau supérieur E_j à redescendre vers l'état E_i en émettant un second photon dont non seulement l'énergie $h\nu_{ij}$ mais aussi toutes les autres caractéristiques (direction, polarisation, phase) sont identiques à celles du photon "inducteur".

L'émission stimulée, qui crée une population de photons aux caractéristiques identiques (énergie et direction notamment), est le principe de base du laser. Cependant l'émission stimulée et l'absorption sont 2 phénomènes concurrents. Pour favoriser l'émission stimulée, il faut que la population du niveau excité E_j soit plus élevée que celle du niveau fondamental E_i . Cette situation d'inversion de population nécessite un mécanisme de pompage pour maintenir constante la population du niveau supérieur E_j , qui tend naturellement à se vider (émission spontanée).

D'autre part il faut confiner les photons ("inducteurs") dans la zone active afin d'amplifier le phénomène d'émission stimulée. On place à cet effet le système dans une cavité résonnante accordée à la fréquence ν_{ij} . L'émission laser apparaît alors quand le gain du milieu amplificateur excède les pertes de la cavité (notamment la perte associée à l'émission du faisceau laser).

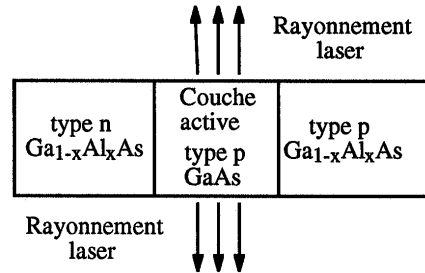
Dans le cas des diodes laser, le niveau E_i se situe dans la bande de valence et le niveau supérieur E_j dans la bande de conduction. Le mécanisme de pompage se fait par injection de porteurs (voir plus loin).

1-2) Cavité résonnante



Un système d'ondes stationnaires s'établit dans la cavité délimitée par les variations d'indice dans le milieu semi-conducteur. L'indice de GaAs est supérieur de quelques pour cent à celui de $Ga_{1-x}Al_xAs$ ce qui permet de confiner la lumière dans la couche active.

Structure d'une diode laser au Ga Al As



La longueur type L d'une telle cavité est de l'ordre de $300 \mu m$ et l'indice de la couche active n de l'ordre de 3,5.

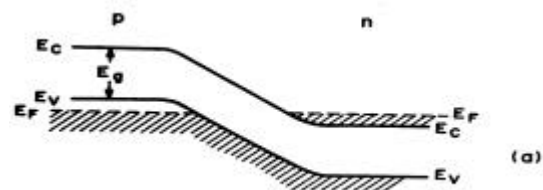
Il y a un nombre entier q de demi-longueurs d'onde dans L

$$q \frac{\lambda}{2n} = L \quad q \text{ est de l'ordre de } 2000.$$

1-3) Structure des bandes et "pompage électrique"

Pour obtenir une émission laser, il est nécessaire d'avoir une inversion de population.

A l'équilibre thermique les bandes de conduction et de valence seront toutes deux au dessus du niveau de Fermi du côté p de la jonction et au dessous du côté n, comme indiqué sur la partie a de la figure ci-contre



Quand on applique une tension de polarisation directe sur la diode, l'injection d'électrons dans la partie n et de trous dans la partie p, déplace le niveau de Fermi de part et d'autre de la jonction comme indiqué sur la partie b de la figure.



Enfin si on augmente la tension, l'injection de porteurs est suffisante pour obtenir la situation représentée en c : dans la zone de largeur d , on trouve une importante concentration d'électrons dans la bande de conduction et de trous dans la bande de valence, ce qui est la condition pour une inversion de population. Pour que ceci se réalise, il faut que: $E_{FC} - E_{FV} > E_g$

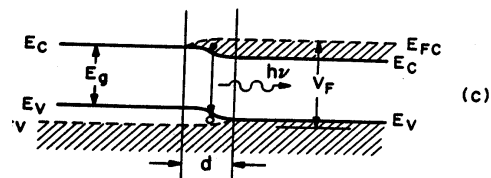
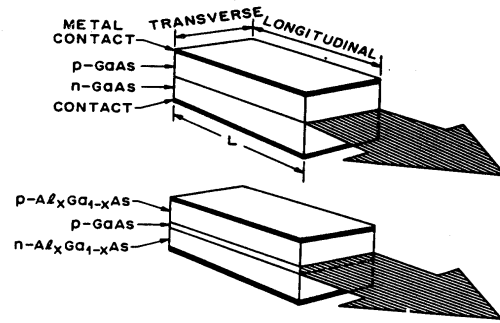


Diagramme de bandes pour une jonction p-n selon l'état de polarisation.

Deux exemples de diode laser

En haut : laser homojonction



En bas : laser hétérojonction

2 - Partie pratique

2-1) Données techniques

Dans un classeur mis à la disposition des étudiants avec le matériel de la manipulation, on trouvera les caractéristiques du composant utilisé.

Une diode laser se présente sous forme d'un boîtier contenant en fait deux diodes: la diode laser proprement dite et une photodiode qui reçoit l'émission de la face arrière de la jonction de la diode laser. La polarisation en inverse de cette photodiode permettra de créer un courant I_{mon} , dit courant moniteur, dont la valeur est proportionnelle à la puissance optique émise par la diode laser. Une valeur typique de la sensibilité de cette photodiode est par exemple 0,3 mA/mW. L'émission de la diode laser est stimulée par un courant direct I_f , dont la valeur sera commandée et mesurée par un circuit extérieur à l'alimentation et comprenant une résistance variable en série avec un milliampèremètre. Le courant moniteur sera lui aussi mesuré et sa valeur soigneusement contrôlée. Elle ne doit en aucun cas dépasser la limite indiquée par le constructeur, sous peine de destruction du composant. Cette valeur limite est de l'ordre du mA.

2-2) Influence de la température

Pour un courant I_f donné, l'émission laser, donc le courant I_{mon} dépend fortement de la température t . Le composant étudié étant monté entre 2 éléments Peltier associés à un capteur de température, pour 5 à 6 valeurs de t comprises entre 0°C et 60°C, on tracera la courbe I_{mon} en fonction de I_f .

On vérifiera que pour chaque valeur de t , l'émission laser se produit à partir d'une valeur I_{th} de I_f appelée seuil et qu'ensuite, au delà de ce seuil, la puissance optique émise est proportionnelle au courant de stimulation I_f (injection des porteurs).

Montrez que $I_{th}(mA)$ est proportionnel à $\exp(a.t)$, t en °C. Calculez le coefficient a pour la diode laser étudiée.

Montrez également que dans la zone où se produit l'émission laser, on peut définir un coefficient d'efficacité différentielle

$$\eta = \frac{dP_o}{dI_f}$$

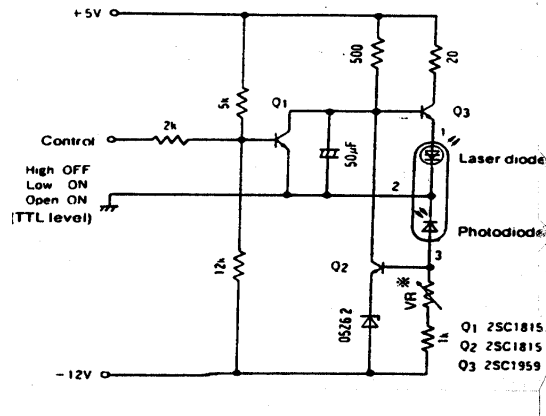
où P_o est la puissance optique émise en mW et I_f le courant d'excitation en mA. Calculez ce coefficient pour le composant étudié.

Calculer au voisinage de la température ambiante un coefficient $\alpha(t, P_o) = \frac{dP_o}{dt}$

exprimant la variation de la puissance émise en mW par °C pour un courant I_f constant. Contrairement à η , ce coefficient dépend de l'endroit (t et P_o) où l'on se situe. On calculera sa valeur en grandeur et signe autour de 2 mW. Montrez que l'on risque de détruire la diode laser en faisant simplement baisser la température des éléments Peltier.

Cette sensibilité à la température oblige dans la plupart des cas à piloter la diode par un circuit qui utilise le courant I_{mon} pour contrôler le courant I_f .

Le principe d'un tel circuit est représenté ci-contre. Examinez son fonctionnement ou faites-vous expliquer son principe par un enseignant.



2-3) Hétérogénéité du faisceau

La cohérence de la lumière émise par une diode laser est fonction de l'inclinaison du rayon par rapport à l'axe principal d'émission. Pour approcher ce problème, on se contentera d'étudier le taux de polarisation du faisceau en fonction de l'ouverture numérique:

$$N A = \sin \theta$$

où θ est l'angle entre l'axe principal et un rayon s'appuyant sur le bord de la lentille ou du diaphragme.

Le taux de polarisation est le rapport $\frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}}$ des flux maximum et minimum obtenus au moyen d'un analyseur. Le faisceau émis par la diode traverse la lentille puis un analyseur et se concentre sur une cellule qui génère une tension proportionnelle au flux.

On étudiera ce taux de polarisation en fonction de la puissance totale émise pour 4 ouvertures numériques. Vérifier que l'émission laser se double d'une émission classique dont l'importance relative est d'autant plus grande que :

- 1) la puissance totale émise est petite
- 2) l'inclinaison par rapport à l'axe est grande.

Déduire de ces mesures l'orientation du plan de la jonction.

