

## Diode laser – LD

Historiquement l'aventure du laser commence en 1917 quand Einstein découvre l'existence du processus d'émission stimulée, c'est-à-dire l'émission d'un photon commandée par un autre photon. En juillet 1960 Maiman réalise le premier LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) en utilisant les niveaux de l'ion  $\text{Cr}^{3+}$  dans  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , c'est le laser à rubis. Dès lors de nombreuses recherches se développent et différents types de laser, solides, à gaz, à colorants, sont réalisés.

En 1958 Aigrain émet l'hypothèse de l'utilisation des semiconducteurs pour obtenir l'effet laser, le premier laser est réalisé à GaAs, en 1962.

### Principe de fonctionnement

#### Emission spontanée et émission stimulée

Un électron peut être excité d'un niveau d'énergie  $E_1$  à un niveau d'énergie  $E_2$  plus élevé par l'absorption d'un photon  $h\nu = E_2 - E_1$  (Fig. 3.39 a). Quand cet électron retourne à l'état d'équilibre ( $E_1$ ), il va émettre un photon. Il y a deux processus essentiels pour cette émission :

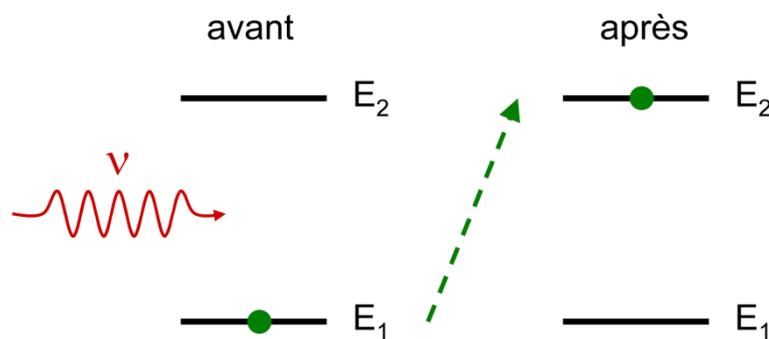


Figure 3.39 a

### Emission spontanée

Dans une émission spontanée, l'électron descend en énergie du niveau  $E_2$  vers  $E_1$  et émet un photon d'énergie  $h\nu$ . La transition n'est spontanée que si l'état d'énergie  $E_1$  n'est pas déjà occupé par un autre électron (fig 3.39 a).

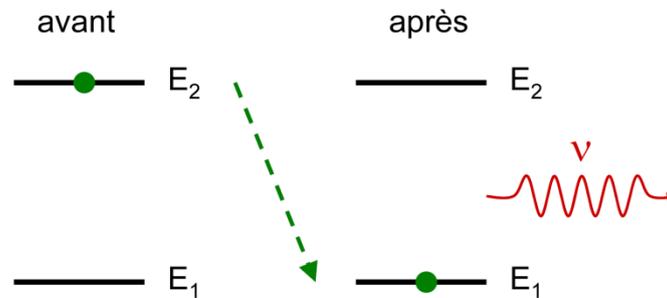


Figure 3.39 b

### Emission stimulée

Un photon incident d'énergie  $h\nu = E_2 - E_1$  stimule un processus d'émission il induit le passage de l'électron du niveau  $E_2$  vers le niveau  $E_1$ . Le photon émis est en phase avec le photon incident, il va dans le même sens et il a la même fréquence, il doit aussi avoir l'énergie  $E_2 - E_1$  (fig. 3.39 c)

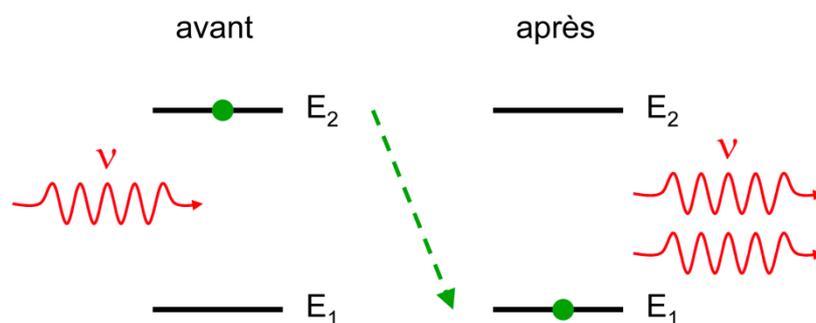


Figure 3.39 c

Pour obtenir une émission stimulée (La figure 3.39c) il faut que:

- Le photon incident ne doit pas absorber par un électron du niveau  $E_1$ .
- Pour une amplification de la lumière, la majorité des atomes doit être au niveau 2 ;

si ce n'est pas le cas le photon incident va absorber par un atome du niveau  $E_1$ .

- Quand la population du niveau  $E_2$  est plus grand que celui du niveau  $E_1$ , on dit qu'on a une population inverse.

### Principe de laser

L'émission stimulée est la base du laser, puisque à partir d'un photon incident on a va obtenir deux photons à la sortie. Ces derniers sont symétrique : la même fréquence, direction et phase, ce qui donne l'effet laser

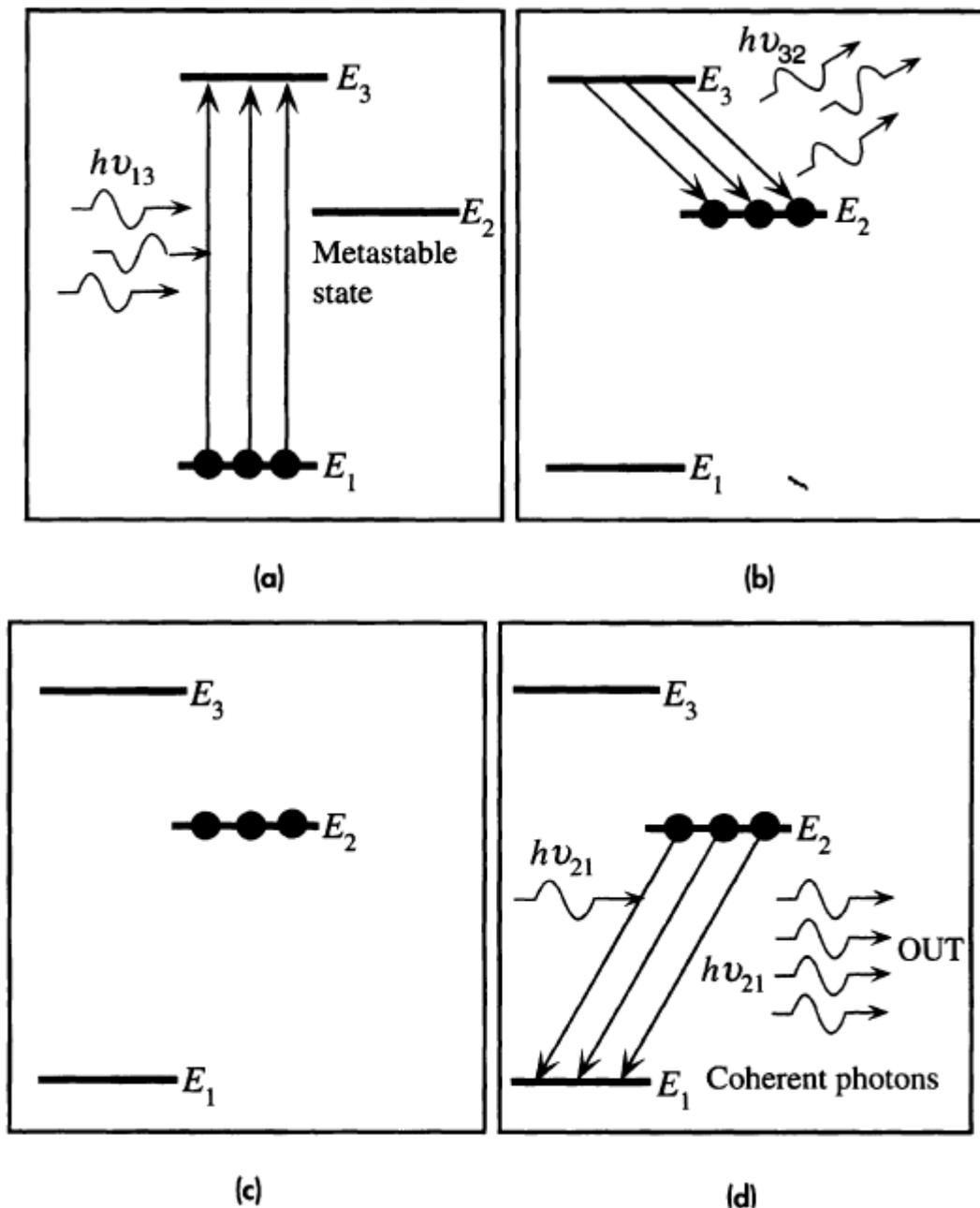


Figure 3.40 Le principe du laser :

a. Les électrons dans l'état fondamentale sont excités au niveau E3 avec un photon incident d'énergie  $h\nu_{13}=E_3-E_1$  ; c'est la **procédure de pompage**. Dans ce cas c'est un **pompage optique** puisque l'excitation est faite par un photon

b. les atomes du excités au niveau E3 se déclinent vers le niveau E2 métastable en émettant un photon ou une vibration du réseau :  $h\nu_{32}=E_3-E_2$ .

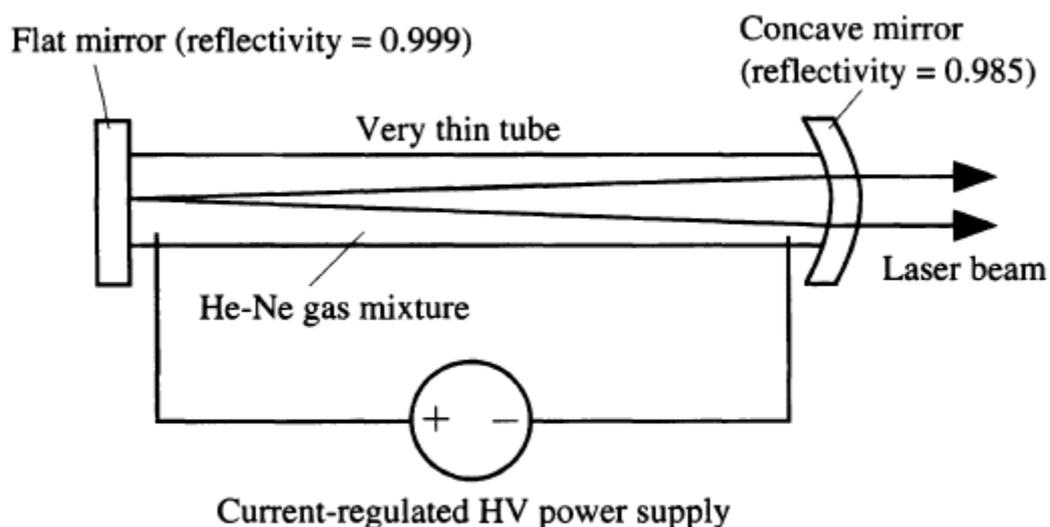
C. Puisque les atomes au niveau E2 sont métastable, on aura une inversement de population entre E2 et E.

d. Un photon incident d'énergie  $h\nu_{21}=E_2-E_1$  peut provoquer l'émission stimulée. Les photons émis par stimulation peuvent eux même provoquer l'émission stimulée de d'autres photons. Ça se conduit à une avalanche de photons cohérents émis.

### Laser de HeNe

La figure ci-dessous montre un schéma d'un laser de HeNe, qui donne un laser rouge de longueur d'onde 632,8nm. Il se compose d'un tube de verre contient un mélange de gaz He et Ne. Les atomes de Ne donnent les rayons laser, et les atomes de He jouent le rôle de pompage par collision avec les atomes Ne.

Les atomes de l'He sont excités par haute tension de voltage. Les bords du tube sont recouverts par des miroirs entièrement réfléchissante (99,9%) et partiellement réfléchissante (98,5%) pour obtenir une cavité réfléchissante. La procédure de pompage est réalisé par la collision entre les atomes de l'He et Ne.



**Figure 3.41** Schematic illustration of the HeNe laser.

### Le spectre d'un laser

Les rayons sortis du laser ne sont pas vraiment une seule longueur d'onde bien définie, mais ils couvrent un intervalle des longueurs d'ondes avec un pic central ; c'est l'effet de Doppler :

L'effet Doppler, est le décalage de fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique ou d'une autre nature) observé entre les mesures à l'émission et à la réception. Quand les atomes sont en mouvement vers un observateur, ce dernier voit que le gaz des atomes se déplace avec une fréquence maximale  $\nu_2$  donné avec la formule suivant :

$$\nu_2 = \nu_0 \left( 1 + \frac{v_x}{c} \right)$$

Avec :  $v_x$  est la vitesse relative des atomes par rapport à un observateur.

$C$  : est la vitesse de la lumière.

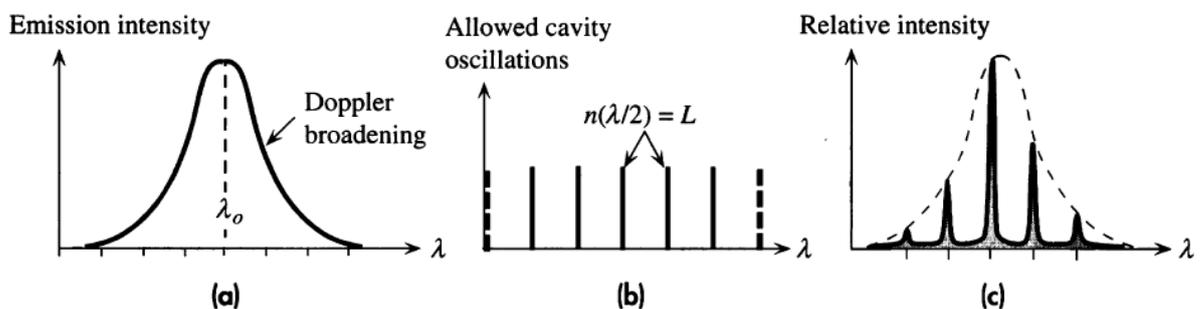
$\nu_0$  est la fréquence du pic centrale

Quand le gaz des atomes éloigné de l'observateur avec une fréquence minimale  $\nu_1$  :

$$\nu_1 = \nu_0 \left( 1 - \frac{v_x}{c} \right)$$

Comme les atomes sont en mouvement aléatoire, les fréquences ou les longueurs d'ondes des rayons émis d'un laser ont une largeur :  $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$

Il y a d'autres phénomènes qui élargissent le spectre d'un laser mais on les discute pas à ce cours.



**Figure 3.43**

(a) Doppler-broadened emission versus wavelength characteristics of the lasing medium.

(b) Allowed oscillations and their wavelengths within the optical cavity.

(c) The output spectrum is determined by satisfying (a) and (b) simultaneously.

Les miroirs de l'extrémité du laser provoquent, à l'intérieur de la cavité, la réflexion des ondes, ces derniers se déplacent dans des directions opposées. Comme les ondes d'un laser

sont en phase, elles interfèrent d'une manière constructive et on va obtenir des ondes stationnaires. En d'autres termes, une partie de l'énergie de cette onde est exploitée par le miroir réfléchissant à 99% pour obtenir 1% une sortie.

Seules les ondes stationnaires ayant certaines longueurs d'onde peuvent être maintenues dans la cavité optique. Toute onde stationnaire dans la cavité doit avoir une demi-longueur d'onde  $\lambda / 2$  convenable à la longueur de la cavité  $L$ , ou :

$$n \left( \frac{\lambda}{2} \right) = L$$

$n$  est un nombre entier, nommé le nombre du mode de l'onde stationnaire.

Chaque onde stationnaire dans la cavité (tube du laser) satisfait l'équation précédente est nommé **mode de cavité**. La figure 3.43 montre le spectre d'un laser, le spectre est large avec des pics à certains longueur d'ondes correspondant aux modes de la cavité existées avec l'effet Doppler.

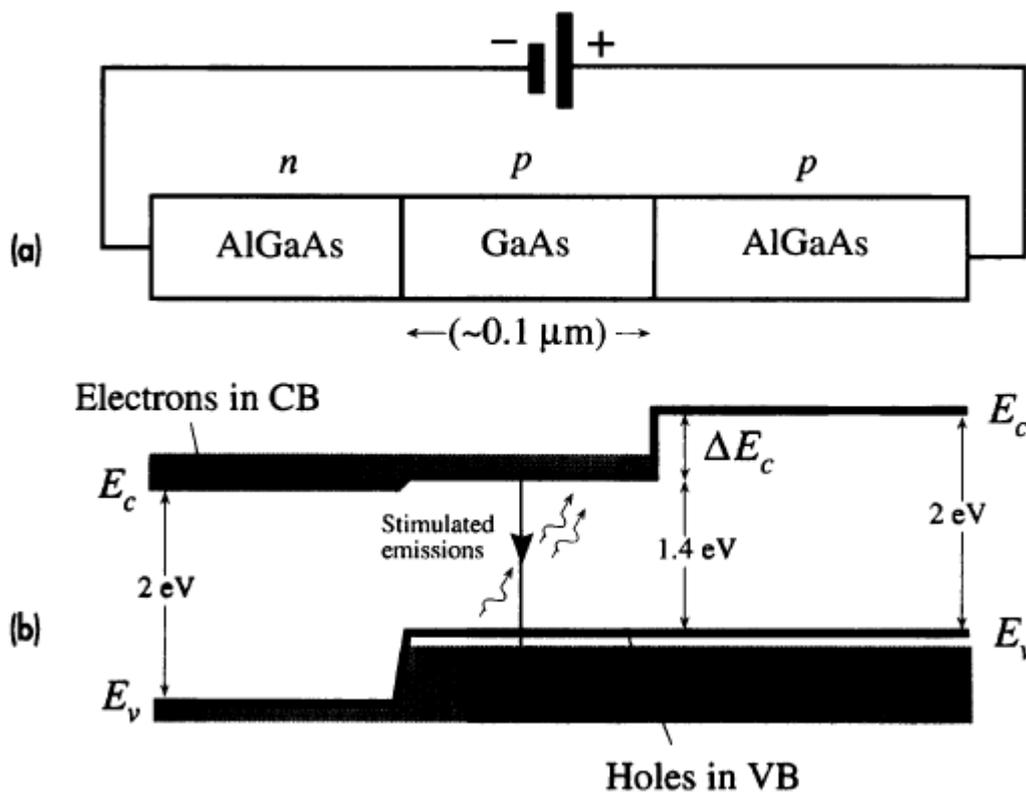
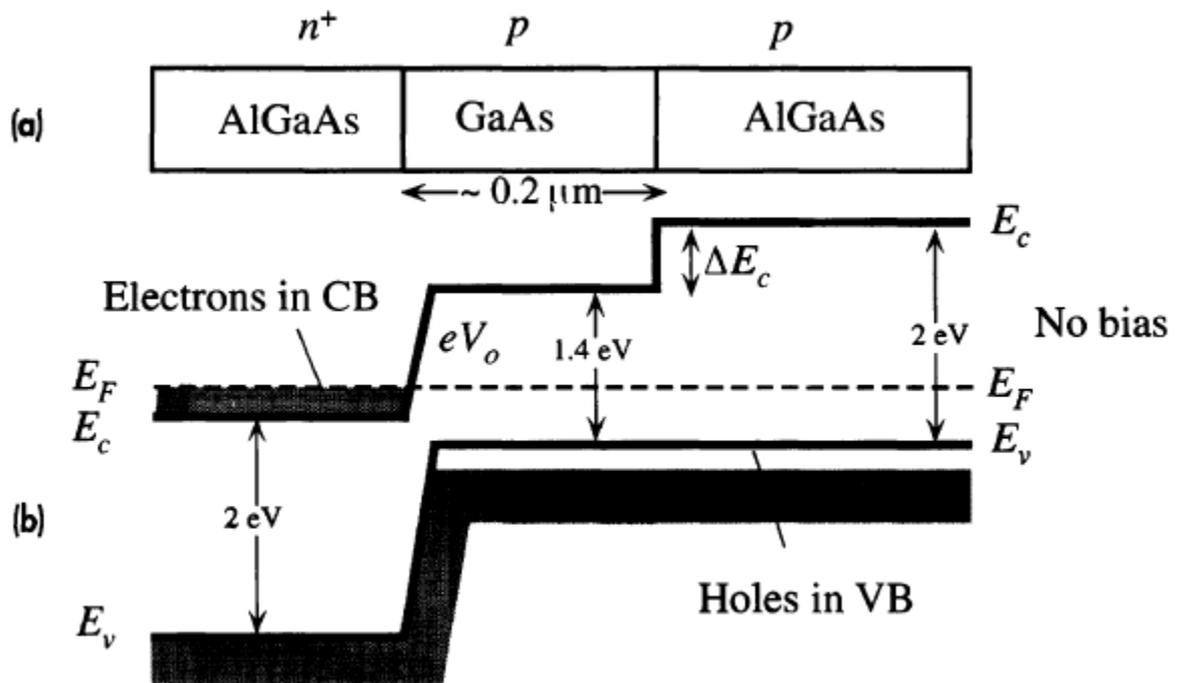
### **Laser à semicondcteur**

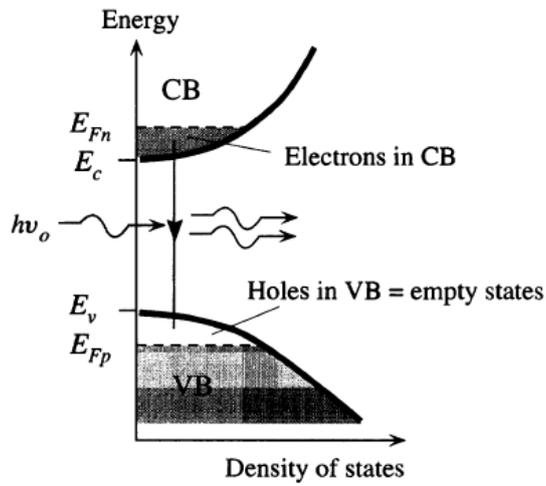
La diode laser, comme le LED, utilise une jonction p-n polarisée en direct pour injecter des électrons et des trous pour générer de la lumière.

Dans le cas des semiconducteurs, le problème est sensiblement différent. Alors que dans les lasers classiques les états électroniques sont localisés et des niveaux énergétiques discrets, dans les semiconducteurs les niveaux d'énergie sont groupés dans des bandes permises où leur répartition est quasi-continue. La condition d'inversion de population entre deux niveaux discrets, ( $N_2 > N_1$ ) doit s'exprimer ici entre la bande de valence et la bande de conduction.

L'effet laser se produit ici entre les états du bas de la bande de conduction, où se thermalisent les électrons injectés dans cette bande, et les états du sommet de la bande de valence où se thermalisent les trous créés dans cette bande.

Tous les diodes laser sont pratiquement des heterostructure double, La figure ci-dessous montre le cas d'un laser de GaAs ; où on a deux jonctions entre GaAs et AlGaAs. Le gap du AlGaAs est de l'ordre de 2 eV et le gap du GaAs est 1.4 eV. La gérion GaAs (p) est mince, elle est entre 0.1-0.2  $\mu\text{m}$ , c'est la couche active où l'émission stimulée aura lieu. Les zones AlGaAs(n) et AlGaAs(p) sont fortement dopées d'une manière d'avoir des semiconducteurs dégénérés c-à-d les niveaux de Fermi sont situé dans les bandes permises.





**Figure 6.63**

(a) A double heterostructure diode has two junctions which are between two different bandgap semiconductors (GaAs and AlGaAs).  
 (b) Simplified energy band diagram under a large forward bias. Lasing recombination takes place in the  $p$ -GaAs layer, the *active layer*.  
 (c) The density of states and energy distribution of electrons and holes in the conduction and valence bands in the active layer.