
CARACTERISATION ET MESURES DE LONGUEURS D'ONDE

III. 1. Descriptions

Dans ce travail, nous avons procédé aux caractérisations de quatre types de diodes : deux diodes Sony et deux diodes Mitsubishi qui nous sont parvenues sans aucune spécification particulière. Pour l'utilisation des diodes lasers en spectroscopie atomique, il est important de déterminer avec exactitude ses différentes caractéristiques : la longueur d'onde, le courant seuil, le courant limite.

C'est ainsi que nous avons mesuré les relations puissance-courant d'injection, courant d'injection-température et enfin, nous avons déterminé les courants de seuil à différentes températures ainsi que la variation de la longueur d'onde en fonction de la température. Nous rappelons tout simplement que la détermination de ces caractéristiques est d'une grande importance puisqu'elle nous permet d'utiliser ces diodes dans les expériences de spectroscopie atomique.

Les diodes lasers dont nous disposons sont des structures à double hétérojonction composées des matériaux GaAs et AlGaAs.

Les structures à double hétérojonction sont des matériaux convenablement dopés pour l'injection de porteurs. Elles permettent aussi d'assurer des confinements optique et électronique très efficaces.

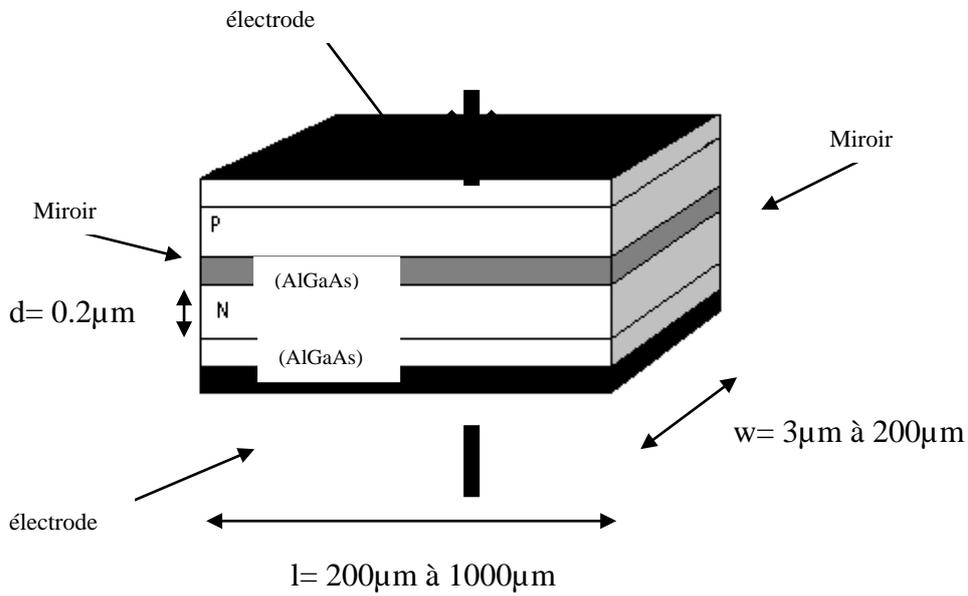


Figure III. 1. Structure en couche d'une Diode laser du type GaAs /AlGaAs.

Ces diodes lasers ont les mêmes types de configuration (voir figure III. 2) où la diode laser joue le rôle de cathode et la photodiode le rôle d'anode .

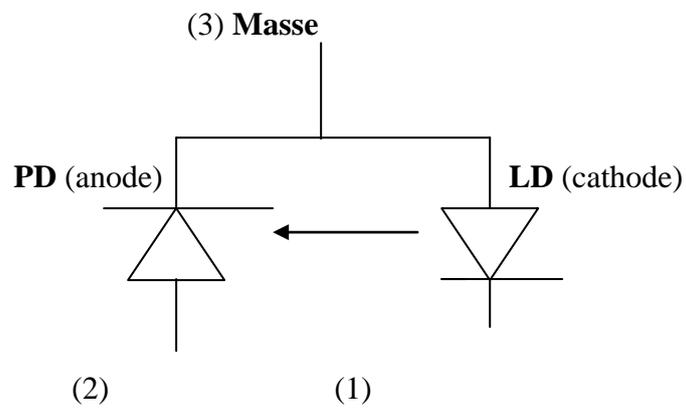


Figure III. 2. Configuration du type B des diodes laser Sony et Mitsubishi

Ces diodes lasers sont dotées de trois pattes ayant des dimensions différentes. Une patte représente une photodiode, une autre la masse et la troisième le laser à proprement dit.

La photodiode permet d'amplifier le photo-courant car le signal reçu peut-être faible. Elle est caractérisée par :

- son rendement quantique, qui est le rapport entre le nombre d'électrons-trous créés sur le nombre de photons incidents. Son expression est donnée par :

$$\eta = \frac{I_{Ph}}{q\Phi_0} \quad (\text{III.1})$$

Avec I_{Ph} le photo-courant et Φ_0 le flux de photons.

- sa rapidité caractérisée par le temps de réponse de la photo diode ; elle dépend de la vitesse de déplacement des porteurs, de l'épaisseur de la zone déplétée et de la longueur d'onde d'illumination,
- enfin la sensibilité S défini par :

$$S = \frac{\eta q}{h\nu} \quad (\text{III.2})$$

Dans ce chapitre, nous allons aborder dans un premier temps les caractéristiques essentielles des diodes lasers qui sont leurs propriétés optiques et électroniques. Ensuite nous exposerons les résultats expérimentaux que nous avons obtenus en caractérisant ces diodes lasers.

III. 2. Caractéristiques optoélectroniques des diodes lasers

III. 2. 1. Caractéristique Puissance-Courant

La caractéristique Puissance-courant, représente les propriétés de conversion de l'énergie électrique (courant injecté) en énergie optique (puissance émise) de la diode laser. L'obtention de la courbe de la puissance en fonction du courant permet de connaître plusieurs paramètres qui déterminent les performances de la diode laser . Ces paramètres sont : le courant seuil I_{th} , la pente de conversion S (W /A) et la puissance limite.

III. 2. 2. Courant de seuil

L'augmentation progressive du courant injecté à travers la jonction, conduit la diode laser à fonctionner d'abord en émission spontanée puis en émission stimulée. Le passage entre ces deux processus constitue le seuil de déclenchement du laser, on parle de courant de seuil désigné par le symbole I_{th} . La valeur exacte de ce seuil est le premier paramètre intéressant pour caractériser la diode laser.

La condition de seuil exprime une compensation des pertes par le gain d'émission stimulée, en effet, le courant injecté compense exactement la recombinaison radiative spontanée (la recombinaison non radiative étant supposée négligeable). Cette condition de seuil s'exprime par la relation II.5 vue au chapitre II :

$$R^2 \exp[(\Gamma g_{th} - \alpha)2L] = 1$$

Avec R le coefficient de réflexion des deux faces clivées, α le coefficient d'absorption, g_{th} le coefficient de gain au seuil et L la longueur de la cavité.

Le courant de seuil est fonction du matériau constituant le semi-conducteur et de la configuration générale de son guide d'onde. Il dépend également de la taille de la région active. Ainsi, pour atteindre le seuil d'émission laser, une large zone active peut exiger une importante puissance électrique, ainsi est-il nécessaire de réduire la taille de la zone active pour avoir un courant de seuil faible.

III. 2. 3. Densité de courant de seuil

La densité de courant de seuil est le rapport entre le courant de seuil déterminé expérimentalement par la zone active. Elle est notée par J_{th} et s'exprime en Acm^{-2} . C'est l'un des paramètres qui permet de mesurer directement la qualité de la diode laser.

La densité de courant par micron d'épaisseur de la zone active J_e dans un dispositif idéal peut-être reliée à la densité de courant J et à l'efficacité quantique interne η_i . Son expression est donnée par la formule suivante :

$$J = \frac{J_e d}{\eta_i} \quad (III.3)$$

avec d l'épaisseur de la zone active.

Le coefficient en gain peut par ailleurs être exprimé par la relation [11,12] :

$$g = \frac{g_0}{J_0} (J_e - J_0) \quad (III.4)$$

J_0 et g_0 sont des constantes déterminées à partir des informations

tirées sur chaque diode, J_e la densité de courant par micron d'épaisseur de la zone active.

En tenant compte de (III.3), l'expression (III.4) peut s'écrire de nouveau :

$$J = \frac{J_0 d}{\eta_i} + \frac{g J_0 d}{g_0 \eta_i} \quad (III.5)$$

Ce qui nous permet de déterminer la densité de courant de seuil J_{th} en remplaçant le coefficient de gain g par le gain seuil g_{th} donné par l'expression II.6 vue au chapitre II.

$$g_{th} = \frac{1}{\Gamma} \left(\alpha + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right);$$

Γ est le facteur de confinement, α le coefficient d'absorption L la longueur de la cavité et R le coefficient de réflexion.

$$J_{th} = \frac{J_0 d}{\eta_i} + \frac{J_0 d}{g_0 \eta_i \Gamma} \left(\alpha + \frac{1}{L} L n \frac{1}{R} \right) \quad (\text{III.6})$$

Cette expression est légèrement différente de celle courante de J_{th} dans laquelle le premier terme est ignoré :

$$J_{th} = \frac{J_0 d}{g_0 \eta_i \Gamma} \left(\alpha + \frac{1}{L} L n \frac{1}{R} \right) \quad (\text{III.7})$$

η_i est le rendement quantique interne, il est souvent compris entre 0.6 et 0.7 et voisin de 1 pour certains lasers [11].

Le terme $\frac{J_0 d}{g_0 \eta_i \Gamma}$ est souvent posé égale à $\frac{1}{\beta}$ où β désigne le facteur de gain.

L'expression (III.7) s'écrit alors :

$$J_{th} = \frac{1}{\beta} \left(\alpha + \frac{1}{L} L n \frac{1}{R} \right) \quad (\text{III.8})$$

α étant le coefficient d'absorption L la longueur de la cavité et R le coefficient de réflexion.

Un échauffement de la diode entraîne une augmentation de la densité de courant de seuil. Il existe alors une relation de proportionnalité entre J_{th} et la température T :

$$J_{th} \approx \exp\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (\text{III.9})$$

T_0 désigne la température caractéristique de la diode laser. Elle indique la sensibilité thermique du composant et varie entre 40 et 200 K. Pour les diodes lasers dont on a fait usage

c'est à dire les types GaAs/AlGaAs, cette température est supérieure à 120°. On remarque par ailleurs que T_0 est un paramètre important puisque plus sa valeur est importante moins la densité de courant de seuil et le rendement quantique de la diode laser augmentent en fonction de la température.

III. 2. 4. Pente de conversion S

Les performances d'une diode laser peuvent se traduire par un courant de seuil bas, une émission de lumière élevée avec une consommation en courant la plus réduite possible. Pour ce faire, on cherchera à avoir une lente augmentation du courant injecté à travers la jonction parallèlement à une rapide augmentation de la lumière émise. Le degrés de conversion de la puissance électrique en puissance lumineuse émise est mesuré

directement par la pente $\frac{\Delta P}{\Delta I}$ de la courbe Puissance en fonction du courant injecté sur la partie linéaire.

Cette pente permet de dériver plusieurs paramètres tels que le rendement quantique différentiel externe, le rendement quantique interne, la perte interne etc.

III. 2. 5. Le rendement quantique différentiel externe

L'efficacité de la diode laser est caractérisée par le rendement quantique différentiel qui est mesuré au niveau de la pente de la courbe Puissance / Courant. Elle est notée par η_e et représente le rapport du nombre de photons émis sur le nombre d'électrons injectés. Son expression est donnée par la formule suivante :

$$\eta_e = \frac{e \Delta P}{h \nu A \Delta J} \quad (\text{III.10})$$

avec $\Delta J = J - J_{th}$, c'est à dire la densité de courant additionnelle au dessus du seuil, e la charge de l'électron, et A la section efficace de la zone active.

III. 2. 6. Relation Puissance-Densité de courant de seuil

La formule (III.10) permet de déterminer la relation qui existe entre la densité de courant de seuil et la puissance émise par la diode laser.

Le rendement quantique différentiel η_e est normalement décomposé en η_{sp} et η_{st} qui constituent respectivement les efficacités quantiques de l'émission spontanée et de l'émission stimulée car la puissance contient les deux contributions [5,9]:

$$\eta_e = \eta_{sp} + \eta_{st} \quad (\text{III.11})$$

Cette puissance regroupe la contribution des deux types de radiations que sont l'émission spontanée et l'émission stimulée :

$$P = F_{sp} \eta_{sp} \frac{J A h \nu}{e} + F_{st} \eta_{st} \frac{A h \nu}{e} (J - J_{th}) \quad (\text{III.12})$$

le premier terme de l'équation désigne l'émission spontanée et le deuxième terme l'émission stimulée. F_{sp} et F_{st} désignent respectivement les facteurs de transmission de l'émission spontanée et de l'émission stimulée. Au delà du seuil, l'émission stimulée devient le processus dominant, ainsi, le premier terme de l'équation (III.12) est négligé et on obtient :

$$P = F_{st} \eta_{st} \frac{A h \nu}{e} (J - J_{th}) \quad (\text{III.13})$$

Cette expression montre une dépendance linéaire entre la puissance émise par la diode laser et la densité de courant au delà du seuil d'émission du

rayonnement laser. Pour les composés ternaires à Al GaAs, cette puissance varie entre 3 et 50mW [16].

F_{st} représente le rendement de sortie des électrons, c'est le rapport entre la puissance totale émise et la puissance totale produite :

$$F_{st} = \frac{\left(\frac{1}{L}\right) \text{Ln}\left(\frac{1}{R}\right)}{\alpha + \left(\frac{1}{L}\right) \text{Ln}\left(\frac{1}{R}\right)} \quad (\text{III.14})$$

α désigne le coefficient d'absorption, L la longueur de la cavité et R le coefficient de réflexion.

III. 3. Caractéristiques spectrales de la diode laser

III. 3. 1. Spectre optique

Le spectre des diodes lasers est lié aux caractéristiques particulières de la cavité optique. Il présente de nombreux pics ou raies. Le nombre de raies

étant fonction à la fois de la structure de la cavité mais aussi du courant de commande. La cavité formant un résonateur optique, on obtient des ondes stationnaires et la condition de résonance indique que la longueur de la cavité L est un entier m de la demi longueur d'onde c'est à dire :

$$L = m \frac{\lambda}{2} \quad (\text{III.15})$$

Il en résulte l'existence de plusieurs modes longitudinaux dont chacun résonne à sa propre longueur d'onde λ_m telle que :

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \quad (\text{III.16})$$

L'écart entre deux modes étant donné par l'intervalle spectrale libre $\Delta\lambda_{MSL}$ décrit au paragraphe II.2.1.3.

III. 3. 1. 1. Instabilité de modes

Le phénomène d'instabilité de modes apparaît surtout avec les diodes monomodes. Il a pour cause le passage brusque de la fréquence centrale sur des bandes de longueurs d'ondes discrètes accusant ainsi un accord discontinu sur une large plage.

Pour les applications exigeant une longueur d'onde donnée, il est impératif d'ajuster le courant de commande qui à cet effet change la longueur d'onde où se manifeste les discontinuités et également de procéder à un contrôle de la température du composant.

III. 3. 1. 2. Spectre d'Amplitude

Pour la plupart des applications des diodes lasers, les caractéristiques spectrales de l'amplitude de la lumière sont d'une grande importance. Comparée aux autres types de laser, la diode laser a une amplitude de bruit relativement faible. Le bruit au niveau de la diode a pour origine physique l'émission spontanée qui s'ajoute aléatoirement en phase avec l'émission stimulée. L'amplitude du bruit diminue cependant quand le courant d'injection augmente ou la température diminue [1, 2].

III. 3. 1. 3. Spectre Fréquence de Modulation

Il existe deux facteurs naturels dans le spectre d'oscillation des diodes lasers : le premier est lié à l'espacement des modes de la cavité optique qui est de l'ordre de 160Ghz (0.35nm) pour les diodes AlGaAs et le deuxième facteur est lié à la largeur d'un mode de cavité. Les facteurs liés aux fluctuations des porteurs, de la température influencent la stabilité des modes et donc l'obtention d'une

diode monomode. Il apparaît alors un spectre de bruit fréquentiel identique au spectre de bruit d'amplitude et qui s'étend jusqu'au domaine des hautes fréquences constituant ainsi un vrai problème pour deux raisons [2] :

- il est difficile de concevoir des dispositifs électroniques avec des temps de réponses assez rapides pour corriger les fluctuations de température,
- même s'il est possible de réduire la largeur de raies par des moyens optiques et électroniques, il existe toujours quelques résidus de bruits fréquentiels qui affectent les mesures.

III. 3. 2. Relation Puissance-Température

La puissance émise diminue quand la température de la diode augmente pour un courant d'injection fixé. En effet, la puissance du rayonnement est une fonction du ratio de l'inversion de population (ratio de la distribution perturbée à la distribution à l'équilibre), cette population d'électrons décrite par la statistique de Boltzmann change quand on fait varier la température de la zone active de la diode laser.

III. 3. 3. Relation entre la longueur d'onde et la température

La longueur d'onde des diodes lasers est déterminée principalement par la bande de gap du semi-conducteur et ainsi par la température de la

jonction et la densité de courant. En effet, un accroissement de la température a pour effet de diminuer le gap des semi-conducteurs considérés et par la suite d'augmenter la longueur d'onde moyenne du spectre d'émission. Ainsi la longueur d'onde augmente quand la température de la jonction augmente, on a une variation de l'ordre de 0.3 à 0.4nm par degrés centigrade [2,14]. Comme la bande de gap n'est pas sous le contrôle des usagers de la diode laser, on peut tout de même agir sur la température car la longueur de la cavité du laser ainsi que le gain dépendent essentiellement de la température.

La mesure expérimentale de la dépendance entre la longueur d'onde et la température montre une fonction en escalier dont les pas correspondent aux modes de cavité et les discontinuités aux décalages entre les différents modes longitudinaux (de l'ordre de 0.35nm pour une diode de type AlGaAs) [2].