

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : optique et mécanique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : optique et photonique appliquée

Mémoire de Master

Thème :

**Modélisation Physique du Bruit Relatif
d'Intensité et du Bruit de Phase des Lasers à
Semi-conducteurs**

Etudié par : - CHIHOUB Mouna

- MECHOUCHE Khawla

Dirigé Par : Prof. HAMADOU Abdelouahab

Devant le jury :

Pésident : Dr. Laameche Norelhoda

Examineur : Dr . Gahmousse Abdelaziz

Encadreur : Prof. HAMADOU

Soutenu le : 04/07/2023

Sommaire

Introduction générale	1
Partie 1 : Généralités sur les lasers à semi-conducteurs.....	2
1.1. Historique.....	3
1.2. Les processus radiatif dans les lasers à semi- conducteurs	4
1.2.1. Absorption	4
1.2.2. Emission spontanée	4
1.2.3. Emission stimulée.....	4
1.3. Principale propriétés des lasers à semi-conducteurs.....	5
1.3.1. Principe de fonctionnement.....	5
1.3.2. Classification des lasers à semi-conducteurs.....	6
1.3.2.1 Laser homo-jonction.....	6
1.3.2.2. Laser hétérojonction	6
1.3.2.3. Laser à puits quantique	7
1.3.2.4. Laser à cavité verticale émettant par la surface	8
1.3.3. Condition de seuil d'un laser semi-conducteur.....	9
1.3.4. Propriétés du rayonnement cohérent de laser à semi-conducteur.....	10
1.3.4.1. Rayonnement spectral.....	10
1.3.4.2. Rayonnement spatiale.....	10
1.4. Les matériaux pour laser à semi-conducteurs	12
1.5. Les applications des lasers à semi-conducteurs	13
1.5.1. Communications par fibres optiques	13
1.5.2. Lecture et stockage de l'information.....	14
1.5.3. Divers	14
1.6. Bruit dans les lasers semi-conducteurs.....	15
1.6.1. Origines physiques du bruit des lasers à semi-conducteurs.....	15
1.6.1.1. Bruits d'origine technique	15
1.6.1.2. Bruits d'origine quantique	15
1.6.1.3. Bruits des mesures de bruits	15
1.6.2. Définition du bruit de phase	16
1.6.3. Définition relatif d'intensité (RIN).....	16
Partie 2 : Bruit relatif d'intensité et de phase des lasers à semi-conducteurs	18

2.1. Les équations stochastique des lasers à semi-conducteurs	19
2.2. Modulation à faible signal	20
2.2.1. Linéarisation des équations du bilan	20
2.2.3. Dérivation des fonctions de Langevin	24
2.2.4. Dérivation du bruit relatif d'intensité(RIN)	25
2.2.5. Paramètre optimaux	27
2.2.5.1 Fréquence de résonance	27
2.2.5.2. Maximum de la réponse fréquentielle	28
2.2.5.3. Limite du RIN	29
2.3. Dérivation du bruit de fréquence et de bruit de phase	30
2.4 . Largeur de raie	33
Conclusion générale	36
Bibliographie.....	37

Liste des Figures

Partie 1 :

Figure 1.1 : Illustration des processus d'absorption , d'émission spontanée et stimulée	5
Figure 1.2: Structure de base d'un diode laser	6
Figure 1.3: Cavité optique de la diode laser	6
Figure 1.4 : : Schéma d'un laser homo-jonction.....	7
Figure 1.5 : Double hétérostructure:(a) configuration de base , (b) avec guidage par le gain , (c) avec guidage par l'indice	8
Figure 1.6 : (a) niveaux d'énergie des électrons et des trous dans un zone active AlGaAs/GaAs , (b) : zone active d'une diode laser à puits quantique.....	9
Figure 1.7 : Schéma du principe d'un laser à cavité verticale émettant par la surface (VCSEL).....	10
Figure 1.8 : Spectre d'émission d'une diode laser	11
Figure 1.9: La distribution spatiale du faisceau.....	12
Figure 1.10 : Matériaux et régions de longueur d'onde d'oscillation des laser à semi-conducteur.....	13
Figure1.11 : Relations entre les différents bruits dans un laser à semi conducteur.....	16

Partie:2

Figure 2.1 : Bruit relatif d'intensité (RIN) en fonction de la fréquence de modulation pour différents courant d'injection et à différents gain au seuil	26
Figure 2.2 : Variation de la fréquence de résonance en fonction du courant pour différents gains au seuil	28
Figure 2.3 : Variation du maximum de la réponse fréquentielle en fonction du courant pour différent gain de seuil.....	29
Figure 2.4 : Variation de la limite du RIN en fonction du courant.....	30
Figure 2.5: Variation du bruit de phase en fonction du courant pour différent gain de seuil..	33
Figure 2.6 : Variation du bruit de fréquence en fonction de la fréquence de modulation pour différents gain de seuil	34
Figure 2.7 : Variation de l'élargissement spectrale en fonction du courant pour différents gain de seuil	35

Introduction générale

Le laser est un acronyme anglais: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation. Un laser peut être simplement modélisé par l'association de deux sous-ensembles : un milieu amplificateur qui génère un gain optique, et un résonateur qui permet à une onde optique d'osciller dans le milieu actif amplificateur. Il consiste à créer un rayonnement optique à partir d'un système de pompage appliqué sur une cavité. Si cette dernière est fabriquée d'une superposition des couches de matériaux semi-conducteurs, le laser dit laser à semi-conducteur. Il est basé généralement sur les recombinaisons électrons-trous entre les bandes de conduction et de valence, adaptés sous l'effet d'une injection électrique qui assure l'inversion de population entre ces deux niveaux d'énergie et la recombinaison radiative des électrons de conduction avec les trous de valence produit l'émission de photons.

L'évolution des lasers à semi-conducteurs s'est faite de manière parallèle aux autres types de lasers. Ces dispositifs ont aujourd'hui une importance énorme dans notre civilisation : télécommunications par fibre optique (Internet, téléphone, télévision...), stockage de l'information dans les disques optiques (CD ou DVD pour la musique comme pour l'informatique), photocopie ou impression laser, applications médicales et industrielles... Tout cela représente aujourd'hui plus de 70 % du marché total des lasers, soit environ 3 milliards de \$ en l'an 1999.

Le bruit relatif d'intensité et de phase d'un laser semi-conducteur est un phénomène qui peut affecter la qualité du faisceau laser émis. Ce bruit est causé par des fluctuations aléatoires dans les propriétés optiques du matériau semi-conducteur utilisé pour fabriquer le laser. En termes simples, le bruit relatif d'intensité et de phase se réfère aux variations aléatoires dans la puissance et la phase du faisceau laser émis par rapport à une référence stable.

Ces variations peuvent être causées par des facteurs tels que les fluctuations de température, les vibrations mécaniques ou les perturbations électromagnétiques.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un thème de recherche qui consiste à étudier la modélisation physique du bruit relatif d'intensité et du bruit de phase des lasers à semi-conducteur.

Le présent travail comporte deux parties distinctes :

- ✓ La première partie présente quelques généralités sur les lasers à semi-conducteur.
- ✓ La deuxième partie du mémoire est consacrée à l'étude de l'effet des paramètres physiques du laser sur le bruit relatif d'intensité et du bruit de phase des lasers à semi-conducteur.

Résumé :

Ce travail a pour but d'étudier la modélisation du bruit relatif d'intensité (RIN) et de bruit de phase des lasers à semi-conducteur. Il comporte deux parties. La première partie est une généralité sur les lasers à semi-conducteur. La deuxième partie est consacrée à l'étude de l'effet des paramètres physiques du laser telles que le courant, la fréquence de modulation, le gain au seuil et le facteur d'augmentation de largeur de raie sur le bruit et les paramètres optimaux des lasers à semi-conducteur (fréquence de résonance, maximum du RIN et la limite du RIN). Il a été montré que les paramètres du laser jouent un rôle primordial sur les paramètres optimaux des lasers à semi-conducteurs. La dérivation du bruit de phase, du bruit de fréquence et la largeur de raie de l'émission laser sont aussi traités et discutés dans cette partie.

Mots clés : Laser à semi-conducteur, équations de Langevin, bruit relatif d'intensité, bruit de phase, largeur de raie.

Abstract :

This work aims to study the modeling of relative intensity noise (RIN) and phase noise of semiconductor lasers. It consists of two parts. The first part provides an overview of semiconductor lasers. The second part is dedicated to studying the effect of physical parameters of the laser such as current, modulation frequency, threshold gain, and linewidth enhancement factor on the noise and optimal parameters of semiconductor lasers (resonance frequency, maximum RIN, and RIN limit). It has been shown that the laser parameters play a crucial role in the optimal performance of semiconductor lasers. The derivation of phase noise, and linewidth of laser emission is also addressed and discussed in this section.

Keywords :

Semiconductor laser, Langevin equations, relative intensity noise, phase noise, linewidth of emission

ملخص :

يهدف هذا العمل إلى دراسة نمذجة ضوضاء الكثافة النسبية وضوضاء الطور لليزر أشباه الموصلات. يتكون من جزأين. الجزء الأول هو تعميم على ليزر أشباه الموصلات. الجزء الثاني مخصص لدراسة تأثير المعلمات الفيزيائية لليزر مثل التيار وتكرار التعديل والكسب عند الحد الأدنى وعامل الزيادة في عرض الخط على الضوضاء والمعلومات المثلى لأشباه الموصلات لليزر (تردد الرنين ، الحد الأقصى وحد ضوضاء الكثافة النسبية . لقد ثبت أن معلمات الليزر تلعب دورًا رئيسيًا في المعلمات المثلى لليزر أشباه الموصلات. تم أيضًا معالجة ومناقشة اشتقاق ضوضاء الطور وضوضاء التردد وعرض خط انبعاث الليزر في هذا الجزء.

الكلمات المفتاحية:

ليزر أشباه الموصلات ، معادلات لانجفين ، ضوضاء الكثافة النسبية ، ضوضاء المرحلة ، عرض الخط.