

STRUCTURE A CASCADE QUANTIQUE POUR EMETTEUR A BASE DE NANO-ANTENNE DANS LE MOYEN-INFRA ROUGE

Oussama Ouznali¹, Jean-Paul Hugonin², Jean-Jacques Greffet², Adel Bousseksou¹, Raffaele Colombelli¹

¹ *1 Centre de Nanoscience et de Nanotechnologies - C2N, CNRS/Université Paris-Sud - Université Paris-Saclay, 10 Boulevard Thomas Gobert, 91120 Palaiseau - France.*

² *Institut d'Optique Graduate School - IOGS, 2 Avenue Augustin Fresnel 91127 Palaiseau Cedex - France*

oussama.ouznali@u-psud.fr

RÉSUMÉ

Ce travail présente le développement de structures émettrices dans le moyen-infrarouge pour des diodes électroluminescentes à base de nanoantennes. Ces structures sont basées sur des transitions intersousbandes. Inspirées de régions actives de laser à cascade quantique, l'émission spontanée y est favorisée par rapport à l'émission stimulée.

MOTS-CLEFS : *Transition intersousbande, Laser à cascade quantique, Effet Purcell, Diodes électroluminescentes, Nanoantennes*

1. INTRODUCTION

Ce travail consiste à développer des émetteurs dans le moyen infrarouge 8-12 μ m basés sur une structure à cascade quantique. Ce type de structure est basé sur les transitions intersousbandes dans la bande de conduction d'une hétérostructure semiconductrice. La longueur d'onde d'émission et les temps de vie des mécanismes d'émission et de relaxation sont ajustés grâce aux choix judicieux des épaisseurs et des matériaux utilisés dans les puits/barrières de l'hétérostructure. L'objectif étant de réaliser une diode électroluminescente (DEL). Ces structures sont inspirées des régions actives de laser à cascade quantique (QCL). La principale différence réside dans le fait que l'émission spontanée y est favorisée par rapport à l'émission stimulée, contrairement au cas d'un QCL. Aussi ces structures ont vocation à être intégrées dans un nano-résonateur à base de nanoantenne afin d'optimiser la divergence du faisceau émis mais aussi d'augmenter l'efficacité de l'émission spontanée grâce à l'effet Purcell [1]. Les temps de vie des émissions radiatives (spontanées) qui sont de l'ordre de la nanoseconde peuvent ainsi être diminués d'un facteur 100 pour atteindre des temps équivalents aux phénomènes de relaxation les plus rapides (\sim ps) et ainsi favoriser l'émission spontanée. De plus des temps de vie radiatifs de l'ordre de la picoseconde permettent d'envisager une modulation rapide (GHz) de ces émetteurs.

2. DESCRIPTION DE L'ETUDE

Cette étude consiste à déterminer les séquences des couches de l'hétérostructure (nombres, épaisseurs, dopages) d'une période de région active. L'émission visée étant dans la gamme du moyen infrarouge, entre 8-12 μ m de longueur d'onde, le couple de matériaux puits/barrières choisi est InGaAs/AlInAs en accord de maille avec un substrat d'InP. Afin d'augmenter l'efficacité de l'effet Purcell, l'épaisseur totale de la structure semiconductrice qui contient « N » périodes de région active sera limitée à moins de 500nm. En effet des simulations numériques sur des cavités cylindriques ont montré que le facteur de Purcell est inversement proportionnel à l'épaisseur de la

cavité. Les régions actives devront donc être minimisées en épaisseur afin d'avoir des structures avec un nombre de période de région active « N » important.

La figure 1 présente le calcul d'une période de région active. La partie « Transition » contient l'hétérostructure responsable de l'émission radiative. La partie « Injecteur » contient l'hétérostructure qui est responsable du transport des électrons d'une période « N » à la période suivante « N+1 ».

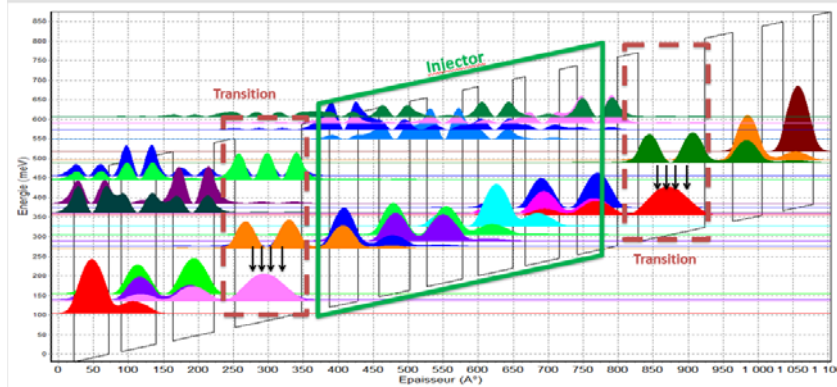


Figure1 : Illustration d'une période (Injecteur et Transition) de région active, calcul de la structure de bande et des carrées des fonctions enveloppe.

La structure est soumise à un champ électrique (voltage) qui permet d'aligner les bandes de manière à avoir un transport tunnel résonnant entre le niveau bas de la transition radiative de la période « N » et le niveau haut de la transition radiative de la période suivante via les niveaux de l'injecteur. La modification principale par rapport à une période de région active d'un QCL est l'absence de la transition résonante avec un phonon dans la partie « Transition » qui, dans le cas d'un laser, assure l'inversion de population avec l'extraction rapide des porteurs du niveau bas de la transition radiative.

3. RESULTATS

Les premières structures étudiées sont basées sur une région active de laser à cascade quantique [2] opérant à $\sim 7.5\mu\text{m}$. L'épaisseur totale d'une période de région active est de l'ordre de $\sim 60\text{ nm}$. La figure 2 présente le calcul de la structure de bande des niveaux dans l'injecteur et la transition radiative. Le champ d'alignement des bandes est de l'ordre de 35 kV/cm . La densité de porteurs correspondante dans la structure est aussi calculée (non représentée). Le nombre de période maximale pour une épaisseur totale intégrable dans le nano-résonateur de l'ordre de 500 nm est de l'ordre de 7 périodes (en intégrant des couches nécessaires aux contacts électriques).

Afin d'augmenter le nombre de période de régions actives intégrables dans les nano-résonateurs, nous avons optimisé des séquences d'hétérostructure dans la partie « Injecteur » en passant de 6 à 2 puits. Ainsi l'épaisseur totale d'une période de région active est, dans cette structure, de l'ordre de $\sim 30\text{ nm}$. Nous pouvons ainsi doubler le nombre de période pour la même épaisseur totale. La figure 3 présente le calcul de la structure de bande des niveaux dans l'injecteur et la transition radiative pour un champ d'alignement des bandes de l'ordre de 60 kV/cm .

La figure 4 présente les calculs des densités de courant en fonction de la tension appliquée pour les deux structures (60 nm/période et 30 nm/période) pour un dopage surfacique équivalent de $N_{2D}=3e11/\text{cm}^2$. La densité de courant maximale injectée dans la structure est de l'ordre de $J_{\text{max}} \sim 7\text{ kA/cm}^2$. Le temps de vie total « τ » du niveau supérieur de la transition peut être déduit de la valeur de J_{max} grâce à la relation : $J_{\text{max}}=eN_{2D}/2\tau$, où « e » est la charge élémentaire [3].

Ces structures sont en cours de croissance épitaxiale et vont servir à la fabrication des premières structures LED à cascade quantique dans le moyen infrarouge.

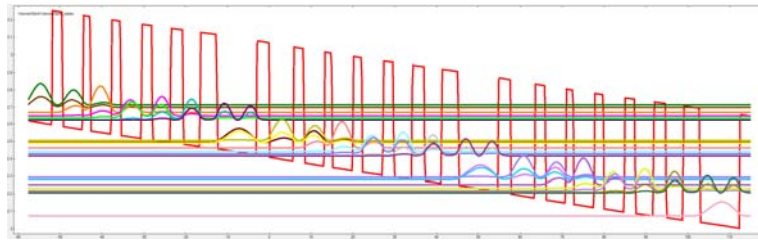


Figure 2 : Calcul d'une période (Injecteur et Transition) de région active basée sur une région active de QCL [2]

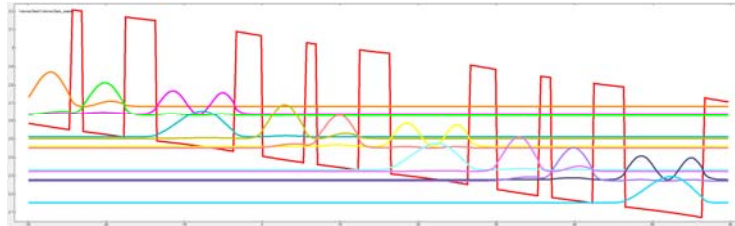


Figure 3 : Calcul de la structure de bande des niveaux dans l'injecteur et la transition radiative pour un champ d'alignement des bandes de l'ordre de 60kV/cm.

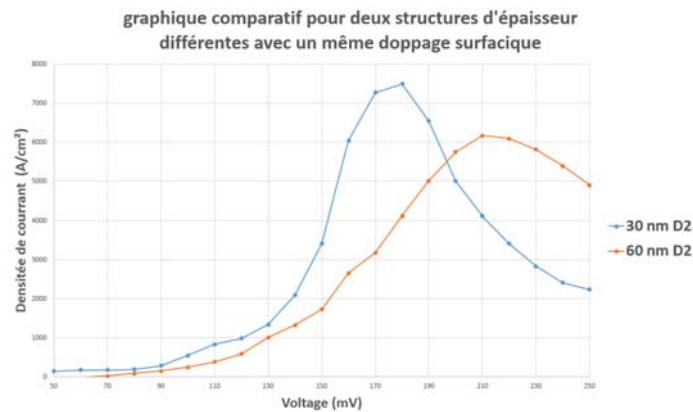


Figure 4 : densités de courant en fonction de la tension appliquée pour les deux structures (60nm/période et 30nm/période)

CONCLUSION

Nous avons présenté ici l'étude des régions actives pour les diodes électroluminescentes à cascade quantique dans le moyen infrarouge. Les structures ont été optimisées pour maximiser le nombre de période dans les nano-cavités optiques où les taux d'émission spontanée sont exaltés par effet Purcell. Des maximums de densité de courant injectée sont de l'ordre de 7kA/cm^2 .

RÉFÉRENCES

- [1] Phys. Rev. 69 B10 (1946) p. 681
- [2] Appl. Phys. Lett. **97**, 211110 (2010)
- [3] Journal of Quantum Electronics, vol. 34, no. 9, pp. 1722-1729 (1998)