

Français :

Titre de la thèse : Vers un laser à cascade quantique à base d'oxyde de zinc

Mots-clés : Laser à cascade quantique, oxyde de zinc, hétérostructure, épitaxie par jets moléculaires, transitions intersousbande.

Résumé :

Le domaine Terahertz (THz), situé entre le domaine visible et micro-ondes, se révèle être très prometteur du point de vue des applications. Cependant, ce potentiel n'est pas totalement exploité à cause du manque de sources compactes capables de couvrir une part importante de cette gamme d'énergie. Les Lasers à Cascade Quantiques (LQC) sont considérés comme de bons candidats, car ils sont à la fois compacts et accordables. Mais dans le domaine THz, les LQCs existants souffrent d'une limite de leur température de fonctionnement ($\sim 200\text{K}$), ce qui restreint fortement le champ des applications possibles. Cela vient d'une propriété intrinsèque des matériaux qui sont communément utilisés pour concevoir les LQCs : l'énergie de phonon-LO. Par conséquent, une forte compétition entre la transition assistée par LO-phonon et la transition radiative à la base du LQC survient à température ambiante, ce qui réduit l'efficacité du processus laser. Pour contrer ce problème, nous avons choisi d'utiliser le ZnO, car son énergie de phonon-LO est deux fois plus large que celle des matériaux cités précédemment, ce qui permet au laser de fonctionner jusqu'à température ambiante.

Même si le ZnO et ses alliages ne sont pas nouveaux dans le domaine des semiconducteurs, ils sont complètement exotiques dans le domaine des LQCs. Les LQCs reposent sur des hétérostructures hautement périodiques, desquelles les propriétés clés du dispositif final découlent. Par conséquent, ces hétérostructures doivent être contrôlées à la monocouche atomique près et cette précision doit être reproductible sur une centaine de périodes, ce qui fait de la croissance des LQCs un véritable challenge. Cette thèse vise à relever ce défi en portant les hétérostructures ZnO/(Zn, Mg)O à un degré de contrôle ultime. Nous mettons en oeuvre la croissance d'hétérostructures ZnO/(Zn, Mg)O sur substrats ZnO à l'aide d'un nouveau bâti d'épitaxie par jets moléculaires et nous avons démontré qu'elles sont de qualité compatible avec celle requise par les LQCs. Ce premier pas nous a permis de démontrer l'observation des transitions intersousbandes dans le moyen infrarouge jusqu'à température ambiante, ainsi que leur couplage dans des structures à puits quantiques asymétriques. Des structures à cascade complètes ont aussi été crû et ont mené à la première démonstration d'un détecteur à cascade quantique à base de ZnO dans l'infrarouge à température ambiante. Des structures LQC ont aussi été réalisées et des expériences de microscopie électronique en transmission en mode balayage montrent un excellent contrôle des hétérostructures.

Anglais :

Thesis title : Toward a zinc oxide based quantum cascade laser

Keywords : Quantum cascade laser, zinc oxide, heterostructure, molecular beam epitaxy, intersubband transition.

Abstract :

The Terahertz domain (THz), situated between the visible and microwave energy range, turns out to be very promising in terms of applications. However its application potential is not fully used because of the lack for compact sources able to cover a large part of its energy range. Quantum Cascade Lasers (QCL) are good candidates for this purpose, because there are both compact and highly tunable. But in the THz range, the existing QCLs suffer from the operation temperature limitation ($\sim 200\text{K}$), which is very restricting from the application viewpoint. It comes from an intrinsic property of the materials commonly used to build QCLs: the LO-phonon energy. As a consequence a strong competition between the LO-phonon transition and the QCL radiative transition arise at room temperature, which hinder the lasing efficiency. To tackle this issue, we choose to make use of ZnO, because its LO-phonon energy is twice larger compared to the aforementioned materials, thus enabling to keep the lasing action efficient at room temperature.

Even if ZnO and its related alloys are not new in the field of semiconductor science, they are totally exotic for the QCL field. Indeed, QCL are build from highly periodic heterostructures, from which all the key device properties come from. Therefore, the heterostructure should be controlled at the monolayer scale and this precision should be reproducible on hundred of periods, which made QCL growth an indubitable challenge. This thesis aims at take up this challenge by bringing ZnO/(Zn, Mg)O heterostructures to this ultime degree of control. We are growing ZnO/(Zn, Mg)O heterostructures on ZnO substrates with a new molecular beam epitaxy system and we demonstrate that the heterostructures quality matche the QCL material requirements. This first step enables us to demonstrate the observation of intersubband transitions in the mid-infrared range until room temperature, as well as their coupling within asymmetric quantum well structures. Complete cascade structures were also grown and lead to the first demonstration of a ZnO based Quantum Cascade Detector in the infrared range until room temperature. QCL structures were also grown and shows very good heterostructure control as stated by scanning transmission electron microscopy experiments.