

Titre en français : Nanostructures à transitions interbandes géantes : Propriétés optoélectroniques et application à la photodétection

Titre en anglais : Giant interband transition nanostructures: Optical and optoelectronic properties and application in photodetection

Nom du directeur de thèse : Judikaël Le Rouzo, Johann Toudert

E-Mail : judikael.le-rouzo@univ-amu.fr ; johann.toudert@univ-amu.fr

Laboratoire : IM2NP, équipe LUMEN-PV

Financement : acquis

Type de financement : ANR sur CPJ

Résumé en français : Les nanostructures dites « à transitions interbandes géantes », qui sont produites à base de composés semiconducteurs ou semi-métalliques du bloc p de la classification périodique, présentent des transitions à très grande force d'oscillateur entre leurs bandes d'énergie électroniques. Ceci leur confère des propriétés optoélectroniques hors normes très prometteuses pour la photodétection.

Sous éclairage UV-visible, ces transitions génèrent une forte densité de porteurs de charge photo-induits depuis les bandes de valence vers les bandes de conduction. Ceci permet aux nanostructures de présenter des résonances plasmon ajustables spectralement, à l'absorption lumineuse intense sur un plus large spectre que les nanostructures métalliques employées habituellement dans le domaine de la plasmonique. Dans l'IR, à des énergies supérieures à leur gap électronique, les nanostructures à transitions interbandes géantes présentent un indice de réfraction très élevé, pouvant être supérieur à 10 sur une large gamme spectrale. Cette valeur, bien supérieure à celle des nanostructures habituellement employées dans l'IR (à base de Si, PbS, HgCdTe...), permet une absorption totale ajustable spectralement de la lumière dans une épaisseur de quelques nanomètres, via le couplage entre les porteurs de charge photo-induits et des résonances diélectriques de très haut indice.

Ces nanostructures sont donc d'excellentes candidates pour devenir le composant actif de photodétecteurs ultracompacts opérant sur une gamme spectrale ajustable de l'UV à l'IR. La mise en évidence de telles nanostructures étant récente, il reste de nombreuses questions de nature fondamentale à leur sujet. C'est pourquoi nous proposons dans le cadre de cette thèse de doctorat d'étudier tout d'abord en profondeur leurs propriétés optoélectroniques, le but étant d'exploiter ensuite les concepts de la nanophotonique et de la nano-optoélectronique pour développer des photodétecteurs aux propriétés ajustées. Nous évaluerons l'effet de la composition, morphologie, et de l'organisation des nanostructures, et de leur intégration au sein de films minces ou de métasurfaces. Pour ce faire, nous analyserons les informations obtenues par des moyens de caractérisation optique (spectroscopie) et optoélectronique (caractéristiques courant-tension, rendement quantique) et de simulation avancée (éléments finis, FDTD, matrices de transfert, calcul analytique...) adaptés. Ce travail sera réalisé au sein de notre équipe, LUMEN-PV, qui possède une forte expertise de la mise en œuvre de ces techniques, et des domaines de la photodétection, de la photovoltaïque, de la nanophotonique, de l'optoélectronique et des matériaux avancés. Date de début prévisionnelle: 2e moitié 2024.

Résumé en anglais : Giant interband transition nanostructures, which are based on semiconductor or semi-metal compounds from the p-block of the periodic table, display high oscillator strength transitions between their electronic energy bands. This endows them with outstanding optoelectronic properties showing great promises for applications in photodetection.

Under UV-visible illumination, these transitions generate a high density of charge carriers photo-induced from the valence bands to the conduction bands. This enables the nanostructures to display plasmon resonances that can be spectrally adjusted, and that present an intense optical absorption on a broader spectrum than metal nanostructures usually employed in the field of plasmonics. In the IR, at energies higher than their electronic bandgap, giant interband transition nanostructures display a very high refractive index, which can be higher than 10. This value, much higher than those of usual IR nanostructures (based on Si, PbS, HgCdTe...), enables a spectrally adjustable perfect absorption of light in a few-nanometer thickness, through the coupling between photo-induced charge carriers and very high index dielectric resonances.

Therefore, these nanostructures are excellent candidates to become the active element of ultracompact photodetectors operating in an adjustable spectral window from the UV to the IR. However, as these nanostructures have been unveiled recently, many fundamental questions remain about their optoelectronic properties. That's why we propose, in the framework of this PhD thesis, to first study thoroughly these properties, the goal being to exploit nanophotonic and nano-optoelectronic concepts to then develop photodetectors with adjusted properties. We will evaluate the effect of the composition, morphology and organization of the nanostructures, and of their integration within thin films or metasurfaces. At such aim, we will analyze information obtained from well-suited approaches such as optical characterization (spectroscopy), optoelectronic characterization (current-tension, quantum yield) and advanced simulations (finite elements, FDTD, transfer matrix, analytical calculations...). This work will be performed within our team, LUMEN-PV, which owns a strong expertise of harnessing these techniques, and of the fields of photodetection, photovoltaics, nanophotonics, optoelectronics and advanced materials. Expected start: second half of 2024.

Profil du candidat recherché en français : Le/la candidat/e choisi/e, issu/e d'une formation Master ou Ingénieur devra avoir acquis une très bonne connaissance de l'électromagnétisme, de l'optique ondulatoire, de la photonique, des propriétés électroniques des matériaux (notamment des semi-conducteurs), et être intéressé/e pour s'investir aussi bien dans des activités expérimentales que théoriques. Une première expérience de la caractérisation spectroscopique et/ou optoélectronique, et/ou de la simulation numérique sera un plus. Un bon niveau d'anglais est requis. D'autres qualités qui seront appréciées : curiosité et esprit critique, attitude pro-active, bonne aptitude pour communiquer, capacité à travailler de manière autonome comme en équipe, volonté d'acquérir une expérience internationale.

Profil du candidat recherché en anglais : The selected candidate, with a Master or Engineer background, will have a very good knowledge in electromagnetism, wave optics, photonics, electronic properties of materials (especially semiconductors), and be interested in working on experimental as well as theoretical aspects. A first experience of spectroscopic and/or optoelectronic characterization, and/or of numerical simulations will be a plus. A good English level is required. Other qualities that will be appreciated: curious and critical mind, pro-active attitude, good communication skills, capability to work in an autonomous way as well as part of a team, willingness to develop an international experience.

Publications sur le sujet :

["Topological materials for functional optoelectronic devices"](#) **Advanced Functional Materials** **2110655** (2022)

["Interband transitions in semi-metals, semiconductors, and topological insulators: a new driving force for plasmonics and nanophotonics"](#) **Optical Materials Express** **6, 2434** (2017)

Insertion professionnelle après thèse : publique et/ou privée