



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mr **EL-HAMOUCI Jamal**
Soutiendra : le Samedi 04/07/2026 à 10H00
Lieu : **FSDM – Département de Géologie**

Une thèse intitulée :

Étude des propriétés optoélectroniques des puits quantiques à pérovskite hybride de type Ruddlesden-Popper.

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : Sciences et Techniques
Spécialité : Sciences des matériaux pour l'énergie et l'environnement

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr. EL GHAZI Haddou	École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Casablanca	PES	Président
Pr. LIMAME Karoum	Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Fès	PES	Rapporteur
Pr. RAHMANI Khalid	Ecole Normale Supérieure, UMV, Rabat	PES	Rapporteur
Pr. AMRI Nabil	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Rapporteur
Pr. ZEKRITI Mohssin	Université Euro-Méditerranéenne, Fès	MCH	Examineur
Pr. TOUTI Rodouan	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Examineur
Pr. SALI Ahmed	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

Dans ce travail, les propriétés électronique et optiques linéaires (OL)/non-linéaires (ONL) des pérovskites hybrides de type Ruddlesden–Popper (RP) de formule générale $(BA)_2(MA)_{m-1}Pb_mI_{3m+1}$ ($m = 2-4$) ont été systématiquement étudiées. Les énergies des états électroniques de sous-bandes de conduction et les fonctions d'onde ont été calculées numériquement par la résolution de l'équation de Schrödinger indépendante de temps dans l'approximation de la masse effective (AME) en utilisant la méthode des éléments finis (MEF). Les états électroniques obtenus ont été ensuite exploités dans le cadre du formalisme compact de la matrice densité afin d'évaluer plusieurs réponses optiques, notamment les coefficients d'absorption optique (CAO), les variations de l'indice de réfraction (VIR), la rectification optique non-linéaire (RON), la génération de seconde harmonique (GSH), la génération de troisième harmonique (GTH), l'absorption dégénérée à deux photons (AD2P) et l'indice de réfraction non-linéaire (RNL). Les résultats révèlent que ces propriétés sont fortement gouvernées par l'interaction entre le confinement quantique, le confinement diélectrique, le désaccord des masses effectives et l'épaisseur du puits quantique (PQ). Une absorption optique importante atteignant $9.5 \times 10^6 m^{-1}$ ainsi qu'une forte modulation de l'indice de réfraction ont été observées et les contributions non-linéaires du troisième ordre deviennent prédominantes pour des épaisseurs intermédiaires du PQ correspondant à ($m = 3-4$). La réponse GTH présente des valeurs remarquablement élevées atteignant $10.6 \times 10^{-18} m^2/V^2$, comparables voire supérieures à celles des PQs conventionnels. L'influence d'un champ électrique d'intensité F , appliqué selon la direction de confinement a été également analysée en détail pour les PQs RP ($m = 2$). Le champ électrique modifie significativement la structure électronique, renforce les facteurs géométriques et induit des décalages prononcés vers le bleu dans les spectres résonants. Par conséquent, les réponses RON, GSH, GTH, CAO, VIR et AD2P sont fortement amplifiées avec l'augmentation de F . En particulier, l'absorption ONL présente des effets de saturation et des structures à double résonance sous forts champs électriques, tandis que les réponses non linéaires (RNL) demeurent comparativement modérées. Le coefficient AD2P dépasse $4 \times 10^{-8} m/W$, alors que la RNL reste relativement faible, conduisant à une figure de mérite non-linéaire favorable. Globalement, ces résultats démontrent que les PQs RP possèdent des réponses ONL



hautement modulables et remarquablement fortes, ce qui en fait des candidats prometteurs pour des applications avancées en optoélectronique, photonique et limitation optique.

Mots clés :

Pérovskites hybrides, Ruddlesden–Popper, Puits quantiques, Champ électrique, Intensité optique, Taux de relaxation, Coefficients d'absorption optique, Variations de l'indice de réfraction, Rectification optique non linéaire, Génération de seconde harmonique, Génération de troisième harmonique, Absorption dégénérée à deux photons, Indice de réfraction non linéaire.



STUDY OF THE OPTOELECTRONIC PROPERTIES OF RUDDLESDEN–POPPER HYBRID PEROVSKITE QUANTUM WELLS

Abstract :

In this work, the electronic and linear/nonlinear optical properties of Ruddlesden–Popper (RP) hybrid perovskite with the general formula $(BA)_2(MA)_{m-1}Pb_mI_{3m+1}$ ($\langle m \rangle = 2-4$) are systematically investigated. The electronic subband energies and wave functions were determined numerically by solving the time independent Schrödinger equation within the effective mass approximation (EMA) using the finite element method (FEM). The obtained electronic states were then employed within the compact density-matrix formalism to evaluate several optical responses, including optical absorption coefficients (OACs), refractive-index changes (RICs), nonlinear optical rectification (NOR), second-harmonic generation (SHG), third-harmonic generation (THG), degenerate two-photon absorption (D-TPA), and the nonlinear refractive index (n_2). The results reveal that the optical properties of RP are strongly governed by the interplay between quantum confinement, dielectric confinement, effective-mass mismatch, and well thickness. Significant optical absorption reaching $9.5 \times 10^6 m^{-1}$ and strong refractive-index modulation were obtained, with third-order nonlinear contributions becoming dominant for intermediate well thicknesses corresponding to ($\langle m \rangle = 3-4$). The THG response exhibits remarkably high values up to $10.6 \times 10^{-18} m^2/V^2$, comparable to or exceeding those of conventional semiconductor quantum wells. The influence of an external electric field applied along the confinement direction was also analyzed in detail for bilayer ($\langle m \rangle = 2$) RP quantum wells (QWs). The electric field significantly modifies the electronic structure, enhances dipole transition matrix elements, and induces pronounced blue shifts in the resonant spectra. Consequently, NOR, SHG, THG, OACs, RICs, and D-TPA responses are strongly enhanced with increasing electric-field strength. In particular, nonlinear absorption exhibits saturation effects and double-resonance structures at high electric fields, while the refractive nonlinearities remain comparatively moderate. The D-TPA coefficient exceeds $4 \times 10^{-8} m/W$, whereas the nonlinear refractive index remains relatively small, leading to a favorable nonlinear figure of merit. Overall, these findings demonstrate that RP-QWs possess highly tunable and remarkably strong nonlinear



optical responses, making them promising candidates for advanced optoelectronic, photonic, and all-optical limiting applications.

Key Words :

Hybrid Perovskites, Ruddlesden-Popper, Quantum wells, Electric-field, Optical intensity, Decay rate, Optical absorption coefficients, Refractive index changes, Nonlinear optical rectification, Second harmonic generation, Third-harmonic generation, Degenerate two-photon Absorption, Nonlinear refractive index.