République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université Ferhat Abbas Sétif 1

Faculté des Sciences

Département de Physique

Domaine : Science de la Matière

Filière : Physique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master

En

Physique de matériaux

THEME

Analyse par éléments finis des cristaux phononiques Unidimensionnels ZnO/SiO_2 sous pression hydrostatique

Présenter par : Arous Ibtihele

Soutenu publiquement, le 22 juin 2026

Devant le jury :

Dr. OSMANI Ismahen	Président
Dr. CHERIF Sabah	Examinatrice
Dr. MEDKOUR Youcef	Examinateur
Dr. ARAB Fahima	Encadreur

2025/2026

Résumé

Dans ce travail, nous avons conçus et étudié un cristal phononique unidimensionnel **(1D)** à composé d'une multicouche de ZnO/SiO_2 à l'aide la méthode des élément finis **(FEM).** Les structures parfaite et défectueuse ont été analysées afin d'étudier la propagation des ondes acoustiques et la formation des bandes interdites phononiques. L'étude s'est également concentrée sur l'analyse de l'influence et des paramètres géométriques et de la pression hydrostatique sur les bandes interdites ainsi que la transmission. Les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel de ces structures phononiques $(ZnO/SiO_2)^N$ pour le développement des capteurs à haute sensibilité.

Mots clés : Cristaux Phononique1D, ZnO, Bandes interdites phononiques, Pression Hydrostatique, Capteurs à cristaux phononiques, FEM, Ondes acoustiques.

Abstract

In this work, we designed and studied a one-dimensional **(1D)** phononic crystal composed of a ZnO/SiO_2 multilayer using the finite element method **(FEM).**Both perfect and defective structures were analysed to study acoustic wave propagation and the formation of phononic band gaps. The study also focused on analysing the influence of geometric parameters and hydrostatic pressure on the band gaps and transmission. The results obtained highlight the potential $(ZnO/SiO_2)^N$ of these phononic structures for the development of high-sensitivity sensors.

Keywords: 1D phononic crystals, ZnO, phononic band gaps, hydrostatic pressure, phononic crystal sensors, FEM, acoustic waves.

ملخص

في هذا العمل، قمنا بتصميم ودراسة بلورة صوتية أحادية البعد **(1D)** مكونة من طبقات متعددة من ZnO/SiO_2 باستخدام طريقة العناصر المحدودة **(FEM)**. وتم تحليل كل من المبنى المثالية والمعيبة لدراسة انتشار الموجات الصوتية وتكوين فجوات النطاق الصوتي. كما ركزت الدراسة على تحليل تأثير المعايير الهندسية والضغط الهيدروستاتيكي على فجوات النطاق والنفاذية. وتُبرز النتائج المُتحصل عليها إمكانات هذه البنى الصوتية الصوتية $(ZnO/SiO_2)^N$ في تطوير أجهزة استشعار عالية الحساسية.

الكلمات المفتاحية: بلورات صوتية أحادية البعد،ZnO ، فجوات النطاق الصوتي، الضغط الهيدروستاتيكي، أجهزة استشعار البلورات الصوتية، طريقة العناصر المحدودة، الموجات الصوتية

Table des matières

Introduction générale 1

Chapitre1 : Généralités sur les cristaux phononiques

1.1 Introduction 8
1.2 Définition des cristaux phononiques 8
1.3 Différents types des cristaux phononiques 1D, 2D et 3D 9
1. 3. 1 Cristaux phononiques Unidimensionnels (1D) 10
1. 3. 2 Cristaux phononiques Bidimensionnels (2D) 11
1. 3. 3 Cristaux phononiques Tridimensionnels (3D) 12
1.4 Ondes acoustiques et élastiques 12
1.4.1 Les types des ondes 13
1. 4 .1.1 Ondes longitudinales 13
1. 4. 1. 2 Ondes transversales 14
1.5 Formulation théorique de la propagation des ondes dans les milieux périodiques 14
1. 5. 1 Equation de propagation des ondes élastiques /acoustiques 14
1. 5. 2 La loi de Bragg 15
1. 5. 3 Théorie de Bloch 16
1. 5. 4 Réseau direct et réseau réciproque 17
1. 5. 5 Zone de Brillouin irréductible 18
1.6 Les applications des cristaux phononiques 18
1. 6. 1Guides d'ondes dans les cristaux phononiques 18
1. 6. 2 Cavité résonateurs et résonateurs acoustique 20
1. 6. 3 Couplage Guides/Cavité 20
1. 6. 4 Capteurs (1D/2D) 21
1.7 La relation de dispersion et bande interdite 22
1. 7. 1 Bande interdite à diffusion Bragg 23
1. 7. 2 Bande interdite à Résonance locale 24
1.8 Paramètres d'influence sur la bande interdite 25
1. 8. 1 Paramètres Géométriques 26
1. 8. 2 Facteur de remplissage 26
1. 8. 3 Contraste dans la masse volumique 26
1. 8. 4 Contraste de vitesse 26
1.9 Effet des paramètres externe 27
1.10 Conclusion 28
Références 29

Chapitre 2 : Méthodologie et conception avec COMSOL Multiphysics

2.1 Introduction 33
2.2 Bref historique de la méthode des éléments finis (MEF) 33
2.3 Définition et concept de la méthode des éléments finis 34
2.4 Principe et étapes de calcule par la méthode des éléments finis 34
2.5 Les avantages et les inconvénients 36
2 .6 Applications aux cristaux phononiques 37
2.7 Simulation et conception à l'aide de COMSOL Multiphysics 38
2.7.1 Introduction 38
2.7.2 Étapes de simulations sous Comsol Multiphysics 39
2.7.2.1 Sélection d'un module de simulation 39
2.7.2.2 Description de la géométrie 40
2.7.3 Étapes de simulation de la transmission avec super-cellule 42
2.8 Conclusion 43
Références 44

Chapitre 3 : Simulations des cristaux phononiques unidimensionnels : ZnO/SiO_2

3 .1 Introduction 47
3 .2 Choix de matériaux piézoélectrique 47
3. 3Etude du cristaux phononiques 1D ZnO/SiO_2 sans défaut 48
3. 3. 1 Structure de band 48
3.3. 1 .1 Structure de bande 3D 49
3. 3. 1. 2 Structure de bande 2D 50
3. 3. 2 Influence des paramètres géométriques 53
3. 3. 2 .1 Effet du paramètre de la cellule (a) 53
3. 3. 2. 2 Effet de nombre de cellule (N) 55
3. 3. 2. 3 Effet de l'épaisseur des couches 55
3. 3. 3 Effet de la pression hydrostatiques 57
3. 4 Structure de bande avec de défaut 61

3. 5 Analyse fréquentielle en transmission de structure ZnO/SiO_2 62
3. 5. 1 Optimisation du nombre de cellule N 62
3. 5. 2 Comparaison du gap avec du spectre de dispersion 63
3. 5. 3 Effet de la pression hydrostatique 64
3. 6 Etude du cristaux phononiques 1D ZnO/SiO_2 avec défaut 65
3. 6. 1 Effet de l'épaisseur de cavité 66
3.6. 2 Caractéristiques du capteur d'épaisseur de ZnO 67
3. 6. 3 Effet de la pression hydrostatique sur les caractéristiques du capteur 69
3.7 Comparaison avec un capteur en ZnO élastique 71
3.7. 1 Structure étudiée 71
3 .7. 2 Effet de l'épaisseur de la cavité élastique 71
3.7. 3 Caractéristiques du capteur d'épaisseur de ZnO 72
3 7. 4Effet de la pression hydrostatique sur les caractéristiques du capteur (cas élastique) 73
3.8 Conclusion 75
Références 76
Conclusion générale 78