

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Optique et Photonique Appliquée

Mémoire de Master

Etude des structures métamatériaux en optique

Étudié par : M^{elle} Douaa Bekrar

Dirigé Par : Dr. Mezache Zinelabiddine

Devant le jury :

(Président) : Dr. Boulharts

(Examineur) : Pr. Belloui

Soutenue le : 19/09/2021

Remerciement

Résumé

Liste des figures

Introduction générale.....1

CHAPITRE I : Généralités sur les métamatériaux

I.1.Introduction5

I.2 Théorie des métamatériaux5

I.3 Définitions des métamatériaux et des mains gauches6

I.4 Classifications des métamatériaux.....8

I.4.1 Les matériaux doublement positifs (DPS).....8

I.4.2 Les matériaux a perméabilité négatifs.....9

I.4.3 Les matériaux a permittivité négatives.....10

I.4.4 Les matériaux doublement négatifs12

I.5 Quelques propriétés électromagnétiques.....13

I.5.1 Réfraction négative.....13

I.5.2 Focalisation du champ proche.....14

I.5.3 L'inversion de l'effet doppler.....15

I.6 Application des métamatériaux15

I.6.1 Technologies de l'information et la communication15

I.6.2 Spatial.....17

I.6.3 Défense et sécurité.....17

I.6.4 Nanotechnologies17

I .7 Conclusion18

CHAPITRE II: Etude des structures métamatériaux sous CST

II.1 Introduction20

II.2 Concepts des généraux20

II.2.1 La perméabilité	20
II.2.2 La permittivité	21
II.2.3 Les paramètres "s"	21
II.3 Présentation du logiciel Microwave studio de CST.....	22
II.4 Exemple d'une structure métamatériaux en utilisant CST.....	24
II.5 Construction du modèle.....	27
II.6 Configuration du modèle.....	28
II.7 Le 1 ^{er} modèle réalisé par le logiciel CST.....	29
II.8 Simulation.....	30
II.9 Résultats	30
II.9.1 Les paramètres " S "	30
II.9.2 La permittivité et la perméabilité.....	31
II.10 Le 2 ^{ème} modèle réalisé par le logiciel CST (bazzel).....	31
II.10. a Le résultat de paramètres "s"	32
II.10.b Le résultat de permittivité " ξ "	32
II.10.c Le résultat de l'indice de réfraction "n"	32
II.11 Conclusion.....	33

CHAPITRE III : Etude d'un détecteur des permittivités à base métamatériaux (bazzel)

III.1 Introduction.....	35
III.2 Vérification de la détection de la 2 ^{ème} cellule (buzzel).....	35
III.2.1 L'addition d'un matériau à détecter sur la structure (buzzel).....	35
III.3 Conclusion	37

Conclusion générale	39
---------------------------	----

Bibliographie

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure 1.1: (a) Premier prototype proposé par l'équipe de D ;R ;Smith (b) Prototype amélioré.....	4
Figure 2.2 : Classement des matériaux en fonction du signe de leur permittivité et perméabilité.....	5
Figure 1.3: Trièdre direct et indirect des vecteurs $(\vec{E}, \vec{H}, \vec{K})$	6
Figure 1.4: (a) réseau de RAF introduit par pendry (b) cellule unitaire par du RAF	8
Figure 1.5: Structure périodique de fils minces proposé par J. Pendry	10
Figure 1.6: Milieu doublement négatif introduit par Smith	11
Figure 1.7: Réfraction d'une onde électromagnétique à l'interface de deux matériaux différents.....	12
Figure 1.8: Effet de double focalisation d'une lentille MMG plane d'indice- $ n_t $ entourée par deux MMD d'indice $n_i \equiv n_t $	13

CHAPITRE II

Figure 2.1: Signaux aux bornes d'une composante micro-onde.....	17
Figure 2.2: Interface Graphique De CST MICROWAVE STUDIO	18
Figure 2.3: Fenêtre principale du logiciel CST.....	19
Figure 2.4: La fenêtre d'accueil.....	20
Figure 2.5: La fenêtre de crée le domaine de travail.....	21
Figure 2.6: Fenêtre de choisir le composant qu'on va le traiter.....	21
Figure 2.7: Liste des paramètres et unités.....	22
Figure 2.8: Fenêtre de la gamme de fréquence.....	22
Figure 2.9: Dialogue d'ajout d'une pièce de base.....	23
Figure 2.10: Sélection d'un matériau à partir de la librairie de MicroWave studio.....	23
Figure 2.11: Dialogue de configuration de la plage de fréquence.....	24
Figure 2.12: Dialogue de configuration des conditions aux bornes.....	24

Liste des figures

Figure 2.13: Dialogue de configuration du matériau d'arrière.....	25
Figure 2.14: La 1 ^{ère} cellule unitaire réalisée dans CST.....	25
Figure 2.15: Arbre de résultats.....	26
Figure 2.16: les courbes des paramètres "S" $s_{11}s_{21}s_{12}s_{22}$	26
Figure 2.17: les courbes des paramètres ε, μ 1 ^{ère} cellule.....	27
Figure 2.18: La 2 ^{ème} cellule unitaire réalisée dans CST.....	27
Figure 2.19: La courbe des paramètres "s" de la 2 ^{ème} cellule.....	28
Figure 2.20: La courbe de la permittivité " ξ " de la 2 ^{ème} cellule.....	28
Figure 2.21: La courbe de l'indice de réfraction "n" de la 2 ^{ème} cellule.....	29

CHAPITRE III

Figure 3.1: La 2 ^{ème} cellule avec les matériaux de différents epsilons.....	30
Figure 3.2: La variation des pics de résonances en fonction des permittivités du matériau.....	31
Figure 3.3: La courbe résultante de la variation permittivité en fonction de la fréquence.....	31

Introduction

générale

Les métamatériaux sont des matériaux composites artificiels conçus spécifiquement pour des propriétés électromagnétiques qui n'existent pas dans la nature. L'une de leurs propriétés les plus intéressantes est la réfraction négative, qui se produit lorsque la permittivité et la perméabilité sont négatives. Ce support est aussi appelé matériel gaucher (MMG) ou support gaucher (LHM). Depuis la première vérification expérimentale de métamatériaux à indice de réfraction négatif au début des années 2000, de nombreux nouveaux dispositifs ou améliorations de dispositifs existants ont été proposés dans plusieurs domaines tels que le domaine des micro-ondes et des antennes.

Dans le domaine fréquentiel, tous les matériaux peuvent être décrits par leur permittivité (ϵ) et perméabilité (μ). Ces paramètres de composition déterminent la réponse du matériau à un rayonnement électromagnétique (EM). Leurs connaissances précises sont non seulement nécessaires aux scientifiques, mais également nécessaires aux applications industrielles. En raison de l'incertitude du processus de fabrication, le seul moyen de trouver les paramètres des matériaux est généralement de les mesurer.

L'élément artificiel de base d'un métamatériau, présente les caractéristiques suivantes : La bande interdite en propagation. Cet élément est appelé un résonateur à anneau fendu (RAF), et en plus de sa résonance, il produit également une perméabilité effective négative dans une bande de fréquence étroite autour de sa résonance un ensemble de cet élément forme un métamatériau.

Les métamatériaux sont utilisés pour améliorer les performances des antennes, des filtres et des coupleurs. Leur principal avantage est la miniaturisation des dispositifs cela est dû à la taille du résonateur tel que sa taille maximale est d'environ $\lambda/10$ ce qui donne un indice de réfraction assez facilement ajustable qui peut même être négatif à certaines fréquences [1].

Le but de ce mémoire, est en premier lieu de maîtriser le logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave Studio® par la réalisation des différentes structures, et en deuxième d'utiliser une structure proposée pour faire une petite expérience sur sa détection sur logiciel.

Le manuscrit est réparti en trois chapitres, le premier chapitre consiste à présenter les métamatériaux et ses éléments de base, les tiges et les anneaux et citer quelques propriétés électromagnétiques les plus intéressantes. A la fin, les principaux domaines où de

nouveaux produits devraient intégrer des composants ou des systèmes à base de métamatériaux sont soulignés, parmi les domaines qui nous intéressent, à savoir: le domaine de contrôle des paramètres

Le second chapitre est consacré dans sa première partie à la présentation du logiciel CST Microwave Studio ® utilisé pour modéliser et simuler deux structures proposées et une déjà publiée à la fois dans l'espace libre et dans l'environnement de guides d'ondes rectangulaires pour l'obtention des paramètres S à partir desquels les paramètres effectifs peuvent être extraits .

Les deux structures proposées nous donnent des permittivités et des indices de réfractifs négatifs.

Ensuite, dans le troisième chapitre nous allons utiliser la structure dite buzzle proposée pour faire une petite expérience dans laquelle on va étudier la détection de cette structure par un matériau avec des permittivités différentes, et par la suite on va connaître le type de matériaux en utilisant le programme MATLAB.

Finalement, nous allons terminer notre travail par une conclusion générale.

Résumé

Ce mémoire est constitué de trois parties, la première partie est consacrée à la présentation des métamatériaux en générale, et leurs éléments de bases, avec quelques propriétés électromagnétiques, et les domaines d'applications utilisant les métamatériaux.

La deuxième partie de notre travail est consacrée à la simulation des structures métamatériaux (dite main gauche) sous l'environnement CST, ce qui nous permet tout d'abord de maîtriser le logiciel CST Microwave Studio ®.

La partie finale du travail, nous avons utilisé une structure (buzzer) comme un détecteur des permittivités des matériaux, et nous l'avons vérifié à l'aide de MATLAB.