

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI KHOA HỌC**

NGUYỄN THỊ MÂY

**NGHIÊN CỨU MỞ RỘNG DẢI TẦN HOẠT ĐỘNG
CỦA VẬT LIỆU BIẾN HÓA CÓ ĐỘ TỪ THÂM
VÀ CHIẾT SUẤT ÂM**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

THÁI NGUYÊN - 2018

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI KHOA HỌC**

NGUYỄN THỊ MÂY

**NGHIÊN CỨU MỞ RỘNG DẢI TẦN HOẠT ĐỘNG
CỦA VẬT LIỆU BIẾN HÓA CÓ ĐỘ TỪ THÂM
VÀ CHIẾT SUẤT ÂM**

**Ngành: Quang học
Mã số: 8.44.01.10**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

Người hướng dẫn khoa học: TS. NGUYỄN THỊ HIỀN

THÁI NGUYÊN - 2018

LỜI CẢM ƠN

Em xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc tới cô giáo TS. Nguyễn Thị Hiền - Khoa Vật lý và Công nghệ - Trường Đại học Khoa học Thái Nguyên về sự hướng dẫn, chỉ bảo hết sức tận tình của cô trong suốt quá trình em thực hiện luận văn tốt nghiệp này.

Em xin gửi lời cảm ơn tới các thầy, cô giáo trong Khoa Vật lý và Công nghệ - Trường Đại học Khoa học Thái Nguyên - những người thầy đã trang bị cho em những kiến thức quý báu trong thời gian em học tập, nghiên cứu tại trường.

Cuối cùng, em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến bạn bè, người thân - những người luôn bên cạnh động viên, giúp đỡ trong thời gian em học tập và thực hiện luận văn tốt nghiệp này.

Thái Nguyên, tháng 05 năm 2018

Học viên

Nguyễn Thị Mây

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	i
MỤC LỤC	ii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT	v
DANH MỤC CÁC HÌNH	vi
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG I. TỔNG QUAN	
1.1. Giới thiệu sơ lược về tình hình nghiên cứu vật liệu biến hóa có chiết suất âm	3
1.2. Phân loại về vật liệu biến hóa	4
1.2.1. Vật liệu có độ điện thẩm âm	5
1.2.2. Vật liệu có độ từ thẩm âm	7
1.2.3. Vật liệu có chiết suất âm	10
1.3. Một số tính chất và ứng dụng của vật liệu biến hóa	12
1.3.1. Một số tính chất của vật liệu biến hóa	12
1.3.2. Một số ứng dụng của vật liệu biến hóa	12
1.4. Mô hình vật lý để mở rộng vùng có độ từ thẩm âm và chiết suất âm	14
1.4.1. Mô hình lai hóa bậc một ứng với cấu trúc CWP	14
1.4.2. Mô hình lai hóa bậc hai ứng với cấu trúc CWP hai lớp.....	16
1.4.3. Mô hình lai hóa bậc cao	20
1.5. Mô hình mạch LC ứng với cấu trúc cặp dây bị cắt	21
Chương 2: PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	24
2.1. Lựa chọn cấu trúc	24
2.2. Phương pháp tính toán	288
. 2.2.1. Mô hình mạch LC ứng với cấu trúc cặp đĩa	28

<i>Error! Bookmark not defined.</i> 2.2.2.Mô hình mạch điện LC ứng với cấu trúc lưới đĩa cho chiết suất âm....	29
2.2.2. Phương pháp tính toán dựa trên thuật toán của Chen	30
2.3. Phương pháp mô phỏng.....	311
Chương 3: KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	355
3.1. Nghiên cứu mở rộng vùng có độ từ thẩm âm sử dụng cấu trúc đĩa hai lớp.....	36
3.2. Kết quả nghiên cứu mở rộng vùng có chiết suất âm sử dụng cấu trúc lưới đĩa hai lớp	399
3.2.1. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách hai lớp d lưới đĩa đến mở rộng vùng chiết suất âm	40
3.2.2. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày lớp điện môi đến mở rộng vùng chiết suất âm	45
3.2.3. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của độ rộng dây liên tục (w) đến mở rộng vùng chiết suất âm	48
3.2.4. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của bán kính đĩa đến mở rộng vùng chiết suất âm.....	50
3.2.5. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hằng số mạng theo phương của điện trường \vec{E} (phương y) đến mở rộng vùng chiết suất âm	52
3.2.6. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hằng số mạng theo phương của từ trường H (phương x) đến mở rộng vùng chiết suất âm	554
3.2.7. Kết quả nghiên cứu cấu trúc tối ưu	55
KẾT LUẬN CHUNG.....	57
HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO	58
CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ.....	59
TÀI LIỆU THAM KHẢO	60

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tên đầy đủ	Tên tiếng Việt
SRR	Split - Ring Resonator	Vòng cộng hưởng
CW	Cut - Wire	Dây kim loại bị cắt
CWP	Cut - Wire Pair	Cặp dây bị cắt
LH	Left - Handed	Quy tắc bàn tay trái
LHMs	Left - Handed	Vật liệu tuân theo quy tắc bàn tay trái
Meta	Metamaterial	Vật liệu biến hóa
RH	Right - Handed	Quy tắc bàn tay phải

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1. Biểu đồ biểu diễn mối liên hệ giữa ϵ và μ	4
Hình 1.2. (a) Cấu trúc lưới dây kim loại mỏng sắp xếp tuần hoàn và (b) độ điện thẩm hiệu dụng của lưới dây bạc theo tần số với $r = 5 \mu\text{m}$, $a = 40 \text{ mm}$ và độ dẫn của bạc là $\sigma = 6,3 \times 10^7 \text{ Sm}^{-1}$	6
Hình 1.3. Sơ đồ cấu trúc của vòng cộng hưởng có rãnh (Split Ring Resonator – SRR) và các cấu trúc SRR trong dây tuần hoàn.....	7
Hình 1.4. Nguyên lý hoạt động của SRR để tạo ra $\mu < 0$	8
Hình 1.5. Dạng tổng quát của độ từ thẩm hiệu dụng cho mô hình SRR với giả thiết là vật liệu không có tổn hao	9
Hình 1.6. a) Cấu trúc SRR và phân cực của sóng điện từ, b) Sự biến đổi từ cấu trúc SRR thành cấu trúc cặp dây bị cắt (cut-wire pair - CWP).....	10
Hình 1.7. a) Cấu trúc SRR; cấu trúc dây kim loại bị cắt (CW), định hướng của điện trường ngoài, b) Mô hình mạch điện LC tương đương.....	10
Hình 1.8. Biểu đồ giải thích phân thực âm của chiết suất. Các mũi tên cho thấy vị trí của độ điện thẩm ϵ và độ từ thẩm μ trong mặt phẳng phức.	11
Hình 1.9. Nguyên tắc hoạt động của siêu thấu kính dựa trên vật liệu biến hóa có chiết suất âm.....	13
Hình 1.10. Nguyên lý hoạt động của áo choàng tàng hình.	14
Hình 1.11. (a) Cấu trúc CWP, (b) giản đồ lai hóa, (c) phổ truyền qua của cấu trúc một CW và một cặp CW (CWP).....	15
Hình 1.12. Phân bố của điện trường và từ trường tương ứng với cộng hưởng a), b) đối xứng và c), d) bất đối xứng của cấu trúc CWP có hai thanh bằng vàng chiều dài 300 nm bề dày 10 nm và cách nhau 40 nm.....	15
Hình 1.13. a) Ô cơ sở của cấu trúc CWP hai lớp b) mặt cắt của cấu trúc CWP hai lớp và c) mô hình lai hóa bậc hai đề xuất với cấu trúc này.....	17

Hình 1.14. Giảm đồ lai hóa cho cấu trúc CWP ba lớp.....	20
Hình 2.1. Sơ đồ quá trình nghiên cứu.	24
Hình 2.2.a) Cấu trúc SRR và phân cực của sóng điện từ, b) Sự biến đổi từ cấu trúc SRR thành cấu trúc CWP.....	25
Hình 2.3. Quá trình biến đổi vật liệu biến hóa từ cấu trúc SRR sang cấu trúc CWP và đến cấu trúc đĩa.....	26
Hình 2.4. a) Ô cơ sở của vật liệu biến hóa có cấu trúc cặp dây bị cắt, gồm 3 lớp: hai lớp kim loại hai bên và lớp điện môi ở giữa, b) mạch tương đương LC của cấu trúc.	21
Hình 2.5. Mô hình mạch LC cho một ô cơ sở của cấu trúc CWP:(a) Hai tấm CWP của hai ô cơ sở cạnh nhau có thể sử dụng mạch điện tương đương LC để mô tả, (b) mạch điện tương đương LC mô tả cho một ô cơ sở; điểm 1 và 2 là tương đương do tính chất tuần hoàn, (c và d) các mode đối song và song song tương ứng với cộng hưởng từ và cộng hưởng điện	22
Hình 2.6. a) Ô cơ sở của vật liệu biến hóa có cấu trúc đĩa, gồm 3 lớp: hai lớp kim loại hai bên và lớp điện môi ở giữa, b) mạch tương đương LC của cấu trúc.	28
Hình 2.7. Mô hình mạch điện LC cho cấu trúc lưới đĩa	30
Hình 2.8. Giao diện mô phỏng CST.....	33
Hình 2.9. Mô phỏng: (a) phân bố dòng điện mặt bên, (b) dòng mặt trước, dòng mặt sau năng lượng trên đĩa tròn, tại tần số $f_m = 13.93$ GHz.....	33
Hình 3.1.(a) Ô cơ sở của cấu trúc đĩa hai lớp các tham số cấu trúc $a_x = 8$ mm, $a_y = 7.5$ mm, $t_d = 0.4$ mm, $t_m = 0.036$ mm, $R = 3$ mm, (b) mô hình lai hóa bậc hai đề xuất với cấu trúc đĩa hai lớp.	36
Hình 3.2. Phổ truyền qua (a) mô phỏng d thay đổi từ 0.4 mm đến 3.2 mm (b) sự phụ thuộc của phần thực độ từ thẩm vào d, t_d được giữ cố định ở 0.4 mm. Tất cả các tham số khác không thay đổi.	37

- Hình 3.3. Phổ truyền qua (a) mô phỏng t_d thay đổi từ 0.1 mm đến 1.0 mm, (b) Sự phụ thuộc của phần thực độ từ thẩm vào d , giữ cố định $d = 1.6$ mm trong khi t_d biến đổi. Tất cả các tham số khác không thay đổi..... 38
- Hình 3.4. Phổ truyền qua vật liệu cấu trúc đĩa hai lớp khi góc phân cực của sóng điện từ thay đổi từ 0^0 tới 30^0 39
- Hình 3.5. Ô cơ sở của cấu trúc lưới đĩa hai lớp và cách phân cực của sóng điện từ với các tham số cấu trúc $a_x = 8$ mm và $a_y = 7.5$ mm, bán kính đĩa $R = 3.5$ mm, độ rộng thanh kim loại liên tục $w = 1.0$ mm. Chiều dày lớp điện môi là $t_d = 0.4$ mm. 40
- Hình 3.6. Ảnh hưởng của khoảng cách hai lớp lưới đĩa lên a) Phổ truyền qua mô phỏng và chiết suất b) Phần thực của độ từ thẩm và độ điện thẩm..... 41
- Hình 3.7. Phân bố dòng trong các đĩa tại hai mode cộng hưởng a) Tại mode tần số thấp, b) Tại mode có tần số cao..... 44
- Hình 3.8. Sự phụ thuộc của a) Phổ truyền qua mô phỏng (phía trên) và chiết suất (phía dưới); b) Độ từ thẩm và điện thẩm vào độ dày lớp điện môi khi giữ cố định khoảng cách hai lớp là $d = 0.8$ mm. Tất cả các tham số khác không thay đổi. 46
- Hình 3.9. Sự phụ thuộc của a) Phổ truyền qua mô phỏng; b) Độ từ thẩm và điện thẩm vào bề rộng của dây liên tục khi giữ cố định khoảng cách hai lớp là $d = 0.8$ mm. Tất cả các tham số khác không thay đổi..... 49
- Hình 3.10. Sự phụ thuộc của a) Phổ truyền qua mô phỏng; b) Độ từ thẩm và điện thẩm vào bề rộng của dây liên tục khi giữ cố định khoảng cách hai lớp là $d = 0.8$ mm. Tất cả các tham số khác không thay đổi..... 51