

SPM'S
2023



SPM'S
2023

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, 5 – 7/11/2023

HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIII

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

QUYỂN 1



HỘI NGHỊ VẬT LÝ CHẤT RẮN
VÀ KHOA HỌC VẬT LIỆU TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIII

QUYỂN 1

ISBN: 978-604-471-702-9



SÁCH KHÔNG BÁN



NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI

MỤC LỤC

HIGHLY EFFECTIVE ELECTROMAGNETIC WAVE ATTENUATION USING COMPOSITES MADE OF $\text{Cu}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ FERRITE AND POROUS CARBON BASED ON RICE HUSK, Pham Van Thin, Nguyen Thi Thanh, Nguyen Xuan Thau, Nguyen Van Tuan, Le Dinh Vi, Nguyen Tran Ha, Nguyen Vu Tung, Tran Quang Dat*	1
CẤU TRÚC, TÍNH CHẤT TỪ VÀ ĐÓT NÓNG CẢM ỨNG TRONG CÁC HẠT NANO LỖI/VỎ $\text{CoFe}_2\text{O}_4@ \text{Fe}_3\text{O}_4$, Lê Thị Hồng Phong, Phạm Hồng Nam, Tạ Ngọc Bách, Phạm Thanh Phong, Ivan Skorvanek, Đỗ Hùng Mạnh*	7
TỐI ƯU VÀ MÔ HÌNH HÓA CÁC ĐIỀU KIỆN CHẾ TẠO HẠT NANO Fe_3O_4 BẰNG PHƯƠNG PHÁP RSM VÀ ANN-PSO, Vũ Đức Lân, Tạ Thị Kiều Hạnh, Nguyễn Phước Trung Hòa, Vũ Năng An, Võ Hoa Sơn, Lê Văn Hiếu	12
MAGNETIC AND MICROWAVE ABSORPTION PROPERTIES OF $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{SiO}_2$ NANOCOMPOSITES WITH CORE- SHELL STRUCTURE, Nguyen Anh Duc*, Tran Thi Viet Nga, Nguyen Van Quang and Nguyen Truong Giang	17
CHẾ TẠO VÀ NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHA TẠP ION Mo VÀO CÁC HẠT NANO $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, Đào Thị Thủy Nguyệt*, Lương Ngọc Anh, Nguyễn Phúc Dương	21
NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC VÙNG LẶN CẬN CỦA HẠT NANO PHERIT ĐỒNG THÔNG QUA PHÂN TÍCH PHỔ EXAFS, Tô Thanh Loan*, Nguyễn Kim Thanh	26
MÔ PHỎNG ĐIỀU KHIỂN TÍNH CHẤT CỘNG HƯỞNG TỪ CỦA VẬT LIỆU BIẾN HÓA NHẪM NÂNG CAO HIỆU SUẤT TRUYỀN NĂNG LƯỢNG KHÔNG DÂY, Bùi Hữu Nguyên*, Lê Đắc Tuyên, Tống Bá Tuấn, Nguyễn Thị Diệu Thu, Hồ Quỳnh Anh, Ngô Như Việt, Bùi Xuân Khuyển, Vũ Đình Lâm	31
HIỆU ỨNG THAY THẾ BI LÊN TÍNH CHẤT ĐIỆN VÀ TÍNH CHẤT TỪ CỦA PEROVSKITE KÉP $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ CÓ KÍCH THƯỚC NANO MÉT, Đào Thị Thủy Nguyệt, Nguyễn Phúc Dương, Nguyễn Văn Quy, Lương Ngọc Anh*	35
ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN CÔNG NGHỆ ĐẾN TÍNH CHẤT VẬT LIỆU NANO SIÊU THUẬN TỪ CẤU TRÚC SPINEL ZnFe_2O_4 , Lê Doãn Phúc, Ngô Thị Quỳnh Trang, Bùi Văn Việt, Phạm Tiến Thành, Hồ Thị Anh, Nguyễn Huy Tiệp, Phạm Đức Thắng, Lê Anh Tuấn, Nguyễn Thị Minh Hồng*	40
ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ DÀY LÊN TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU MÀNG BFO PHA TẠP ION Nd^{3+} , Ngô Thu Hương	45
NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHA TẠP Gd ĐẾN HIỆU ỨNG SINH NHIỆT CỦA HỆ HẠT NANO $\text{CoGd}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$, Nguyễn Trọng Hùng, Lưu Hữu Nguyên, Lê Thế Tâm, Nguyễn Hoài Nam, Phan Thị Hồng Tuyết, Phạm Thanh Phong, Phạm Hồng Nam*	49
ĐẶC TRƯNG MULTIFERROIC CỦA VẬT LIỆU NANO TỔ HỢP $0,8\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3-0,2\text{NiFe}_2\text{O}_4$, Trần Đăng Thành*, Đào Sơn Lâm, Nguyễn Thị Việt Chinh, Đinh Chí Linh, Trần Bảo Trung, Phạm Hồng Nam, Đặng Đức Dũng	53
ẢNH HƯỞNG CỦA Na LÊN CHUYỂN PHA TỪ CỦA MANGANITE $\text{La}_{0,7}\text{Ca}_{0,3}\text{MnO}_3$, Nguyễn Thị Dung, Nguyễn Thị Việt Chinh, Đinh Chí Linh, Đào Sơn Lâm, Nguyễn Thị Ngọc Anh, Đỗ Hùng Mạnh, Lê Viết Bái, Trần Đăng Thành*	58
NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG MỞ RỘNG VÙNG HẤP THỤ SÓNG ĐIỆN TỪ CỦA VẬT LIỆU BIẾN HÓA BẰNG CÁCH THAY ĐỔI TÍNH ĐỐI XỨNG CỦA CẤU TRÚC Ô CƠ SỞ,	

Tổng Bá Tuấn*, Bùi Hữu Nguyên**, Lê Đắc Tuyên, Hồ Quỳnh Anh, Nguyễn Thị Hậu, Vũ Đình Lâm	63
DỰ ĐOÁN SỰ HẤP THỤ CỦA SIÊU VẬT LIỆU HẤP THỤ SÓNG GHz BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỌC MÁY, Nguyễn Thanh Sơn, Nguyễn Hoàng Tùng*, Nguyễn Thanh Tùng*	68
ẢNH HƯỞNG CỦA QUÁ TRÌNH Ủ NHIỆT LÊN CẤU TRÚC VÀ TÍNH CHẤT TỪ CỦA CÁC HẠT NANO NiFe_2O_4 CHẾ TẠO BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỦY NHIỆT KẾT HỢP VI SÓNG, N.D. Xuan, P.H. Trinh, K.T.H. My, T. D. Hung, N.N.H, A-T. Le, P.D. Thang, T.A. Ho*	72
NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC, TÍNH CHẤT TỪ VÀ CƠ CỦA CÁC BĂNG HỢP KIM NHỎ HÌNH $\text{Ni}_{50-x}\text{Co}_x\text{Mn}_{50-y}\text{Al}_y$ ($x = 7 - 13$, $y = 15$), Kiều Xuân Hậu*, Nguyễn Hải Yến, Phạm Thị Thanh, Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Huy Ngọc, Trương Việt Anh, Đinh Chí Linh, Nguyễn Huy Dân	76
ẢNH HƯỞNG CỦA PHA PEROVSKITE $\text{Bi}(\text{Ti}_{0,5}\text{Mn}_{0,5})\text{O}_3$ LÊN CẤU TRÚC VÀ TÍNH CHẤT QUANG CỦA VẬT LIỆU ĐA CHỨC NĂNG BiFeO_3 , Nguyễn Ngọc Minh*, Vũ Thị Huế, Vũ Thu Hiền, Phạm Quang Tú, Phạm Ngọc Thắng, Ngô Đức Quân*	82
XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ ĐÀN HỒI VÀ KÍCH THƯỚC TINH THỂ CỦA NANO MnFe_2O_4 TỪ NHIỀU XẠ TIA X VÀ PHỔ FTIR, Trần Thị Ngọc Nhã, Phạm Hồng Nam, Đỗ Hùng Mạnh, Trần Đăng Thành, Phạm Thanh Phong*	87
TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA CÁC HẠT $\text{Y}_{3-2x}\text{Ca}_{2x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ CHẾ TẠO BẰNG PHƯƠNG PHÁP SOL-GEL, Đào Thị Thủy Nguyệt*, Trần Thị Thu Uyên, Mai Chí Cẩn, Ngô Tuấn Thành, Nguyễn Việt Hoàng, Vũ Phi Hùng	95
NGHIÊN CỨU TƯƠNG QUAN CẤP VÀ KÍCH THƯỚC PHA TINH THỂ CỦA MÀNG DẪN PROTON BẰNG HÀM PHÂN BỐ CẤP, Nguyễn Mạnh Tuấn, Đinh Trần Trọng Hiếu, Lâm Hoàng Hảo, Trần Hoàng Long, Võ Thị Kim Yến, Nguyễn Huỳnh Mỹ Tuệ, Đoàn Quốc Huy, Nguyễn Lê Hùng Vỹ, Đặng Thị Duyên, Hồ Minh Nhựt, Nguyễn Thành Tá, Nguyễn Hữu Công, Phạm Nguyễn Thành Vinh, Trần Duy Tập*	100
MAGNETIC PROPERTIES AND MICROWAVE ABSORBING CHARACTERISTICS OF $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}@\text{CoFe}_2\text{O}_4$ NANOCOMPOSITES WITH CORE-SHELL STRUCTURE, Mai Ngọc Đình, T. T. V. Nga, Hien Quang Dinh and Nguyen Truong Giang	105
CẤU TRÚC VÀ TÍNH CHẤT TỪ CỦA NANO TINH THỂ Gd_2O_3 PHA TẠP Fe DẠNG SỢI CHẾ TẠO BẰNG KỸ THUẬT SOL-GEL, Trần Thị Hà Giang, Nguyễn Thị Việt Chinh, Đào Sơn Lâm, Tạ Ngọc Bách, Trần Đăng Thành, Ngô Văn Thanh*	110
KHÁM PHÁ MÀU SẮC BẤT ĐỐI XỨNG CỦA MÀNG QUANG TỬ KEO $\text{Ag}@\text{Fe}_3\text{O}_4$ VỚI KÍCH THƯỚC KHÁC NHAU, Ngô Thị Quỳnh Trang, Phạm Thị Hiền, Trần Văn Tân*, Hoàng Văn Tuấn*	115
ỨNG DỤNG CỤM Fe_3O_4 SIÊU THUẬN TỪ TRONG CHẾ TẠO TINH THỂ QUANG TỬ KEO ĐÁP ỨNG NHANH VỚI TỪ TRƯỜNG, Phạm Thị Hiền, Ngô Thị Quỳnh Trang, Trần Văn Tân*, Hoàng Văn Tuấn*	120
NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO HỆ HẠT NANO LỖI-VỎ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ ỨNG DỤNG TRONG TẢI THUỐC, Phạm Hoài Linh*, Trần Thị Hương, Nguyễn Hồng Nhung, Nguyễn Tiến Dũng, Nguyễn Văn Biên, Nguyễn Thị Ngọc Anh, Lê Quang Thang, Trần Văn Hiếu	125

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG MỞ RỘNG VÙNG HẤP THỤ SÓNG ĐIỆN TỪ CỦA VẬT LIỆU BIẾN HÓA BẰNG CÁCH THAY ĐỔI TÍNH ĐỐI XỨNG CỦA CẤU TRÚC Ô CƠ SỞ

Tổng Bá Tuấn^{1*}, Bùi Hữu Nguyên^{1**}, Lê Đắc Tuyên¹, Hồ Quỳnh Anh¹,
Nguyễn Thị Hậu¹, Vũ Đình Lâm²

¹Bộ môn Vật lý, Trường Đại học Mô-Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội;

²Học viện Khoa học và Công nghệ, VAST, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội;

*Email: tongbatuan208@gmail.com;

** Corresponding authors: buihuonguyen@humg.edu.vn

Tóm tắt:

Vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ dải rộng ở vùng khả kiến đang được quan tâm nghiên cứu trong những năm gần đây vì có nhiều ứng dụng trong thực tế như làm lớp phủ chống phản xạ, lớp hấp thụ và chuyển đổi năng lượng mặt trời, cảm biến. Tuy nhiên các nghiên cứu trước đây cho thấy phổ hấp thụ của vật liệu biến hóa còn rời rạc và hẹp. Vì vậy mở rộng dải hấp thụ của vật liệu biến hóa cần được tiếp tục nghiên cứu và tối ưu. Trong báo cáo này, chúng tôi nghiên cứu mở rộng vùng hấp thụ sóng điện từ của vật liệu biến hóa trong vùng khả kiến bằng cách thay đổi tính đối xứng của cấu trúc ô cơ sở vật liệu. Tâm vật liệu biến hóa được cấu tạo từ các ô cơ sở có kích thước $1,4 \times 1,4\sqrt{3} \mu\text{m}^2$. Ô cơ sở gồm lớp điện môi SiO_2 giữa lớp kim loại liên tục và cấu trúc cộng hưởng với sóng điện từ được làm bằng Tungsteng. Kết quả mô phỏng bằng phần mềm CST STUDIO SUITE 2019 cho thấy cấu trúc ô cơ sở có tính bất đối xứng hình học đạt độ hấp thụ trên 85% liên tục trong vùng tần số 489 - 627 THz (bước sóng 478 - 613 nm). Ngoài ra, cơ chế hấp thụ được phân tích và lý giải dựa trên cơ chế mô hình mạch điện tương đương và phân bố mật độ điện từ. Những kết quả nghiên cứu đạt được góp phần bổ sung thêm lý thuyết và định hướng thực nghiệm chế tạo vật liệu biến hóa hấp thụ dải rộng vùng khả kiến.

Từ khóa: Vật liệu biến hóa, cấu trúc bất đối xứng, hấp thụ tuyệt đối

GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, vật liệu biến hóa (MMs) hấp thụ sóng điện từ ngày càng thu hút nhiều nghiên cứu do vật liệu này hứa hẹn nhiều tiềm năng ứng dụng trong thực tiễn đời sống. Một số ứng dụng tiêu biểu như: làm lớp che phủ tàng hình trước sóng rada, cảm biến, nâng cao hiệu năng chuyển đổi năng lượng mặt trời [1-3].

Vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ có cấu trúc nhân tạo đầu tiên được đề xuất và thử nghiệm bởi Landy năm 2008. Thông qua điều khiển các tham số cấu trúc MMs, kết quả nghiên cứu đã thu được độ hấp thụ trên 88% tại 11,5 GHz [4]. Dựa trên cơ sở nghiên cứu của Landy, đã có nhiều nghiên cứu khai thác các cấu trúc MMs đơn giản hơn trong việc chế tạo mà vẫn cho độ hấp thụ cao như cấu trúc đĩa tròn [5], cấu trúc cut-wire pair [6]. Các nghiên cứu thu được độ hấp thụ cao (>80%) dựa trên cơ sở điều khiển trùng khớp các cộng hưởng điện và từ. Tuy nhiên các nghiên cứu vẫn cho dải hấp thụ hẹp dẫn tới hạn chế ứng dụng của vật liệu này vào đời sống.

Gần đây, để mở rộng dải hấp thụ đã có nhiều đề

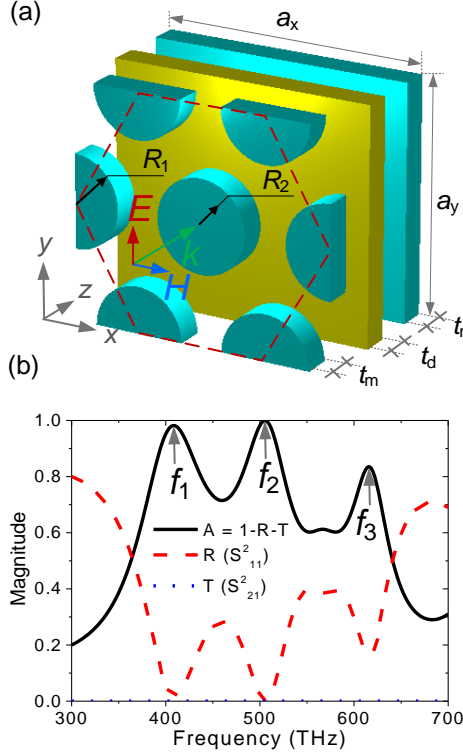
xuất được đưa ra như sử dụng nhiều lớp vật liệu MMs [7], sử dụng cấu trúc kết hợp nhiều vòng cộng hưởng tại THz [8]. Dựa trên cơ chế sử dụng nhiều cấu trúc cộng hưởng liên kết, những nghiên cứu này đã cho được nhiều đỉnh hấp thụ, tuy nhiên các đỉnh hấp thụ còn rời rạc chưa liên tục do bị giới hạn kích thước chế tạo.

Để vượt qua những thách thức trên, trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất một phương pháp đơn giản nhưng hiệu quả để mở rộng dải hấp thụ của vật liệu MMs thông qua thay đổi tính chất liên tục, đối xứng của cấu trúc ô cơ sở gồm 7 đĩa tròn được sắp xếp trên 6 đỉnh và tâm của 1 lục giác đều đã được đề xuất nghiên cứu trước đây ở vùng THz [9]. Cơ chế mở rộng dải hấp thụ được giải thích dựa trên cơ chế mô hình mạch dao động LC và phân bố năng lượng điện-từ trường.

THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG

Hình 1(a) mô tả cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa. Ô cơ sở có kích thước $a_x = 1,4 \mu\text{m}$, $a_y = 1,4\sqrt{3} \mu\text{m}$, được cấu tạo bởi ba lớp vật liệu. Lớp thứ nhất của ô cơ sở gồm 6 nửa đĩa tròn bán kính R_1 có tâm nằm trên 6 đỉnh của hình lục giác đều và 1 đĩa tròn bán kính R_2 có tâm trùng với tâm lục giác đều. Các

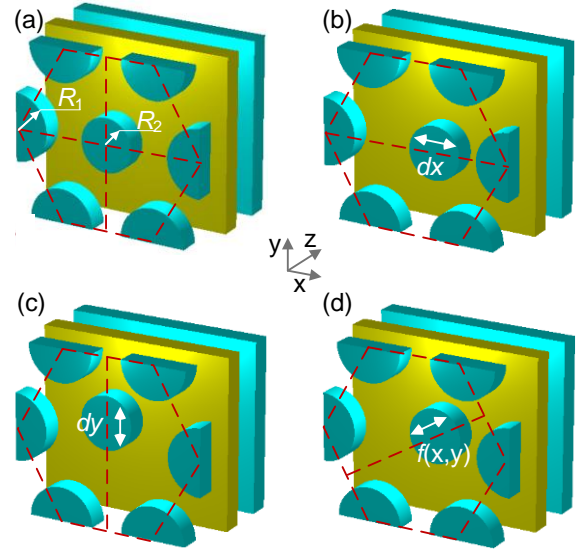
đĩa được làm bằng kim loại Tungsten có độ dày $t_m = 0,05 \mu\text{m}$ với bán kính $R_1 = R_2 = 0,24 \mu\text{m}$. Lớp thứ hai là lớp điện môi SiO_2 có độ dày $t_d = 0,05 \mu\text{m}$ và hằng số điện môi $\epsilon = 4$. Lớp thứ 3 là tấm kim loại Tungsten có độ dày $t_m = 0,05 \mu\text{m}$. Các thành phần E, H, k của sóng điện từ tới vật liệu được mô tả trên Hình 1(a).



Hình 1: (a) Ô cơ sở MMs, (b) phổ hấp thụ của cấu trúc MMs với $R_1 = R_2 = 0,24 \mu\text{m}$.

Hình 1(b) mô tả phổ phản xạ, truyền qua và hấp thụ của ô cơ sở vật liệu biến hóa với các tham số cấu trúc như Hình 1(a). Phổ truyền qua rất nhỏ, gần như bằng không (có thể bỏ qua) và phổ phản xạ thấp tại 3 tần số $f_1 = 408,0 \text{ THz}$, $f_2 = 505,2 \text{ THz}$, $f_3 = 617,7 \text{ THz}$. Do vậy độ hấp thụ tại 3 tần số này là lớn, được xác định theo công thức $A = 1 - T - R$. Trong đó có hai đỉnh hấp thụ lớn hơn 90% tại f_1, f_2 , và một đỉnh hấp thụ hẹp đạt 80% tại f_3 .

Hình 2 mô tả cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa khi thay đổi kính thước đĩa tròn R_2 và tính đối xứng của cấu trúc. Hình 2(a) mô tả bán kính đĩa tròn R_2 giảm từ $0,24 \mu\text{m}$ đến $0,19 \mu\text{m}$. Hình 2(b) thể hiện đĩa tròn R_2 trong dịch chuyển theo trục x một khoảng dx . Hình 2(c) cấu trúc bất đối xứng khi dịch chuyển đĩa tròn R_2 theo trục y một đoạn dy . Hình 2(d) mô tả cấu trúc ô cơ sở bất đối xứng khi dịch chuyển đĩa tròn theo trục x và y với quan hệ $y = x \times \tan(\pi/6)$.

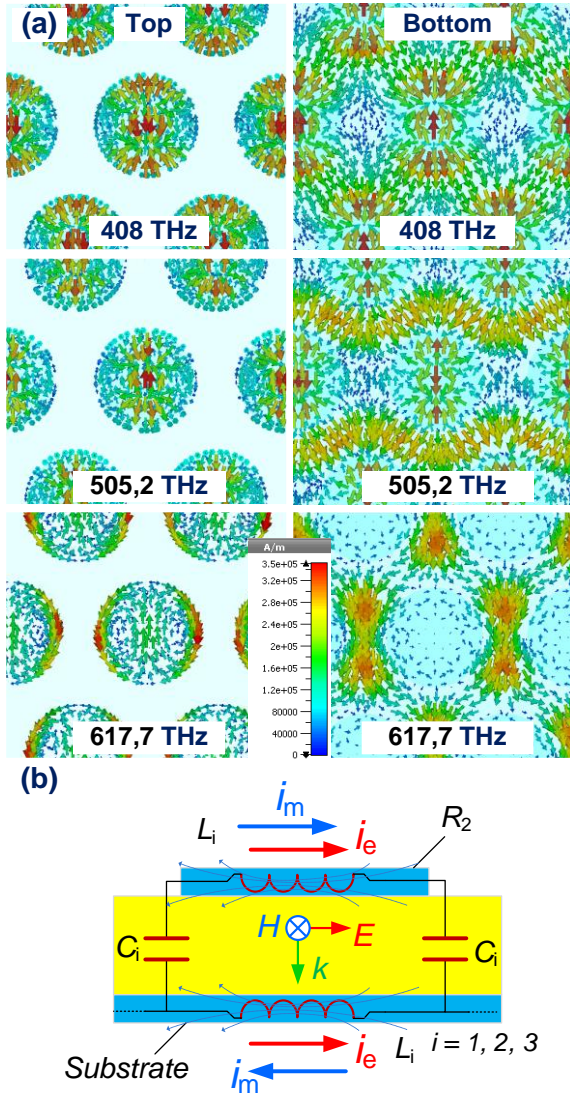


Hình 2: Quá trình thay đổi tính đối xứng của cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa. (a) Cấu trúc hốc cộng hưởng với $R_1 = 0,24 \mu\text{m}$, $R_2 = 0,19 \mu\text{m}$. (b) Dịch chuyển đĩa R_2 theo trục x . (c) Dịch chuyển đĩa R_2 theo trục y . (d) Dịch chuyển đĩa R_2 theo trục x và y với quan hệ $y = x \times \tan(\pi/6)$.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hiện tượng hấp thụ sóng điện từ của MMs được thực hiện do sự tương tác cộng hưởng giữa các thành phần E, H của sóng tới với cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa. Năng lượng của sóng tới bị hấp thụ và tiêu hao chuyển hóa thành các dạng năng lượng khác như năng lượng từ trường, năng lượng điện trường và năng lượng nhiệt do tổn hao điện trở trên các thành phần kim loại của cấu trúc. Để phân tích tương tác giữa sóng tới với cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa, chúng tôi sử dụng phân bố mật độ dòng điện, từ trường, điện trường thông qua phần mềm mô phỏng CST STUDIO SUITE 2019 và mô hình mạch dao động LC để giải thích và phát triển nâng cao khả năng hấp thụ của vật liệu.

Hình 3(a) trình bày phân bố dòng điện bề mặt trên lớp đĩa kim loại (bên trái) và lớp tấm kim loại liên tục (bên phải) tại các tần số $f_1 = 408,0 \text{ THz}$, $f_2 = 505,2 \text{ THz}$ và $f_3 = 617,7 \text{ THz}$. Kết quả cho thấy tại tần số f_1, f_2 dòng điện trên đĩa kim loại ngược chiều với dòng điện trên tấm kim loại liên tục, tại tần số f_3 dòng điện trên hai lớp kim loại cùng chiều. Để giải thích kết quả phân bố dòng điện tại các tần số cộng hưởng trên, cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa được mô hình hóa bằng mạch điện LC tương đương như Hình 3(b).



Hình 3: (a) Phân bố dòng điện bề mặt đĩa (Top) và tấm kim loại liên tục (Bottom) tại các tần số cộng hưởng $f_1 = 408,0$ THz, $f_2 = 505,2$ THz, $f_3 = 617,7$ THz, khi chưa thay đổi tính liên tục và đối xứng của ô cơ vật liệu biến hóa. (b) Sơ đồ mạch điện LC tương đương.

Tại tần số f_1 và f_2 dòng điện bề mặt trên đĩa và đế kim loại tạo thành dòng điện cộng hưởng từ khép kín i_m . Dòng điện i_m được sinh ra do hiệu ứng cảm ứng từ khi thành phần từ trường H của sóng tới tương tác cộng hưởng với cấu trúc ô cơ sở. Do vậy hấp thụ tại hai tần số f_1 và f_2 gây ra bởi cộng hưởng từ. Tại tần số f_3 mật độ dòng điện chủ yếu tập trung tại các cạnh của đĩa i_e . Kết quả cho thấy dòng điện tại cạnh đĩa cùng chiều với dòng điện trên tấm kim loại liên tục. Dòng điện i_e này được sinh ra do tương tác cộng hưởng điện giữa thành phần E của sóng tới với cấu trúc ô cơ sở vật liệu biến hóa như mô tả trên hình 3(b).

Hệ số hấp thụ A của vật liệu biến hóa được xác

định bằng thí nghiệm [1]

$$A = 1 - R - T = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (1)$$

Ở đây hệ số phản xạ $R = |S_{11}|^2$ và hệ số truyền qua $T = |S_{21}|^2$ được xác định từ mô phỏng. Từ phương trình này, hệ số phản xạ và truyền qua càng nhỏ thì hệ số hấp thụ A càng lớn. Hệ số truyền qua của vật liệu biến hóa có thể coi bằng không khi cấu trúc lớp dưới là tấm kim loại. Do đó hệ số hấp thụ đạt giá trị lớn nhất khi hệ số phản xạ R đạt giá trị nhỏ nhất.

Để hiểu về cơ chế hấp thụ của vật liệu biến hóa chúng ta nghiên cứu điều kiện phối hợp trở kháng [1]

$$z = \sqrt{\frac{(1 + S_{11}^2)^2 - S_{21}^2}{(1 - S_{11}^2)^2 - S_{21}^2}} = \frac{1 + R}{1 - R} \quad (2)$$

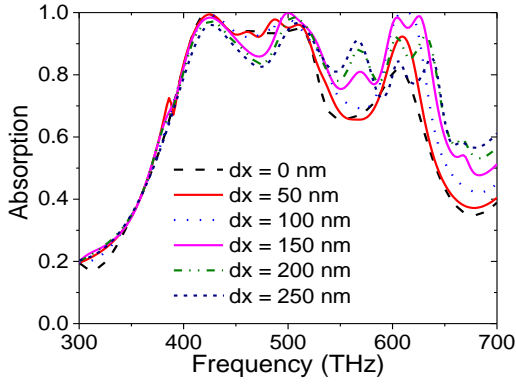
Kết hợp (1) và (2) kết quả thu được biểu thức hệ số hấp thụ

$$A = \frac{2}{\text{Re}(z) + i \text{Im}(z) + 1} = \frac{2[\text{Re}(z) + 1]}{[\text{Re}(z) + 1]^2 + \text{Im}(z)^2} - i \frac{2 \text{Im}(z)}{[\text{Re}(z) + 1]^2 + \text{Im}(z)^2} \quad (3)$$

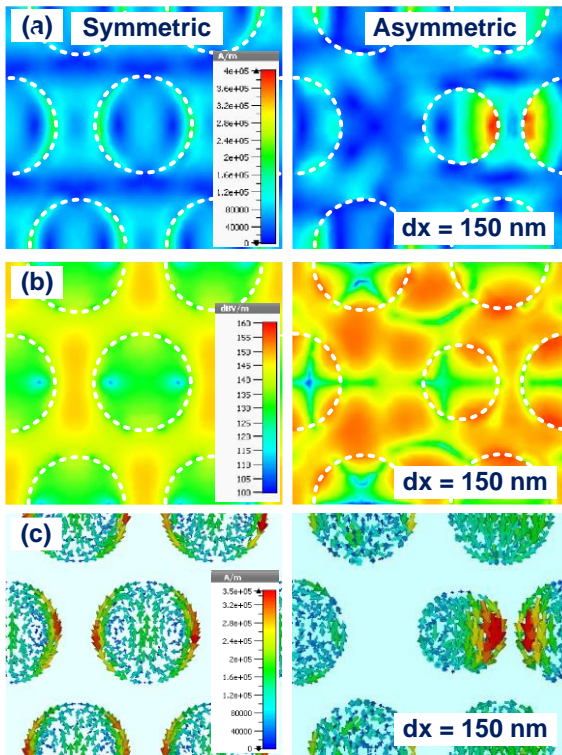
Trong trường hợp vật liệu hấp thụ tuyệt đối thì $A = 1$, phần thực của trở kháng sẽ có giá trị bằng giá trị điện trở của chân không. $\text{Re}(z) = 1$, và phần ảo $\text{Im}(z) = 0$.

Để tăng cường độ hấp thụ của vật liệu biến hóa, chúng tôi đã thay đổi cấu trúc tính liên tục và thay đổi tính đối xứng của cấu trúc bằng cách giảm bán kính R_2 của đĩa tròn trung tâm tới 0,19 μm và đồng thời dịch chuyển đĩa tròn này theo các trục x , y , và đường chéo $y = x \times \tan(\pi/6)$.

Hình 4 trình bày phổ hấp thụ sóng điện từ của cấu trúc bất đối xứng khi dịch chuyển đĩa R_2 theo trục x một khoảng dx lần lượt là 50 nm, 100 nm, 150 nm, 200 nm, và 250 nm. Kết quả cho thấy khi chưa dịch chuyển đĩa R_2 ($dx = 0$) cấu trúc cho hai dải hẹp có độ hấp thụ đạt trên 85% từ tần số 401 THz đến 525 THz (124 THz). Khi $dx = 150$ nm, vùng tần số có độ hấp thụ trên 85% được mở rộng từ 401 THz đến 535 THz (134 THz) và từ 590 THz đến 637 THz (47 THz).



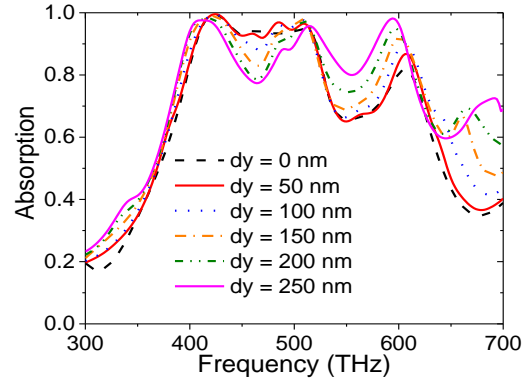
Hình 4: Phổ hấp thụ khi dịch chuyển đĩa R_2 theo trục x một lượng dx .



Hình 5: (a) Phân bố mật độ từ trường, (b) mật độ điện trường (b) và (c) dòng điện cảm ứng tại tần số $f_3 = 617,7$ THz trước khi dịch chuyển (cấu trúc đối xứng) và sau khi dịch chuyển $dx = 150$ nm (cấu trúc bất đối xứng).

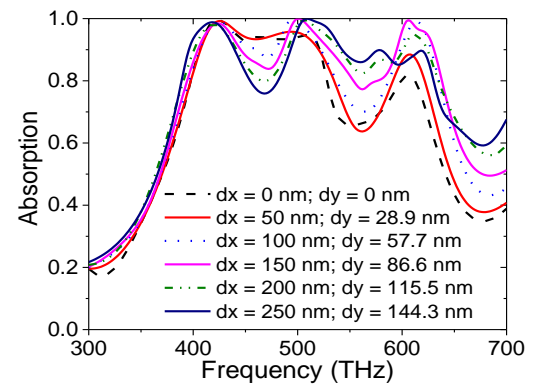
Hình 5(a) và 5(b) so sánh phân bố mật độ từ trường và mật độ điện trường tại tần số $f_3 = 617,7$ THz trước khi dịch chuyển (cấu trúc đối xứng) và sau khi dịch chuyển $dx = 150$ nm (bất đối xứng). Kết quả cho thấy từ trường trên cấu trúc bất đối xứng có mật độ 4×10^5 A/m cao hơn nhiều so với cấu trúc đối xứng ban đầu có mật độ 2×10^5 A/m. Đối với mật độ phân bố điện trường, kết quả cho thấy trên cấu trúc bất đối xứng cho mật độ phân bố điện trường ~ 160 dBV/m cao hơn so với mật độ phân bố điện

trường trên cấu trúc đối xứng ban đầu ~ 15 dBV/m. Hình 5(c) so sánh mật độ dòng điện bề mặt tại lớp đĩa giữa cấu trúc đối xứng ban đầu và cấu trúc bất đối xứng $dx = 150$ nm. Do tương tác điện từ giữa các đĩa tròn được tăng cường khi cấu trúc tăng tính bất đối xứng, kết quả cho thấy mật độ phân bố dòng điện bề mặt trên cấu trúc bất đối xứng cao hơn so với cấu trúc đối xứng. Như vậy qua các kết quả phân tích trên cho thấy năng lượng của sóng tới tại tần số f_3 được hấp thụ tốt hơn do tăng cường cộng hưởng điện trên cấu trúc ô cơ sở bất đối xứng. Điều này dẫn tới độ hấp thụ tại f_3 được tăng lên từ 80% (ở cấu trúc đối xứng) đến $> 95\%$ ở cấu trúc bất đối xứng).



Hình 6: Phổ hấp thụ của cấu trúc khi dịch chuyển đĩa theo trục y một lượng dy .

Hình 6 mô tả phổ hấp thụ sóng điện từ của cấu trúc bất đối xứng khi dịch chuyển đĩa R_2 theo trục y một khoảng dy lần lượt tại 50 nm, 100 nm, 150 nm, 200 nm, và 250 nm. Kết quả cho thấy khi dịch chuyển đĩa R_2 phổ hấp thụ của cấu trúc cũng được mở rộng. Tại $dy = 250$ nm thu được 3 dải hấp thụ với độ hấp thụ trên 85%. Dải hấp thụ thứ nhất từ 391 THz đến 441 THz (50 THz), dải hấp thụ thứ hai từ 482 THz đến 538 THz (56 THz), và dải hấp thụ thứ ba từ 570 THz đến 611 THz (41 THz).



Hình 7: Phổ hấp thụ của cấu trúc khi dịch chuyển đĩa R_2 theo trục x và y với quan hệ $y = x \times \tan(\pi/6)$.

Hình 7 mô tả phổ hấp thụ của tấm vật liệu biến hóa có ô cơ sở bị thay đổi cấu trúc đối xứng bằng cách dịch chuyển đĩa R_2 theo cả hai trục x và y dọc đường chéo $y = x \times \tan(\pi/6)$. Kết quả cho thấy cấu trúc bất đối xứng theo cả trục x và y cho độ mở rộng phổ hấp thụ tối ưu. Khi $dx = 250$ nm, $dy = 144,3$ nm vùng hấp thụ với độ hấp thụ trên 85% đạt được lớn nhất 197 THz, từ tần số 390 THz đến 449 THz (59 THz) và từ tần số 489 THz đến 627 THz (138 THz).

KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã khảo sát và mô phỏng ảnh hưởng của tham số cấu trúc lên tính chất hấp thụ của vật liệu biến hóa. Bằng cách thay đổi tính chất đối xứng cấu trúc ô cơ sở MMs, vùng tần số hấp thụ của vật liệu được mở rộng từ 390 - 449 THz (bước sóng 668 – 769 nm) và từ 489 - 627 THz (bước sóng 478 – 613 nm) với độ hấp thụ trên 85% khi đĩa kim loại R_2 lệch khỏi vị trí đối xứng $dx = 250$ nm và $dy = 144,3$ nm. Kết quả nghiên cứu góp phần định hướng chế tạo vật liệu biến hóa hấp thụ dải rộng vùng khả kiến.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Mở - Địa chất trong đề tài mã số T23-18.

Tài liệu tham khảo

1. Z. Wu, X. Chen, Z. Zhang, L. Heng, S. Wang, and Y. Zou, *Applied Physics Express*, 12, p.057003 (2019).
2. S.I. Sayed, K.R. Mahmoud, and R.I. Mubarak, *Scientific Reports*, 13, p.11937 (2023).
3. B.X. Wang, C. Xu, G. Duan, W. Xu, and F. Pi, *Advanced Functional Materials*, 33, p.2213818 (2023).
4. N.I. Landy, S. Sajuyigbe, J.J. Mock, D.R. Smith, and W.J. Padilla, *Physical review letters*, 100, p.207402 (2008).
5. N.T. Tung and T. Tanaka, *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 28, pp.100-105 (2018).
6. N. Van Hieu, V.D. Lam, and N.T. Tung, *Applied Physics Express*, 8, p.032001 (2015).
7. G. Dayal and S.A. Ramakrishna, *Journal of Optics*, 15, p.055106 (2013).
8. B.X. Wang, X. Zhai, G.Z. Wang, W.Q. Huang, and L.L. Wang, *IEEE Photonics Journal*, 7, pp.1-8 (2014).
9. D. H. Luu, P. T. Linh, N. V. Cuong, T. M. Cuong, V. D. Lam, and L. D. Tuyen, *Tuyển tập Hội nghị Vật lý chất rắn và Khoa học vật liệu toàn quốc lần thứ 7 (SPMS 2017)*, 68-71 (2017).