



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Hà Nội, 12 - 11 - 2020

ERSD 2020



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



EARTH SCIENCES AND
NATURAL RESOURCES FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT

TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

TIỂU BAN

KHOA HỌC CƠ BẢN
TRONG LĨNH VỰC KHOA HỌC
TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG

MỤC LỤC

TIỂU BAN KHOA HỌC CƠ BẢN TRONG LĨNH VỰC KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG

Thống kê R trong bài toán tìm khoảng tin cậy cho tham số một tổng thể <i>Phạm Ngọc Anh, Lê Thị Hương Giang</i>	1
Tổng quan về cách tạo lỗ nano (nanopore) và ứng dụng lọc, dò một số ion tạp trong chất lỏng <i>Nguyễn Xuân Chung</i>	7
Reversion transport of carbon dioxide in the temperature inversion effect in near surface of the earth <i>Vu Ba Dung, Ho Quynh Anh, Tong Ba Tuan</i>	12
Một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng đóng rắn bùn đỏ bằng phương pháp geopolyme sử dụng chất kết dính cao lanh <i>Công Tiến Dũng, Bùi Đắc Thành, Lê Thị Phương Thảo, Nguyễn Việt Hùng, Lê Thị Duyên, Võ Thị Hạnh, Vũ Thị Minh Hồng, Nguyễn Mạnh Hà, Đặng Văn Kiên, Nguyễn Duyên Phong</i>	17
Ag⁺ ion adsorption on hydroxyapatite powder and Ag metal recovery by electrochemical method <i>Le Thi Duyen, Vo Thi Hanh, Le Thi Phuong Thao, Dinh Thi Mai Thanh</i>	24
Động lực học và điều khiển tay máy robot hai khâu đàn hồi <i>Dinh Công Đạt</i>	33
Nghiên cứu chế tạo vật liệu nano LaMnO₃ pha tạp Sr có độ xốp lớn <i>Trần Thị Hà, Nguyễn Việt Tuyên, Lê Văn Quân, Đỗ Danh Bích, Phạm Nguyễn Hải</i>	40
Tổng hợp và đặc trưng màng hydroxyapatit pha tạp đồng thời các ion Cu²⁺, Ag⁺ và Zn²⁺ trên nền thép không gỉ 316L <i>Võ Thị Hạnh, Lê Thị Duyên, Đỗ Thị Hải, Hà Mạnh Hùng, Dinh Thị Mai Thanh</i>	45
Mô hình Markov ẩn xác định số mục tiêu trong bài toán quan sát quỹ đạo đa mục tiêu <i>Nguyễn Thị Hằng</i>	51
Ảnh hưởng của độ linh động của điện tử lên trạng thái điện môi exciton trong vật liệu bán kim loại <i>Đỗ Thị Hồng Hải, Nguyễn Thị Hậu</i>	58
Quá trình sinh Higgs và U-hạt véc tơ từ va chạm m+m- trong mô hình Randall-Sundrum khi chòm m+m- phân cực <i>Nguyễn Thị Hậu, Đào Thị Lệ Thủy</i>	64
Ảnh hưởng của phonon lên trạng thái ngưng tụ exciton trong mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon <i>Đỗ Thị Hồng Hải, Hồ Quỳnh Anh</i>	70
Tổng của các biến ngẫu nhiên độc lập cùng phân phối <i>Nguyễn Thu Hằng, Nguyễn Thùy Linh</i>	75
Quy tắc nhân thêm x tạo sự khác biệt <i>Hoàng Ngự Huân</i>	81

Electrochemical synthesis of polypyrrole (PPy) on mild steel electrode and investigation of their anticorrosive properties	
<i>Ha Manh Hung, Hoang Thi Tuyet Lan</i>	85
Tổng hợp vật liệu bạc photphat bằng phương pháp đồng kết tủa kết hợp thủy nhiệt	
<i>Nguyễn Mạnh Hùng, Vũ Thanh Mai, Nguyễn Thị Diệu Thu, Đào Việt Thắng, Lê Thị Vinh, Lâm Thị Hằng, Lê Thị Mai Oanh</i>	92
Squeezing function and fridman invariant in some C_n domains	
<i>Nguyen Thi Lan Huong</i>	97
Nghiên cứu công nghệ truyền năng lượng không dây định hướng ứng dụng cho các thiết bị khai thác hầm lò	
<i>Bùi Hữu Nguyên, Nguyễn Mạnh Hùng, Tống Bá Tuấn</i>	101
Các hàm thất thoát trong vấn đề phân loại	
<i>Lê Bích Phượng, Phạm Tuấn Cường, Tạ Quang Chiểu</i>	108
Cấu trúc, tính chất sắt từ, sắt điện của vật liệu $BiFeO_3$ và $Bi_{0,9}RE_{0,1}Fe_{0,975}Ni_{0,025}O_3$ (RE = Gd, Nd, Y)	
<i>Đào Việt Thắng, Nguyễn Thị Diệu Thu, Hồ Quỳnh Anh, Nguyễn Mạnh Hùng</i>	113
Cấu trúc và tính chất của vật liệu spinel $CoFe_2O_4$ pha tạp Bi	
<i>Nguyễn Thị Diệu Thu, Nguyễn Mạnh Hùng, Đào Việt Thắng, Nguyễn Việt Hùng</i>	119
Một vài kết quả về tính ổn định của hệ quy mô lớn suy biến cấp phân số	
<i>Nguyễn Trường Thanh</i>	124
Thiết kế vật liệu meta hấp thụ sóng điện từ cấu trúc chiral	
Tống Bá Tuấn, Bùi Hữu Nguyên, Nguyễn Thị Hậu, Vũ Đình Lãm, Lê Đắc Tuyên	129
Vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ đa đỉnh, dải rộng trên cơ sở polymer dẫn	
<i>Lê Đắc Tuyên, Phạm Thế Linh, Tống Bá Tuấn, Trần Thị Hà, Vũ Đình Lãm</i>	135
Tác động của việc vận dụng trò chơi và các hoạt động thực hành ngôn ngữ tới sinh viên trong giảng dạy tiếng Anh trực tuyến	
<i>Trương Thị Thanh Thủy, Trần Đình Thuớc</i>	141
Những yếu tố quan trọng trong việc xây dựng chương trình dạy ngoại ngữ	
<i>Nguyễn Thị Hồng Vân</i>	147
Khảo sát tính chất của vật liệu nano $TbPO_4.H_2O$ định hướng ứng dụng trong y sinh	
<i>Lê Thị Vinh, Vũ Duy Thịnh, Hà Thị Phượng, Hoàng Thị Khuyên, Nguyễn Mạnh Hùng, Nguyễn Thu Hà, Phan Diệu Hằng, Trần Thu Hương</i>	149

Vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ đa đỉnh, dải rộng trên cơ sở polymer dẫn

Lê Đắc Tuyên^{1,*}, Phạm Thế Linh², Tống Bá Tuấn¹, Trần Thị Hà¹, Vũ Đình Lâm²

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất

² Học viện Khoa học và Công nghệ

TÓM TẮT

Các thành quả nghiên cứu về vật liệu tiên tiến đóng vai trò quan trọng và tạo ra các đột phá trong việc phát triển công nghệ mới. Vật liệu biến hóa (metamaterial) là cấu trúc nhân tạo được thiết kế để đạt được tính chất mong muốn mà vật liệu tự nhiên không có. Những năm gần đây, nhiều nỗ lực đã được thực hiện để điều chỉnh độ điện thẩm và độ từ thẩm của chúng nhằm tạo ra vật liệu chiết suất âm, thấu kính phân giải cao, hay hấp thụ sóng điện từ. Chúng tôi trình bày một phương pháp đơn giản để mở rộng dải tần và tăng độ hấp thụ của cấu trúc cộng hưởng đĩa tròn. Kết quả tính toán bằng phần mềm mô phỏng CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio cho thấy độ dẫn của polymer đóng vai trò quan trọng tới tính chất hấp thụ của vật liệu. Sử dụng đồng thời polymer độ dẫn thấp và hiệu ứng tương tác trường gần có thể tạo ra cộng hưởng đa đỉnh, dải tần rộng 6,8 GHz với độ hấp thụ trên 90%. Cấu trúc đề xuất không phụ thuộc phân cực sóng điện từ và có thể áp dụng để chế tạo vật liệu biến hóa hấp thụ dải rộng.

Từ khóa: Vật liệu biến hóa; vật liệu biến hóa hấp thụ dải rộng; polymer dẫn; tương tác trường gần.

1. Đặt vấn đề

Vật liệu biến hóa (metamaterial) là cấu trúc nhân tạo được thiết kế để đạt được tính chất điện từ mong muốn mà vật liệu tự nhiên không có (D. Smith, 2000; S. A. Ramakrishna, 2008). Trong những năm gần đây, nghiên cứu về vật liệu biến hóa đã phát triển nhanh chóng và thu hút sự chú ý trên thế giới vì khả năng vượt trội trong việc điều khiển sóng điện từ. Nhiều nỗ lực đã được thực hiện để điều chỉnh độ từ thẩm và độ điện thẩm (chiết suất) của chúng nhằm tạo ra vật liệu chiết suất âm, thấu kính phân giải cao, hay hấp thụ sóng điện từ (S. A. Ramakrishna, 2008; Z. Duan, 2009; P. Ball, 2018; A. Shanian, 2019). Nói chung, sự tương tác của sóng điện từ với vật chất được nghiên cứu thông qua các đặc tính phản xạ, truyền qua và hấp thụ. Hệ số phản xạ lớn là một yêu cầu quan trọng trong các ứng dụng quang học, độ truyền qua cao là yêu cầu trong các ứng dụng điện từ, hiển thị hình ảnh. Đối với công nghệ cảm biến hay chuyển đổi năng lượng, độ hấp thụ lớn trở nên quan trọng hơn. Vật liệu biến hóa có khả năng hấp thụ toàn bộ sóng điện từ với chiều dày nhỏ hơn rất nhiều so với bước sóng hoạt động, đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển các thiết bị thế hệ mới: cảm biến độ nhạy cao, chuyển đổi năng lượng hiệu suất cao, tàng hình (N. Landy, 2008; P. Yu, 2019; H. Hajian, 2019).

Tuy nhiên, vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ (metamaterial absorber – MA) gây ra bởi cộng hưởng từ hay cộng hưởng điện của cấu trúc cộng hưởng, nên đỉnh cộng hưởng rất hẹp, đã hạn chế khả năng ứng dụng của chúng. Do đó, việc tiếp tục nghiên cứu và tìm ra mô hình hiệu quả, sử dụng các hiệu ứng vật lý để mở rộng dải tần hay có thể điều khiển tần số hoạt động bằng các tác nhân bên ngoài, cũng như cấu trúc đơn giản để chế tạo là rất cần thiết. Nhằm cải tiến và nâng cao hiệu quả hấp thụ, nhóm nghiên cứu đã đề xuất và sử dụng vật liệu polymer dẫn. Bên cạnh đó sử dụng hiệu ứng vật lý để tăng cường độ hấp thụ và mở rộng dải tần làm việc của vật liệu biến hóa. Đây là một phương pháp mới, hiệu quả được nghiên cứu và chế tạo vật liệu hấp thụ đa đỉnh, dải rộng với công nghệ đơn giản hơn, mà không cần phải giảm kích thước ô cơ sở. Tính chất hấp thụ được khảo sát theo độ dẫn của vật liệu polymer, cơ chế hấp thụ được giải thích bằng phân bố điện trường và điều kiện phối hợp trở kháng.

2. Thiết kế và mô phỏng

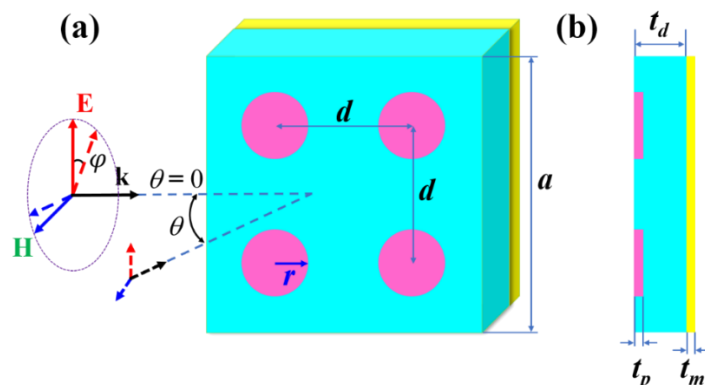
Dựa trên các kết quả nghiên cứu về đĩa tròn, chúng tôi đề xuất cấu trúc vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ (MA) có lớp đồng phủ kín mặt sau, thay thế cấu trúc đĩa cộng hưởng kim loại mặt trước bằng vật liệu lai kết hợp giữa polymer và graphene (polymer dẫn), xen giữa là lớp điện môi (D. T. Viet, 2014). Việc

* Tác giả liên hệ:

Email: ledactuyen@h Umg.edu.vn

sử dụng vật liệu polymer dẫn mang lại nhiều hiệu ứng khác biệt so với cấu trúc MA truyền thống, bởi khả năng thay đổi độ dẫn điện của polymer tùy theo thành phần pha tạp.

Hình 1 trình bày cấu trúc MA sử dụng vật liệu polymer dẫn điện với kích thước ô cơ sở hình vuông là $a = 24$ mm. Cấu trúc mặt trước gồm 4 đĩa đặt cách nhau một khoảng d và sử dụng vật liệu là đồng hoặc polymer dẫn với độ dẫn điện σ có thể thay đổi. Bán kính và độ dày các đĩa lần lượt là $r = 2,4$ mm và $t_p = 0,036$ mm. Lớp điện môi FR-4 được đặt ở giữa có chiều dày $t_d = 1,60$ mm, hằng số điện môi bằng 4,0 và độ tổn hao bằng 0,025, mặt sau được phủ kín bằng lớp đồng có độ dày $t_m = 0,036$ mm với độ dẫn điện $5,96 \times 10^7$ S/m. Quá trình mô phỏng sử dụng nguồn sóng điện từ chiếu tới mặt trước MA, với góc tới θ và góc phân cực φ có thể thay đổi như hình 1(a).

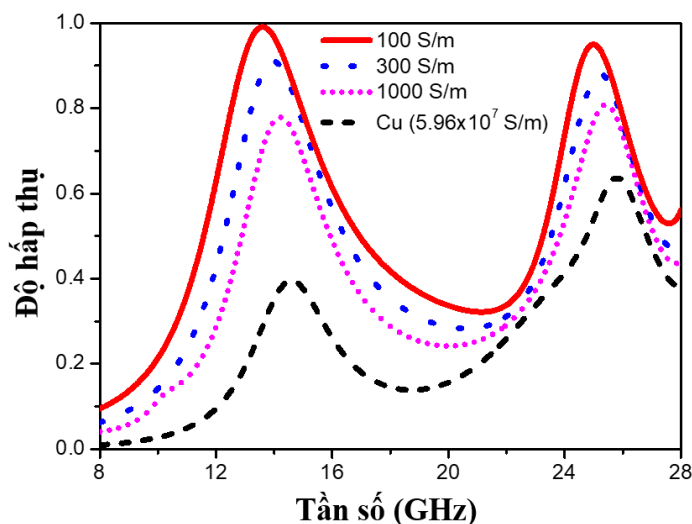


Hình 1. Cấu trúc hình học ô cơ sở MA với các tham số cấu trúc $a = 24$ mm, $r = 2,4$ mm, $t_p = 0,036$ mm, $t_d = 1,60$ mm, $t_m = 0,036$ mm, d có thể thay đổi. (a) Mặt trước, (b) Mặt bên.

Chúng tôi sử dụng phần mềm mô phỏng CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio để thiết kế cấu trúc và khảo sát tương tác của MA với sóng điện từ. Đây là một phương pháp sử dụng kỹ thuật tích phân hữu hạn (Finite Integration Technique - FIT) chia nhỏ môi trường vật liệu, biến đổi các phương trình Maxwell và phương trình tán sắc của vật liệu từ không gian liên tục đến không gian rời rạc, tạo ra hệ phương trình lưới Maxwell (Maxwell's Grid equations). Từ đó đảm bảo các tính chất vật lý của trường được duy trì trong không gian rời rạc và dẫn đến một nghiệm duy nhất. Do đó FIT giải hệ phương trình Maxwell dưới dạng tích phân thay vì vi phân.

Do lớp đồng phía sau đủ dày và không cho sóng điện từ truyền qua, nên độ hấp thụ của MA có thể được tính theo công thức: $A(\omega) = 1 - R(\omega) = 1 - |S_{11}(\omega)|^2$, với $R = |S_{11}|^2$ là độ phản xạ và S_{11} là hệ số phản xạ. Khi có sự phối hợp trở kháng giữa cấu trúc và môi trường tới của sóng điện từ, hệ số phản xạ rất nhỏ, khi đó MA có thể hấp thụ hầu hết sóng điện từ chiếu đến.

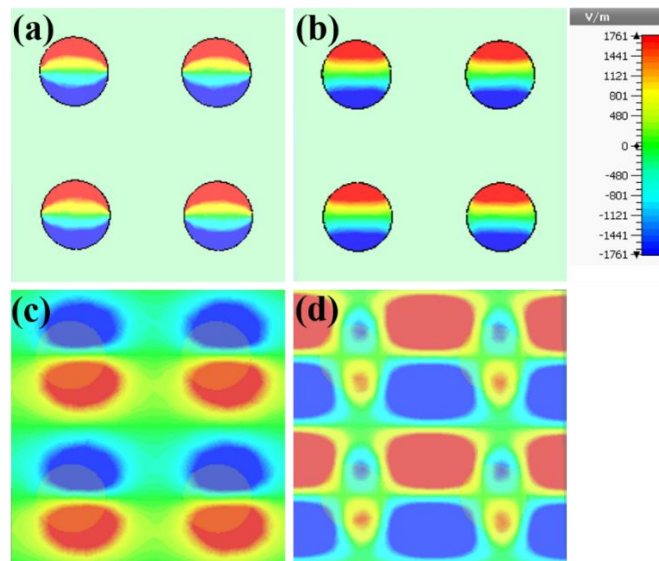
3. Kết quả và thảo luận



Hình 2. Phổ hấp thụ của MA với cấu trúc đĩa tròn là đồng (đường màu đen, dưới cùng) và polymer với độ dẫn thay đổi

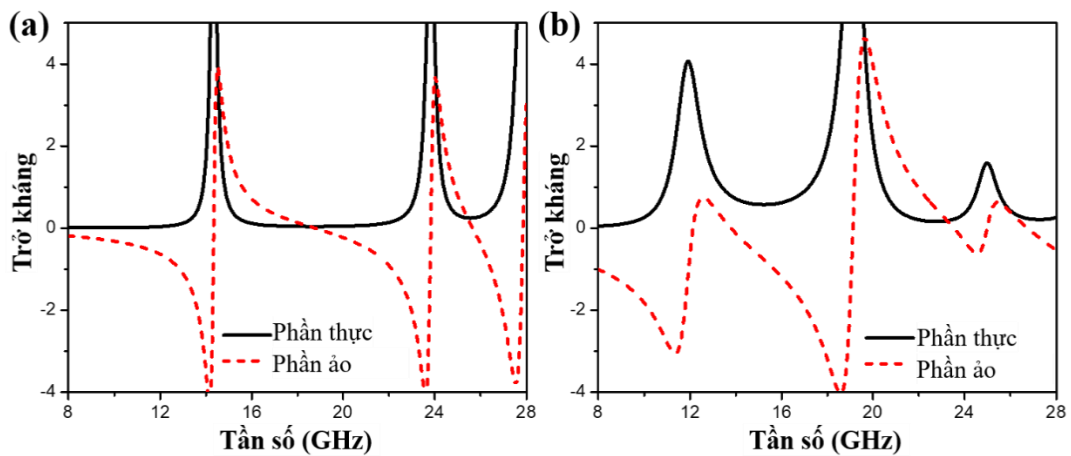
Hình 2 là phổ hấp thụ của MA khi so sánh giữa hai trường hợp sử dụng cấu trúc đĩa đồng và polymer dẫn. Với cấu trúc đĩa đồng, phổ hấp thụ có hai đỉnh cộng hưởng phân biệt tại tần số 13,6 GHz (f_1) và 25,0 GHz (f_2). Vị trí hai đỉnh đều dịch về vùng tần số thấp hơn khi thay đĩa đồng bằng polymer với độ dẫn điện giảm dần. Có thể thấy, so với đồng, độ hấp thụ của MA sử dụng polymer cao hơn nhiều, đạt 99% (f_1) và 95% (f_2) trong trường hợp độ dẫn điện $\sigma = 100$ S/m.

Để hiểu cơ chế vật lý tạo ra hai đỉnh cộng hưởng trong cấu trúc MA, chúng tôi khảo sát sự phân bố điện trường tại hai tần số cộng hưởng 13,6 và 25,0 GHz. Hình 3 cho thấy ở cả hai tần số cộng hưởng đều xuất hiện cộng hưởng lưỡng cực điện được kích thích trên các đĩa polymer dọc phương của điện trường E (phương thẳng đứng). Tuy nhiên, phân bố điện trường ở lớp đồng phía sau lại rất khác nhau. Cộng hưởng tại f_1 gây ra do cộng hưởng từ, điện trường tập trung tại vị trí các đĩa (D. T. Viet, 2014). Trong khi đó, tại tần số f_2 , cộng hưởng từ yếu hơn, điện trường tập trung chủ yếu ở khoảng cách giữa các đĩa. Kết quả này cho thấy sự ảnh hưởng của hiệu ứng tương tác trường gần giữa các đĩa cạnh nhau đã kích thích cộng hưởng (H. L. Dang, 2017; B. S. Tung, 2020).



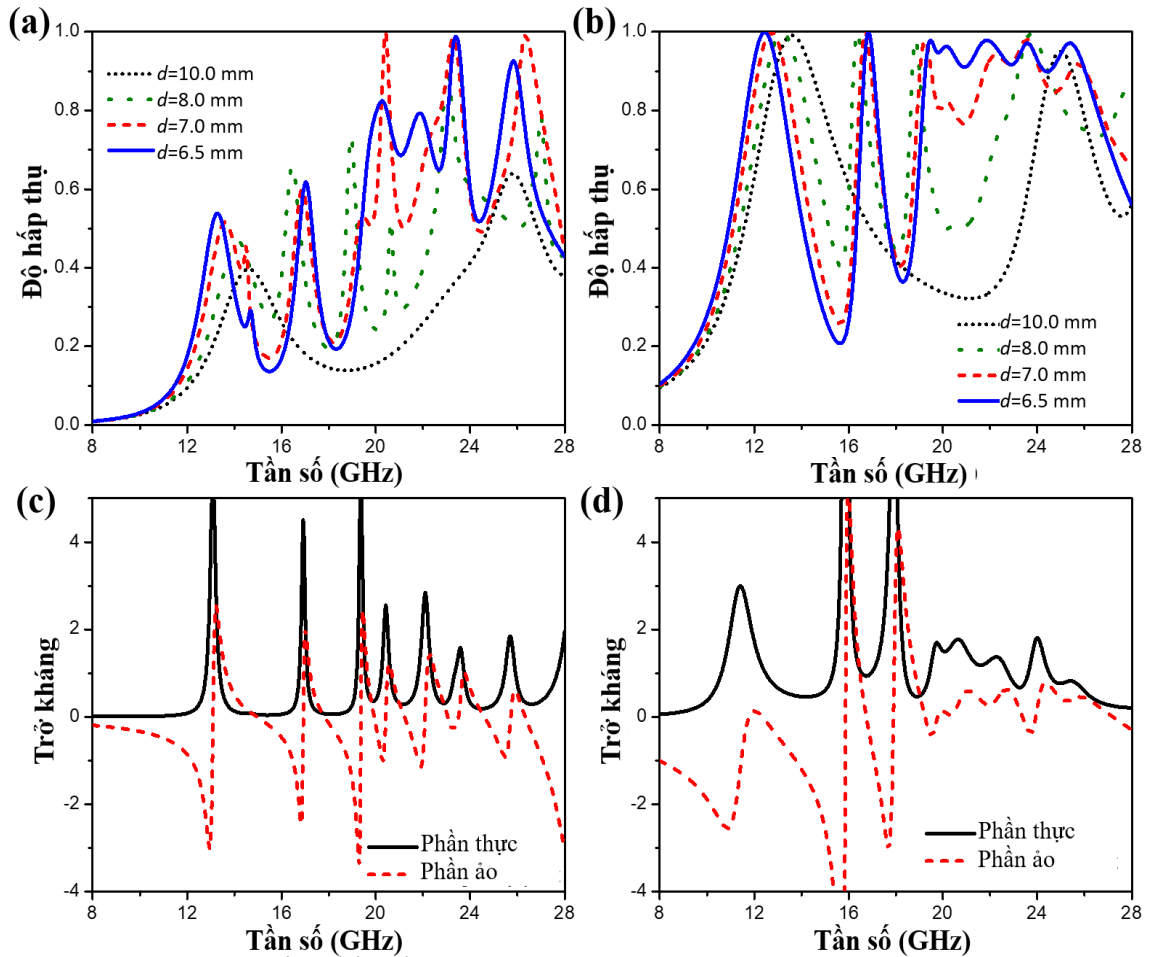
Hình 3. Phân bố điện trường trên đĩa polymer mặt trước (a, b) và trên lớp đồng mặt sau (c, d) của cấu trúc MA tại tần số 13,6 GHz (a, c) và 25,0 GHz (b, d) khi độ dẫn $\sigma = 100$ S/m

Tính chất hấp thụ sóng điện từ có thể được giải thích thông qua điều kiện phối hợp trở kháng của MA và môi trường tới của sóng điện từ theo công thức (D. R. Smith, 2005): $Z = \sqrt{\frac{(1+S_{11})^2}{(1-S_{11})^2}}$



Hình 4. Trở kháng của cấu trúc MA sử dụng đồng (a) và polymer dẫn điện (b)

Hình 4 so sánh phần thực và phần ảo trở kháng của MA lần lượt trong hai trường hợp sử dụng đồng và sử dụng polymer độ dẫn điện 100 S/m ở mặt trước. Có thể thấy, cấu trúc MA sử dụng đồng không thỏa mãn điều kiện phối hợp trở kháng ở cả hai tần số cộng hưởng, dẫn tới hệ số hấp thụ thấp. Tuy nhiên, đối với MA sử dụng polymer dẫn điện, phần ảo của trở kháng gần như bằng 0 và phần thực xấp xỉ bằng 1 tại cả hai tần số cộng hưởng 13,6 GHz và 25,0 GHz như trên hình 4(b). Vì vậy, trở kháng của MA polymer tương đương với trở kháng của môi trường tại cả hai tần số nên độ phản xạ rất nhỏ và độ hấp thụ lớn.



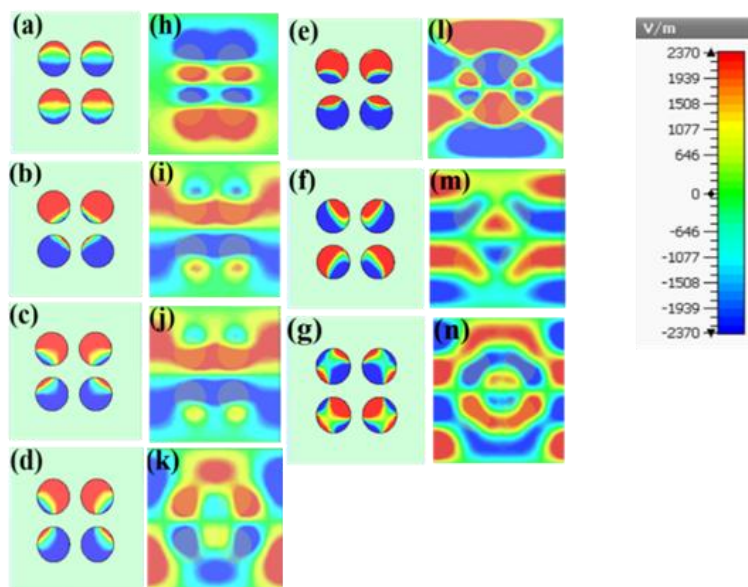
Hình 5. Sự phụ thuộc của phổ hấp thụ vào khoảng cách d giữa các đĩa liền kề của cấu trúc MA đồng (a) và MA polymer (b) khi d thay đổi từ 10,0 mm tới 6,5 mm. Trở kháng của cấu trúc MA đồng (c) và MA polymer (d) với $d = 6,5$ mm

Để thu được sự hấp thụ dải rộng, chúng tôi thay đổi giá trị của khoảng cách d giữa các đĩa cạnh nhau, dẫn tới vị trí tương đối của các đĩa sẽ thay đổi theo đường chéo của ô cơ sở. Hình 5(a) và 5(b) cho thấy ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa các đĩa lên tính chất hấp thụ đối với cả hai loại vật liệu. Với $d = 10,0$ mm, các đĩa tại tâm của các góc phần tư, vì vậy cấu trúc của MA lúc này hoàn toàn đối xứng. Khi d giảm từ 10,0 mm xuống 6,5 mm, phổ hấp thụ xuất hiện 7 đỉnh cộng hưởng rõ rệt. Với $d = 6,5$ mm, các đỉnh cộng hưởng vùng tần số cao (từ 19,5 GHz đến 25,4 GHz, hình 5(b)) của cấu trúc MA polymer đều đạt trên 90%, trong khi cấu trúc MA sử dụng kim loại đồng thì thấp hơn nhiều. Điều này có thể được giải thích bởi sự phối hợp trở kháng giữa cấu trúc MA và môi trường tới của sóng điện từ như trong hình 5(c) và 5(d).

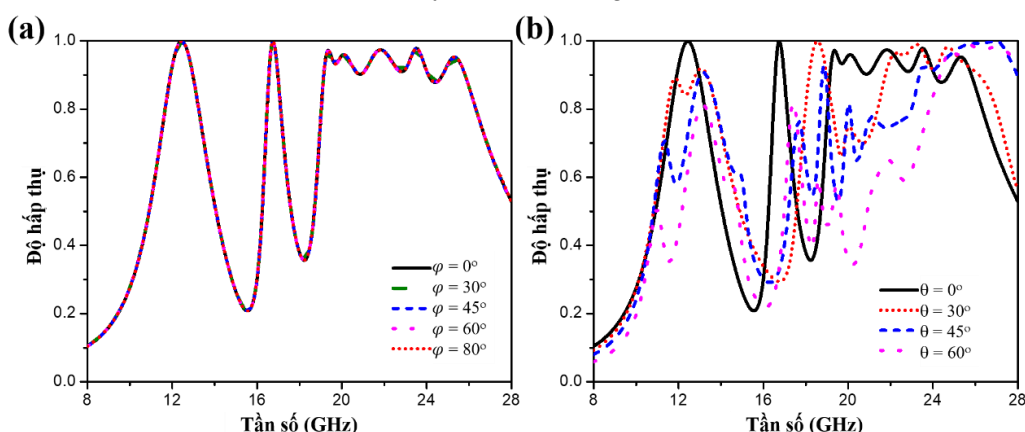
Ngoài ra, chúng tôi khảo sát sự phân bố điện trường của cấu trúc MA polymer ở cả mặt trước (đĩa polymer) và mặt sau (tấm đồng) tại 7 đỉnh cộng hưởng, lần lượt là 12,5; 16,8; 19,5; 20,2; 21,9; 23,4; 25,4 GHz (Hình 6). Quan sát thấy, đỉnh cộng hưởng tại tần số 12,5 GHz là cộng hưởng từ và là tần số cơ bản của cấu trúc. Tại tần số cao hơn, các đĩa liền kề tương tác với nhau tạo ra sự hấp thụ đa đỉnh và dải rộng với nhiều đỉnh cộng hưởng gần nhau.

Cuối cùng, chúng tôi khảo sát sự phụ thuộc phân cực của cấu trúc MA polymer. Phổ hấp thụ phụ thuộc vào góc phân cực φ và góc tới θ lần lượt trên hình 7(a) và 7(b). Kết quả nghiên cứu chỉ ra MA polymer không phụ thuộc vào sự phân cực của sóng điện từ do cấu trúc cộng hưởng được thiết kế đối xứng. Khi góc

tới tăng, phổ hấp thụ của cấu trúc MA polymer dịch về phía tần số cao hơn, dẫn tới hiệu suất hấp thụ của cấu trúc giảm và đồng thời làm hẹp dải tần số hấp thụ.



Hình 6. Phân bố điện trường của cấu trúc MA polymer (độ dẫn 100 S/m) tại mặt trước (a-g) và mặt sau (h-n) tại các tần số 12,5 GHz (a,h); 16,8 GHz (b,i); 19,5 GHz (c,j); 20,2 GHz (d,k); 21,9 GHz (e,l); 23,4 GHz (f,m); 25,4 GHz (g,n).



Hình 7. Sự phụ thuộc của phổ hấp thụ vào (a) góc phân cực φ và (b) góc tới θ của sóng điện từ

4. Kết luận

Chúng tôi đã đề xuất vật liệu biến hóa hấp thụ đa đỉnh, dải rộng sóng điện từ và không phụ thuộc phân cực trên cơ sở polyme dẫn với cấu hình đơn giản. Kết hợp sử dụng polymer độ dẫn thấp (100 S/m) và hiệu ứng tương tác trường gần có thể tạo ra dải hấp thụ từ 19,2 đến 26,0 GHz với độ hấp thụ trên 90%. Thiết kế này có thể được áp dụng cho các tần số cao hơn và rất hữu ích cho việc chế tạo vật liệu biến hóa hấp thụ dải rộng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo (Đề tài mã số B2020-MDA-10) và Trường Đại học Mở - Địa chất (Đề tài mã số T20-02).

Tài liệu tham khảo

P. Ball, 2018. Bending the laws of optics with metamaterials: an interview with John Pendry. *National Science Review* 5: 200–202.

H. L. Dang, et al. 2017. Broadband metamaterial perfect absorber obtained by coupling effect, *J. Nonlinear Opt. Phys. Mater.* 26(3), 1750036.

- Z. Duan, et al. 2009. Research progress in reversed Cherenkov radiation in doublenegative Metamaterials. *Prog. Electromagnetics Res.* 90, 75–87.
- H. Hajian, et al. 2019. Active metamaterial nearly perfect light absorbers: a review. *J. Opt. Soc. Am. B*, 36, F131-F143.
- N. I. Landy, et al. 2008. Perfect metamaterial absorber. *Phys. Rev. Lett.* 100, 207402.
- S. A. Ramakrishna and T. M. Grzegorzczak, 2008. *Physics and Applications of Negative refractive index materials*. Taylor & Francis Group.
- A. Shanian, et al. 2019. Application of Multifunctional Mechanical Metamaterials. *Adv. Eng. Mater.* 1900084.
- D. Smith, et al. 2000. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. *Phys. Rev. Lett.* 84, 4184.
- D. R. Smith, et al. 2005. Electromagnetic parameter retrieval from inhomogeneous metamaterials. *Phys. Rev. E* 71, 036617.
- B. S. Tung, et al, 2020. Manipulation of the near-field coupling in metamaterial for multi-band absorber. *Waves in Random and Complex Media*, <https://doi.org/10.1080/17455030.2020.1738591>
- D. T. Viet, et al. 2014. Perfect absorber metamaterials: Peak, multi-peak and broadband absorption, *Opt. Commun.* 322, 209–213.
- P. Yu, et al. 2019. Broadband Metamaterial Absorbers, *Adv. Optical Mater.* 7, 1800995.

ABSTRACT

Multiple-band and broadband metamaterial absorber based on conductive polymer

Le Dac Tuyen^{1,*}, Phạm The Linh², Tong Ba Tuan¹, Tran Thi Ha¹, Vu Dinh Lam²

¹ *Hanoi University of Mining and Geology*

² *Graduate University of Science and Technology*

The achievements in advanced materials have played an important role and create breakthroughs in the development of new technology. Metamaterial is an artificial structure designed to achieve the desired property that natural materials do not exhibition. In recent years, great efforts have been made to adjust their permittivity and permeability to create negative refractive materials, high-resolution lenses, or electromagnetic absorption. We present a simple method to enhance bandwidth and absorptivity of the disk resonator. Calculation results using CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio showed that the conductivity of the polymer can manipulate the absorption properties. Simultaneous utilizing low conductivity polymer and near-field coupling effect can create multi-band resonances, a 6.8 GHz bandwidth with absorption over 90%. The proposed structure shows polarization-independent absorption behavior and can be applied to fabricate broadband metamaterial absorber.

Keywords: Metamaterial; Broadband metamaterial absorber; Conductive polymer; Near-field coupling.

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



ISBN 978-604762277-1



9 786047 622771