



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0003349

(51)⁷ H01B 1/22; B22F 1/00

(13) **Y**

(21) 2-2020-00192

(22) 08/05/2020

(45) 25/10/2023 427

(43) 25/11/2021 404

(73) **VIỆN KHOA HỌC VẬT LIỆU, VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
VIỆT NAM (VN)**

18 Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Thanh Tùng (VN); Vũ Đình Lãm (VN); Trần Văn Huỳnh (VN); Bùi Xuân
Khuyến (VN); Bùi Sơn Tùng (VN); Lã Đức Dương (VN).

(54) **QUY TRÌNH CHẾ TẠO VẬT LIỆU BIẾN HÓA (METAMATERIALS - MMS) HOẠT
ĐỘNG Ở VÙNG TẦN SỐ GHz BẰNG IN PHUN MỰC DẪN ĐIỆN**

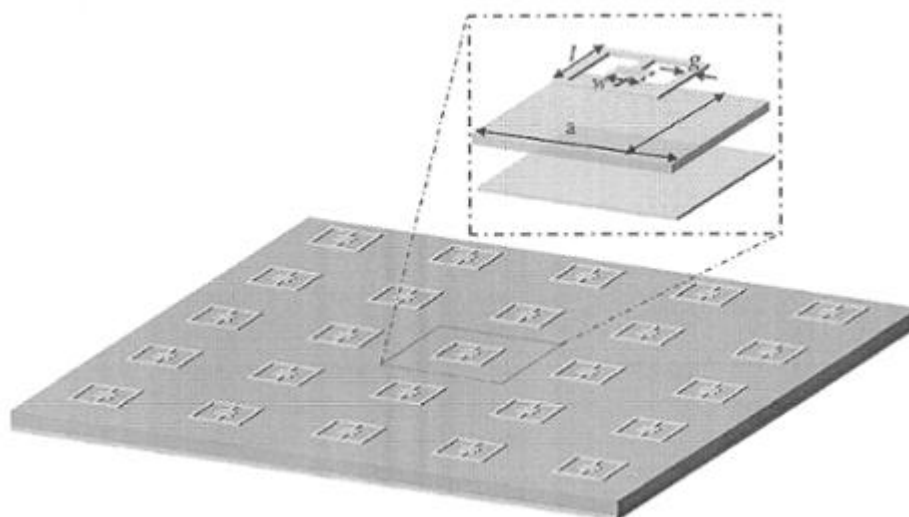
(57) Giải pháp hữu ích đề xuất quy trình chế tạo vật liệu biến hóa (metamaterials - MMs) hoạt động ở vùng tần số GHz bằng in phun mực dẫn điện, bao gồm các bước sau:

(i) thiết kế cấu trúc vật liệu MMs;

(ii) chuẩn bị hệ in: sử dụng mực dẫn điện nano bạc có điện trở suất khoảng 0.007 Ohm/sq và độ nhớt khoảng 9000 mPa.s, lắc đều mực dẫn điện, lựa chọn giấy in ảnh với độ điện thấm, độ dày và kích thước phù hợp; bơm mực dẫn điện vào khay mực và nạp giấy in vào khay chứa giấy in của máy in phun dùng hiệu ứng áp điện có bình tiếp mực ngoài; kết nối máy in với máy tính có chứa file thiết kế;

(iii) in cấu trúc.

Quy trình này giúp chế tạo vật liệu biến hóa với độ đồng đều cao, có khả năng mềm dẻo linh hoạt, tiết kiệm thời gian, chi phí và hạn chế sử dụng hóa chất.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích thuộc lĩnh vực chế tạo vật liệu biến hóa (metamaterials-MMs). Cụ thể giải pháp hữu ích đề cập đến quy trình chế tạo vật liệu biến hóa hoạt động ở vùng tần số GHz bằng in phun mực dẫn điện nhằm hạn chế sử dụng hóa chất, giúp chế tạo được vật liệu biến hóa MMs có tính mềm dẻo linh hoạt.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Vật liệu MMs là vật liệu có cấu trúc nhân tạo với nhiều tính chất vật lý khác thường không tồn tại trong các vật liệu tự nhiên. Một trong số những tính chất vật lý thú vị của vật liệu MMs là tính chất chiết suất âm và tính chất hấp thụ tuyệt đối sóng điện từ. Những tính chất bất thường của vật liệu MMs có được do khả năng điều chỉnh tương tác với sóng điện từ của vật liệu MMs. Vật liệu MMs được tạo thành bởi sự tuần hoàn lặp lại của các cấu trúc kim loại trong ô cơ sở. Khi tương tác với sóng điện từ, mỗi ô cơ sở của vật liệu MMs hoạt động như một mạch cộng hưởng điện từ LC, có thể cộng hưởng với thành phần điện trường, thành phần từ trường hoặc đồng thời cả thành phần điện trường và thành phần từ trường của sóng điện từ. Khả năng cộng hưởng với các thành phần của sóng điện từ phần lớn phụ thuộc vào cấu trúc hình học của một ô cơ sở của vật liệu MMs cũng như sự sắp xếp tuần hoàn của các ô cơ sở trong cấu trúc vật liệu MMs. Kể từ khi ra đời đến nay đã có rất nhiều các công trình nghiên cứu về vật liệu MMs từ vùng tần số GHz đến vùng tần số THz, tần số hồng ngoại và thậm chí với cả ánh sáng nhìn thấy. Các công trình nghiên cứu về vật liệu MMs bao gồm cả lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm. Hiện nay vật liệu MMs ban đầu đã được nghiên cứu ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của khoa học kỹ thuật và đời sống. Có thể kể tới một số ứng dụng tiêu biểu của vật liệu MMs trong các lĩnh vực như tàng hình, siêu thấu kính, cảm biến, truyền năng lượng không dây, an ninh, thông tin liên lạc.

Do đặc tính cộng hưởng của các cấu trúc ô cơ sở với sóng điện từ, nên kích thước của các cấu trúc ô cơ sở trong vật liệu MMs thay đổi tỷ lệ thuận với bước sóng cộng hưởng. Ví dụ, vật liệu MMs có vùng làm việc ở tần số GHz thì cấu trúc có kích thước cỡ milimet, ở tần số THz thì cấu trúc có kích thước micromet, và ở vùng ánh sáng nhìn thấy thì cấu trúc cỡ nanomet. Kể từ khi vật liệu MMs hoạt động ở vùng tần số GHz được nghiên cứu vào

năm 2000 đến nay, phương pháp chủ yếu để chế tạo vật liệu này là phương pháp quang khắc truyền thống. Hệ thiết bị chế tạo vật liệu MMs bằng phương pháp quang khắc gồm:

- Hệ chiếu sáng gồm đèn chiếu ánh sáng trắng có công suất khoảng 2-5 mW/cm² tùy vào khoảng cách từ đèn tới bề mặt mẫu và thời gian chiếu;

- Hệ ăn mòn bao gồm bể dung dịch ăn mòn, hệ thống đèn sưởi giữ cho nhiệt độ dung dịch ăn mòn ổn định (thường trong khoảng 45°C-55°C tùy thuộc vào hóa chất ăn mòn) và bơm khuấy khí để đảm bảo tốc độ ăn mòn đồng đều trong toàn bộ thể tích của bể;

- Hệ hiện hình gồm bể chứa dung dịch và bếp gia nhiệt để giữ nhiệt độ của hệ ổn định (thường trong khoảng 45°C-55°C tùy thuộc vào hóa chất hiện hình).

- Hệ giữ mẫu dạng màng nhựa trong suốt hút chân không để cố định mẫu trong quá trình chiếu sáng.

Cấu trúc vật liệu MMs chế tạo bằng phương pháp quang khắc thường được thực hiện trên lớp đế là vật liệu điện môi cứng từ sợi thủy tinh hay gốm cán mỏng như FR4 hay Roger. Ngoài ra để chế tạo vật liệu MMs bằng phương pháp quang khắc, trước đó cần thiết kế và chế tạo mặt nạ. Ngoại trừ các khe hở, phần còn lại của mặt nạ có chức năng cản sáng trong quá trình chiếu sáng, nhằm truyền tải hình ảnh của mẫu thiết kế lên bề mặt cảm quang. Mặt nạ thường được in trên vật liệu nhựa trong suốt. Phần được in phải đảm bảo tính che sáng tốt. Quy trình chế tạo vật liệu MMs bằng phương pháp quang khắc có thể được mô tả trong Hình 1, bao gồm năm bước:

(i) Phủ vật liệu: Phủ một lớp kim loại (thường là đồng) lên bề mặt vật liệu đế điện môi (FR4 hoặc Roger) có độ dày khoảng 30-50 micromet (lớn hơn độ sâu bề mặt của vật liệu kim loại ở bước sóng tần số GHz). Trên lớp kim loại phủ tiếp một lớp vật liệu cản quang có độ dày khoảng 0,3 đến 0,5 milimet tùy theo cường độ chiếu sáng, khoảng cách từ nguồn sáng tới bề mặt mẫu, và thời gian ăn mòn.

(ii) Chiếu sáng: Nguồn sáng thường được dùng là đèn halogen với công suất phù hợp. Đèn bức xạ nhiệt ít được dùng vì nhiệt độ sẽ làm biến tính lớp cản quang và làm giảm chất lượng mẫu. Mặt nạ được đặt sát bề mặt mẫu mẫu, khoảng cách giữa mặt nạ và nguồn sáng khoảng 10-20 cm tùy thuộc vào công suất đèn, độ đồng đều của trường sáng, độ dày của lớp cản quang, và thời gian chiếu (sau khi tối ưu với từng loại hóa chất và từng loại cấu trúc). Thời gian chiếu sáng khoảng từ 5 tới 15 phút được tối ưu theo các điều kiện đã nêu ở trên.

(iii) Hiện hình cấu trúc: Sử dụng chất rửa cảm quang pha với nước theo nồng độ được tối ưu để phù hợp với kích thước mẫu, thời gian rửa và nhiệt độ của dung dịch. Thời gian rửa chất cảm quang tốt nhất trong khoảng 5 phút cho một mẫu, nhiệt độ của dung dịch khoảng từ 40°C -50°C. Nhiệt độ, nồng độ của dung dịch hiện hình ảnh hưởng rất lớn đến thời gian hiện hình cấu trúc cũng như chất lượng của mẫu.

(iv) Ăn mòn, tạo cấu trúc: Sử dụng chất ăn mòn pha với nước theo nồng độ phù hợp với kích thước mẫu, thời gian ăn mòn, và nhiệt độ dung dịch. Thời gian ăn mòn một mẫu khoảng 10 đến 15 phút, nhiệt độ thích hợp khoảng 30°C đến 40°C.

(v) Tẩy rửa lớp cảm quang còn lại: Thực hiện lại bước (ii) và (iii) để tẩy rửa lớp cảm quang còn lại trên bề mặt cấu trúc kim loại. Cuối cùng mẫu được rửa bằng nước sạch, lau khô và đưa vào bảo quản ở nhiệt độ phòng và độ ẩm từ 50-60%.

Trên thế giới và ở Việt Nam, phương pháp quang khắc có thể chế tạo vật liệu MMs với độ chính xác tương đối cao, độ chính xác thông thường có thể đạt được tới 0.5 mm. Tuy nhiên phương pháp này cho thấy còn một số hạn chế:

- Phương pháp này sử dụng đồng thời cả kỹ thuật vật lý (khắc bằng ánh sáng) và hóa học (ăn mòn, hiện hình), làm việc trong điều kiện tối ưu đồng thời nhiều tham số như thời gian, khoảng cách, nhiệt độ, nồng độ dung dịch khiến cho quy trình trở lên phức tạp và khó kiểm soát chất lượng mỗi mẻ mẫu vật liệu chế tạo được. Ví dụ, nếu thời gian chiếu sáng ít thì thời gian hiện hình sẽ phải kéo dài, nhưng kéo dài thời gian ngâm trong dung dịch hiện hình sẽ dẫn tới hiện tượng hóa chất sẽ làm hỏng cả lớp cảm quang không bị chiếu sáng. Khi đó cấu trúc cuối cùng sẽ có hình dạng không mong muốn. Ngược lại, nếu chiếu sáng với thời gian dài thì phần cấu trúc muốn giữ lại (che chắn bằng phần mặt nạ có màu đen) cũng sẽ nhận được lượng bức xạ đáng kể (do phản xạ, tán xạ) nên cấu trúc cuối cùng thu được sẽ không như mong muốn. Đối với nồng độ và nhiệt độ của dung dịch nếu quá cao thì toàn bộ phần cảm quang muốn giữ lại để tạo hình sẽ nhanh chóng bị rửa trôi cùng với phần muốn loại bỏ.

- Quy trình này sử dụng phương pháp hóa học để tẩy rửa lớp cảm quang và ăn mòn kim loại, cần sử dụng nhiều loại hóa chất không thân thiện với môi trường. Với một mẫu vật liệu 150x150 mm² thông thường cần khoảng 500 ml dung dịch hóa chất tẩy rửa cảm quang và 500 ml dung dịch hóa chất ăn mòn. Đối với những nghiên cứu cần sử dụng thử nghiệm

số lượng vài trăm mẫu vật liệu, lượng dung dịch hóa chất sau khi chế tạo vật liệu là đáng kể và phải tốn thêm chi phí xử lý cũng như gây ảnh hưởng lâu dài tới môi trường.

- Thời gian chế tạo mẫu theo 5 bước kể trên khoảng từ 1-2 ngày làm việc (14-16 tiếng) chưa kể thiết kế và chuẩn bị mặt nạ. Đối với các đế FR4 thương mại bán sẵn đã phủ đồng và lớp cản quang, thời gian chế tạo giảm xuống từ 2-3 tiếng. Tuy nhiên để tiết kiệm hóa chất, thường làm tối thiểu từ 5-10 mẫu một mẻ, thời gian khoảng 1 ngày làm việc (6-8 tiếng).

- Vật liệu MMs được chế tạo chủ yếu trên đế điện môi FR4 hoặc Roger, có đặc tính dày và cứng, hạn chế đối với những ứng dụng cần tạo hình mềm mại. Đối với vật liệu MMs hấp thụ hoặc thu phát năng lượng sóng điện từ ứng dụng trong pin di động hoặc ăng ten thu phát tín hiệu di động cần tích hợp trên các vật dụng hàng ngày như quần áo, balo, hay trên bề mặt da của con người thì đế điện môi FR4/Rogers không phù hợp. Phương pháp in bằng mực dẫn điện hiện nay đã được sử dụng trong việc in các mạch điện tử trên nền cứng hoặc tấm film. Tuy nhiên hiện nay trên thế giới và trong nước chưa có một đề xuất nào chế tạo vật liệu MMs bằng phương pháp in phun mực dẫn điện. Sử dụng phương pháp in phun mực dẫn điện để chế tạo vật liệu MMs hoạt động ở vùng tần số GHz có thể chế tạo được vật liệu MMs trên nhiều loại vật liệu nền khác nhau, đặc biệt có thể chế tạo các vật liệu MMs có tính mềm dẻo, giúp cho vật liệu MMs có khả năng ứng dụng linh hoạt hơn trong thực tế. Đồng thời sử dụng phương pháp in phun mực dẫn điện có thể chế tạo vật liệu MMs với số lượng lớn, độ đồng đều cao, tiết kiệm thời gian và chi phí, đặc biệt hạn chế được việc sử dụng các hóa chất như trong phương pháp chế tạo quang khắc truyền thống.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích là quy trình kỹ thuật chế tạo vật liệu biến hóa (metamaterials - MMs) hoạt động ở vùng tần số GHz bằng in phun mực dẫn điện. Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích gồm 3 bước được thể hiện trong Hình 2 cụ thể như sau:

(i) Thiết kế cấu trúc vật liệu MMs:

Đầu tiên cấu trúc vật liệu MMs cần chế tạo được thiết kế bằng phần mềm đồ họa thương mại AutoCAD hoặc phần mềm phổ thông PowerPoint. Tùy thuộc vào tính chất (chiết suất âm, hấp thụ, phản xạ ...) và tần số làm việc (trong dải GHz) mong muốn mà cấu trúc của vật liệu MMs được thiết kế tương ứng. Vật liệu MMs thường có cấu trúc hai lớp, trong đó lớp vật liệu điện môi bên dưới đóng vai trò là vật liệu mang và cấu trúc dẫn điện

bên trên đóng vai trò là các bộ cộng hưởng. Do quá trình in phun thực hiện tạo các cấu trúc dẫn điện, nên chỉ đưa vào phần mềm độ họa AutoCAD thiết kế bề mặt trên cùng của vật liệu MMs như ở Hình 3. Phần vật liệu mang bên dưới mặc định là vật liệu điện môi. Các thông số hình học của một ô cơ sở cấu trúc và khoảng cách giữa các ô cơ sở được đưa vào bản thiết kế là các thông số thật với đơn vị mm (kích thước tương ứng với vùng tần số GHz). Độ phân giải (chi tiết nhỏ nhất của cấu trúc) của thiết kế phụ thuộc vào độ phân giải của máy in, thông thường máy in có độ phân giải 300 dpi tương ứng với 0.085 mm. Kích thước mẫu thiết kế phải phù hợp với kích thước mẫu (giấy) vật liệu MMs định in. Thời gian thực hiện quá trình này phụ thuộc vào mức độ phức tạp của cấu trúc vật liệu MMs, với cấu trúc vật liệu MMs thông thường, thời gian thực hiện quá trình khoảng 30 phút đến 2 giờ.

(ii) Chuẩn bị hệ in:

Để đảm bảo các tính chất của vật liệu MMs, mực dẫn điện được sử dụng là mực dẫn điện nano bạc cần có điện trở suất khoảng 0.007 Ohm/sq và độ nhớt khoảng 9000 mPa.s. Để đảm bảo tính đồng đều về độ dẫn trên các cấu trúc của vật liệu MMs, các hạt nano kim loại bạc cần được khuếch tán đều trong mực dẫn điện, do vậy cần lắc đều mực dẫn điện trong thời gian khoảng 03 phút trước khi nạp mực vào khay mực của máy in. Cấu trúc vật liệu MMs thông thường có lớp nền là vật liệu điện môi như được mô tả trong Hình 3, trong quy trình này vật liệu điện môi được chọn là giấy in ảnh với độ dày, độ điện thẩm và độ tổn hao phù hợp với tính chất của vật liệu MMs cần chế tạo. Trong quy trình này máy in phun sử dụng kỹ thuật áp điện để phun mực, với kỹ thuật này các giọt mực phun ra có hình dạng và kích thước đồng đều, cỡ vài picoliters, nên cấu trúc bề mặt của vật liệu MMs thu được cho độ đồng đều, độ sắc nét cao đảm bảo đạt được các tính dẫn điện mong muốn của vật liệu MMs. Kỹ thuật phun mực vào giấy dùng hiệu ứng áp điện được thực hiện bằng cách sử dụng các mảnh thạch anh vô cùng nhỏ tại các đầu phun, khi cho dòng điện đi qua, các mảnh thạch anh này nở ra và ép mực phun vào giấy. Vì kỹ thuật in phun dùng hiệu ứng áp điện không dùng nhiệt như kỹ thuật in sử dụng điện trở nung nóng mực nên không làm ảnh hưởng đến chất lượng mực dẫn điện và kết cấu của cấu trúc vật liệu MMs được chế tạo. Kết nối máy in phun với máy tính qua cổng USB. Thời gian để thực hiện bước này khoảng 5 phút.

(iii) In cấu trúc:

Tiến hành đặt lệnh in từ máy tính để chế tạo vật liệu MMs với hệ thống in phun mực dẫn điện nano bạc như đối với các máy in phun thông thường bằng phần mềm thương mại đi kèm. Quá trình này mất khoảng 1 đến 2 phút để thu được một mẫu vật liệu MMs có kích thước 100x150 mm và có thể thực hiện liên tục với số lượng lớn các mẫu vật liệu MMs có cùng hoặc khác thiết kế cấu trúc. Kết thúc quá trình cần chú ý tắt hệ thống máy in phun bằng nút mở/tắt, sau đó khoảng 1 đến 2 phút mới ngắt điện hệ thống máy in phun. Điều này đảm bảo đầu in phun đủ thời gian đi về vị trí bảo quản của nó, tại đó đầu in phun được bảo quản bằng các đầu cao su, tránh cho mực bị khô dẫn đến tắc nghẽn ở các lần in phun tiếp theo. Vật liệu MMs in được sau đó để khô tự nhiên trong 3 phút để bề mặt mực ổn định.

Như vậy vật liệu MMs hoạt động ở vùng tần số GHz chế tạo được bằng quy trình in phun mực dẫn điện, sử dụng vật liệu điện môi là giấy in sẽ làm cho vật liệu MMs có tính mềm dẻo linh hoạt do đó dễ dàng ứng dụng trong thực tế. Đồng thời quy trình này giúp cho việc chế tạo vật liệu MMs với số lượng lớn, độ đồng đều cao, tiết kiệm thời gian và chi phí, đặc biệt hạn chế được việc sử dụng các hóa chất như trong phương pháp chế tạo quang khắc truyền thống.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1. Quy trình chế tạo vật liệu biến hóa MMs hoạt động ở tần số GHz bằng phương pháp quang khắc truyền thống.

Hình 2. Quy trình chế tạo vật liệu biến hóa hoạt động ở vùng tần số GHz bằng in phun mực dẫn điện.

Hình 3. Cấu trúc vật liệu SRR hấp thụ tuyệt đối sóng điện từ phổ biến gồm ba lớp vật liệu: cấu trúc dẫn điện/lớp điện môi/lớp kim loại tương ứng với lớp màu bạc/lớp màu cam/lớp màu bạc.

Hình 4. Minh họa màn hình máy tính đang thiết kế một cấu trúc bề mặt vật liệu MMs bằng phần mềm AutoCAD.

Hình 5. Ảnh SEM và phân tích thành phần EDX vật liệu mực dẫn điện nano bạc LOCTITE ECI 1010 E&C sau khi được in trên giấy.

Hình 6. Vật liệu MMs được in trên giấy có tính mềm dẻo linh hoạt.

Hình 7. Phổ hấp thụ thực nghiệm (a) và mô phỏng (b) của vật liệu MMs có cấu trúc SRR chế tạo được.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích là đề xuất Quy trình chế tạo vật liệu biến hóa (metamaterials - MMs) hoạt động ở vùng tần số GHz bằng in phun mực dẫn điện. Quy trình được mô tả ở Hình 2, bao gồm các bước:

(i) Thiết kế cấu trúc vật liệu MMs: Các bộ cộng hưởng của cấu trúc vật liệu MMs cần chế tạo được thiết kế bằng phần mềm đồ họa thương mại AutoCAD hoặc phần mềm phổ thông Powerpoint đã được chọn hệ đơn vị độ dài là mm. Các thông số hình học của một ô cơ sở cấu trúc và khoảng cách giữa các ô cơ sở được đưa vào bản thiết kế là các thông số thật với đơn vị mm. Kích thước của vật liệu MMs được thiết kế tương ứng với kích thước của giấy in và kích thước của vật liệu MMs cần chế tạo.

(ii) Chuẩn bị hệ in: Sử dụng mực dẫn điện nano bạc có điện trở suất khoảng 0.007 Ohm/sq và độ nhớt khoảng 9000 mPa.s, lắc đều mực dẫn điện trong thời gian khoảng 3 phút để các hạt nano bạc được khuếch tán đều trong mực. Lựa chọn loại giấy in ảnh có kích thước (chiều dài, chiều rộng, độ dày), độ điện thẩm và độ tổn hao phù hợp với kích thước, tính chất của vật liệu MMs cần chế tạo. Lựa chọn máy in phun sử dụng kỹ thuật in phun dùng hiệu ứng áp điện có bình tiếp mực ngoài. Sau đó bơm mực dẫn điện nano bạc vào khay mực của máy in phun và nạp vật liệu điện môi là giấy in ảnh vào khay chứa giấy in. Kết nối máy in với máy tính có chứa file thiết kế.

(iii) In cấu trúc: Tiến hành đặt lệnh in cấu trúc đã thiết kế từ máy tính để tạo vật liệu MMs với hệ thống in phun mực dẫn điện nano bạc như đối với các hệ thống in phun thông thường. Vật liệu MMs sau khi in được để khô tự nhiên trong 3 phút để bề mặt mực ổn định. Kết thúc quá trình, hệ thống máy in phun được tắt bằng nút mở/tắt, sau đó khoảng 1 đến 2 phút mới ngắt điện hệ thống máy in phun.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Ví dụ: Quy trình chế tạo vật liệu biến hóa hấp thụ MMs cấu trúc vòng cộng hưởng bị cắt (Split Ring Resonant – SRR) trên giấy in ảnh hoạt động ở tần số 10 GHz có tính mềm dẻo linh hoạt.

Cấu trúc vật liệu MMs hấp thụ tuyệt đối sóng điện từ phổ biến gồm ba lớp vật liệu (xem Hình 3) trong đó lớp thứ nhất trên cùng là cấu trúc vòng cộng hưởng SRR đóng vai trò là các bộ cộng hưởng, lớp thứ hai là lớp điện môi được chọn là giấy in ảnh và lớp cuối cùng

là một lớp kim loại liên tục. Lớp kim loại này đóng vai trò như bề mặt phản xạ hoàn toàn sóng điện từ. Trong quy trình này lớp thứ nhất (cấu trúc cộng hưởng) và lớp thứ hai (điện môi) sẽ được chế tạo. Khi phủ lớp vật liệu MMs được chế tạo lên bề mặt kim loại sẽ làm kim loại chuyển từ phản xạ sang hấp thụ. Trong ví dụ này, vật liệu MMs có cấu trúc vòng cộng hưởng bị cắt SRR được tối ưu bằng tính toán và mô phỏng cho tính chất hấp thụ tuyệt đối sóng điện từ ở tần số khoảng 10 GHz. Vật liệu MMs này sau khi in sẽ được phủ lên trên một bề mặt kim loại ở mặt dưới để đo đạc và kiểm chứng. Quy trình chế tạo vật liệu hấp thụ MMs có cấu trúc vòng cộng hưởng bị cắt SRR như sau:

(i) Thiết kế cấu trúc vật liệu MMs: Các bộ cộng hưởng của cấu trúc vật liệu MMs cần chế tạo có cấu trúc là các vòng cộng hưởng bị cắt SRR như trong Hình 3, được thiết kế bằng phần mềm đồ họa thương mại AutoCAD như trong Hình 4. Các thông số hình học của một ô cơ sở cấu trúc và khoảng cách giữa các ô cơ sở được chỉ ra trong Hình 3 gồm kích thước của vòng cộng hưởng $l = 8$ mm, độ rộng của vòng cộng hưởng $g = 1$ mm, kích thước w và c của khe hẹp bị cắt của vòng cộng hưởng lần lượt là 4 mm và 1 mm, kích thước ô cơ sở $a = 17$ mm. Kích thước của vật liệu MMs được thiết kế trong phần mềm AutoCAD với chiều rộng và chiều dài tương ứng là 100 mm và 150 mm.

(ii) Chuẩn bị hệ in: Lựa chọn mực dẫn điện là mực dẫn điện nano bạc thương mại (LOCTITE ECI 1010 E&C) với đặc tính dẫn điện sử dụng các hạt nano bạc kích thước $< 1\mu\text{m}$ (xem Hình 5). Mực dẫn điện nano bạc được sử dụng có điện trở suất 0.007 Ohm/sq với độ dày khi in là $25\mu\text{m}$ và độ nhớt 9000 mPa.s . Mực dẫn điện nano bạc được lắc đều trong thời gian 3 phút để các hạt nano bạc được khuếch tán đều trong mực. Điện môi giấy in được chọn là giấy in thương mại phổ thông dùng trong in ảnh KP-108 kích thước $100\times 150\text{ mm}^2$ của Canon có độ điện thẩm và tổn hao tương ứng là 2.5 và 0.003. Máy in phun sử dụng kỹ thuật in phun dùng hiệu ứng áp điện có bình tiếp mực ngoài được chọn là máy in thương mại phổ thông EPSON L310. Sau đó bơm mực dẫn điện nano bạc vào khay mực của máy in phun và nạp vật liệu điện môi là giấy in ảnh vào khay chứa giấy in. Kết nối máy in với máy tính có chứa file thiết kế trên phần mềm AutoCAD.

(iii) In cấu trúc: Tiến hành đặt lệnh in cấu trúc đã thiết kế từ máy tính để tạo vật liệu MMs với hệ thống in phun mực dẫn điện nano bạc như đối với các hệ thống in phun thông thường. Vật liệu MMs sau khi in được để khô tự nhiên trong 3 phút để bề mặt mực ổn định. Kết thúc quá trình, hệ thống máy in phun được tắt bằng nút mở/tắt, sau đó khoảng 1 đến 2

phút mới ngắt điện hệ thống máy in phun. Mỗi lần nạp 100 ml mực dẫn điện có thể in liên tiếp được từ 20 (độ phủ 100%) đến 60 (độ phủ 30%) mẫu vật liệu MMs trên giấy in ảnh kích 100x150 mm².

Kết quả thu được sản phẩm vật liệu MMs như trong Hình 6. Mẫu vật liệu MMs chế tạo được sau đó đã được thực nghiệm đo đặc bằng hệ thống phân tích mạng (Vector Network Analyzer ZNB20 của Rhode&Schwarz) cho kết quả phổ hấp thụ gần như tuyệt đối ở tần số khoảng 10 GHz (Hình 7), phù hợp tốt với kết quả mô phỏng thiết kế. Rõ ràng vật liệu MMs chế tạo được có tính mềm dẻo linh hoạt dễ dàng ứng dụng được trong thực tế, đồng thời quá trình chế tạo tiết kiệm thời gian và chi phí và đặc biệt hạn chế sử dụng hóa chất so với phương pháp chế tạo quang khắc truyền thống.

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Việc sử dụng phương pháp in phun mực dẫn điện trong chế tạo vật liệu MMs đảm bảo được tính chất của mẫu vật liệu MMs, có thiết kế đơn giản, chi phí thấp, không phải sử dụng nhiều hóa chất trong quá trình chế tạo, không phải xử lý các hóa chất dư thừa, rút ngắn thời gian chế tạo, vật liệu MMs chế tạo được có độ đồng đều và độ ổn định cao do hạn chế được ảnh hưởng của yếu tố như nồng độ hóa chất, thời gian của các phản ứng hóa học, độ đồng đều của dung dịch hóa học. Đồng thời vật liệu MMs có thể chế tạo được trên nhiều chất liệu điện môi khác nhau trong đó có các chất liệu điện môi có tính mềm dẻo linh hoạt như các loại giấy in ảnh giúp nâng cao hiệu quả ứng dụng linh hoạt của vật liệu MMs.

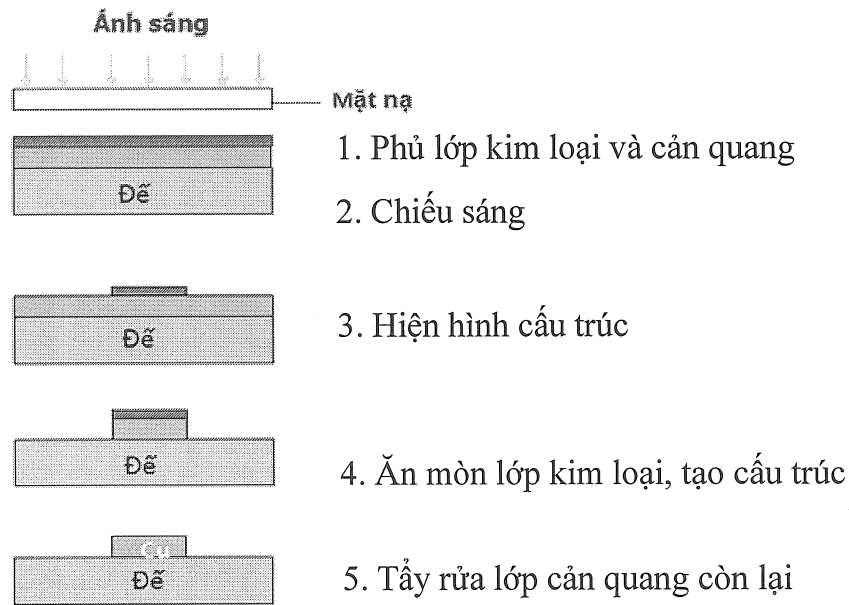
YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình chế tạo vật liệu biến hóa (metamaterials - MMs) hoạt động ở vùng tần số GHz bằng in phun mực dẫn điện, bao gồm các bước sau:

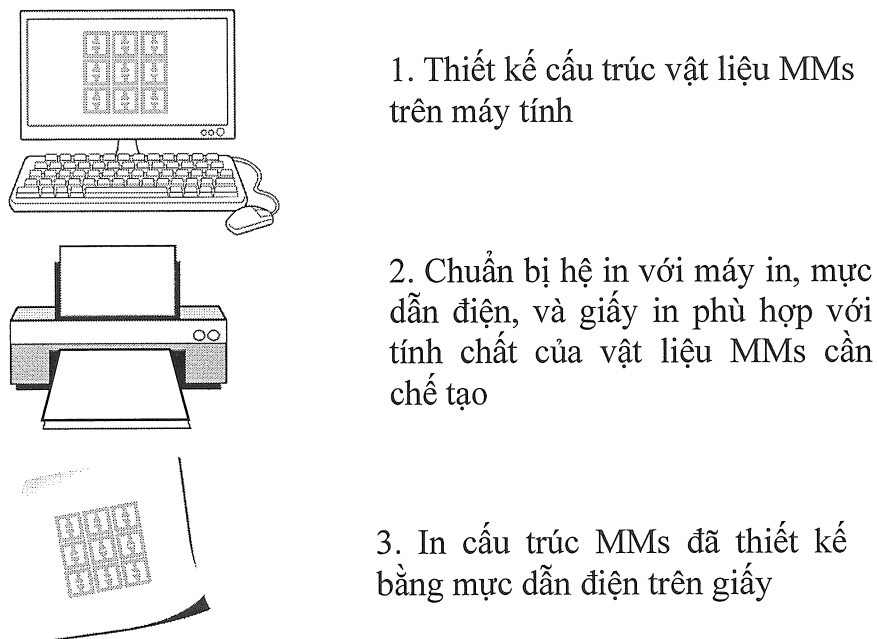
i) thiết kế cấu trúc vật liệu MMs: các bộ cộng hưởng của cấu trúc vật liệu MMs cần chế tạo được thiết kế bằng phần mềm đồ họa thương mại AutoCAD hoặc phần mềm phổ thông Powerpoint; các thông số hình học của một ô cơ sở cấu trúc và khoảng cách giữa các ô cơ sở được đưa vào bản thiết kế là các thông số thật với đơn vị mm; kích thước của vật liệu MMs được thiết kế tương ứng với kích thước của giấy in và kích thước của vật liệu MMs cần chế tạo;

(ii) chuẩn bị hệ in: sử dụng mực dẫn điện nano bạc có điện trở suất khoảng 0.007 Ohm/sq và độ nhớt khoảng 9000 mPa.s, lắc đều mực dẫn điện trong thời gian khoảng 3 phút để các hạt nano bạc được khuếch tán đều trong mực; lựa chọn loại giấy in ảnh có kích thước (chiều dài, chiều rộng, độ dày), độ điện thẩm và độ tổn hao phù hợp với kích thước, tính chất của vật liệu MMs cần chế tạo; lựa chọn máy in phun sử dụng kỹ thuật in phun dùng hiệu ứng áp điện có bình tiếp mực ngoài; sau đó bơm mực dẫn điện nano bạc vào khay mực của máy in phun và nạp vật liệu điện môi là giấy in ảnh vào khay chứa giấy in; kết nối máy in với máy tính có chứa file thiết kế.

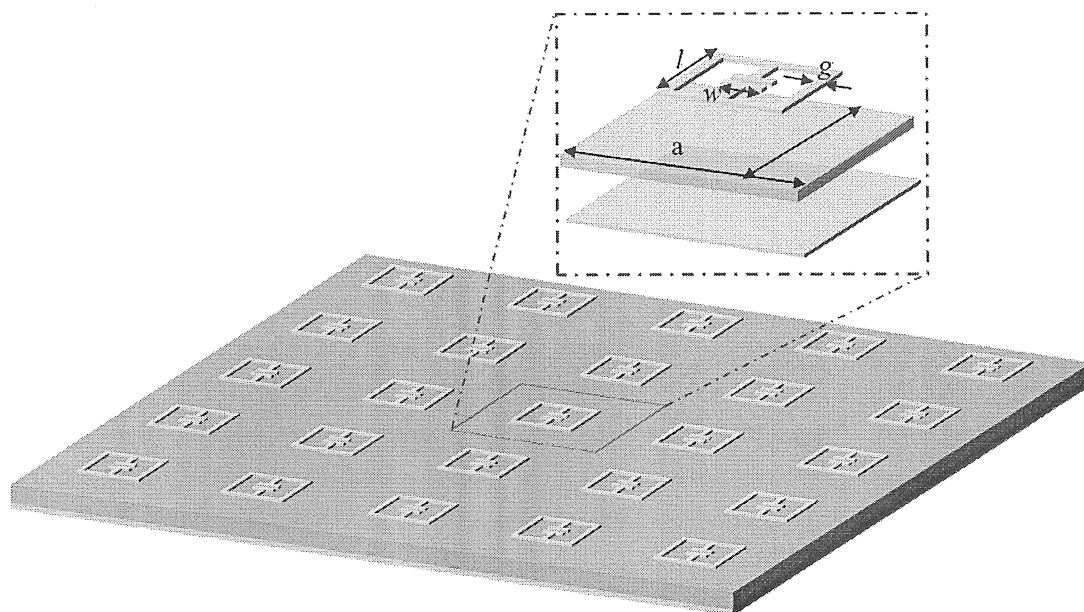
(iii) in cấu trúc: tiến hành đặt lệnh in cấu trúc đã thiết kế từ máy tính để tạo vật liệu MMs với hệ thống in phun mực dẫn điện nano bạc; vật liệu MMs sau khi in được để khô tự nhiên trong 3 phút để bề mặt mực ổn định; kết thúc quá trình, hệ thống máy in phun được tắt bằng nút mở/tắt, sau đó khoảng 1 đến 2 phút mới ngắt điện hệ thống máy in phun.



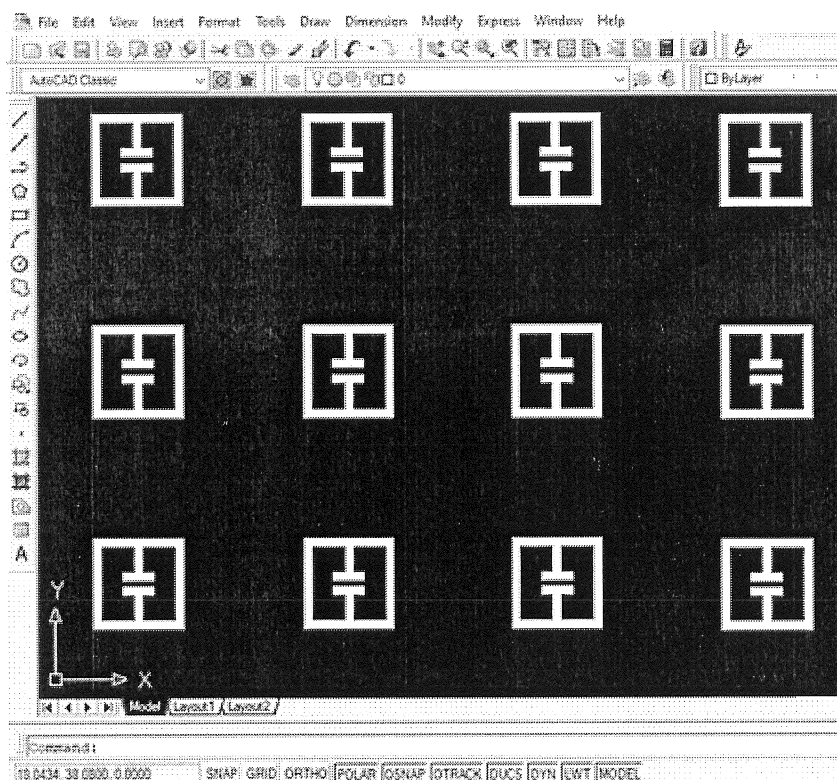
Hình 1



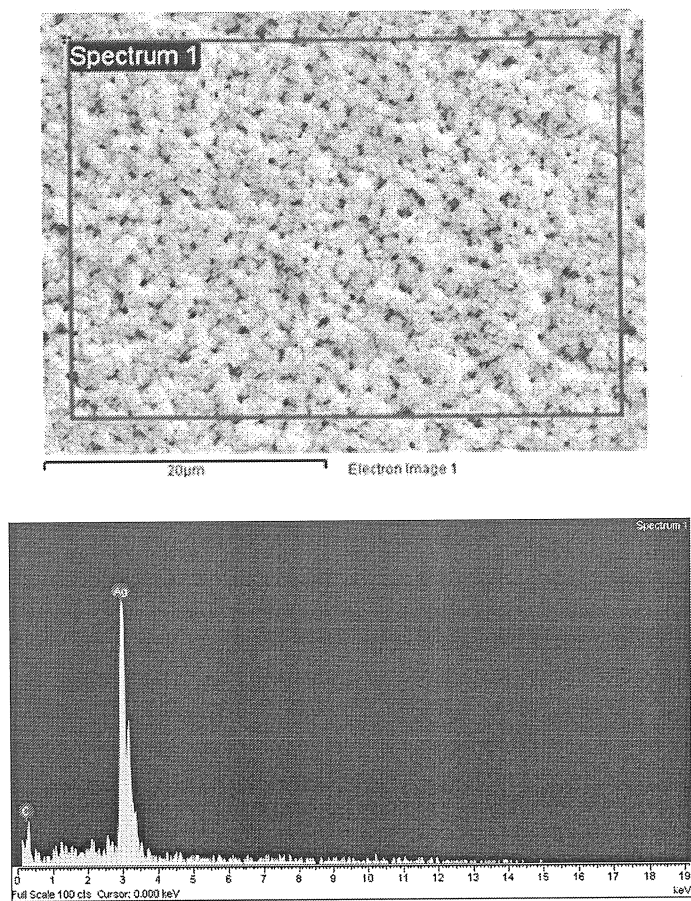
Hình 2



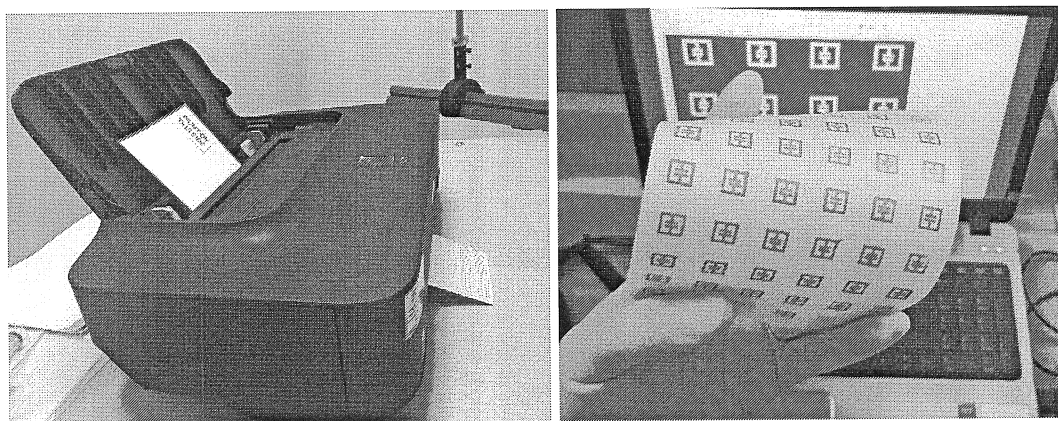
Hình 3



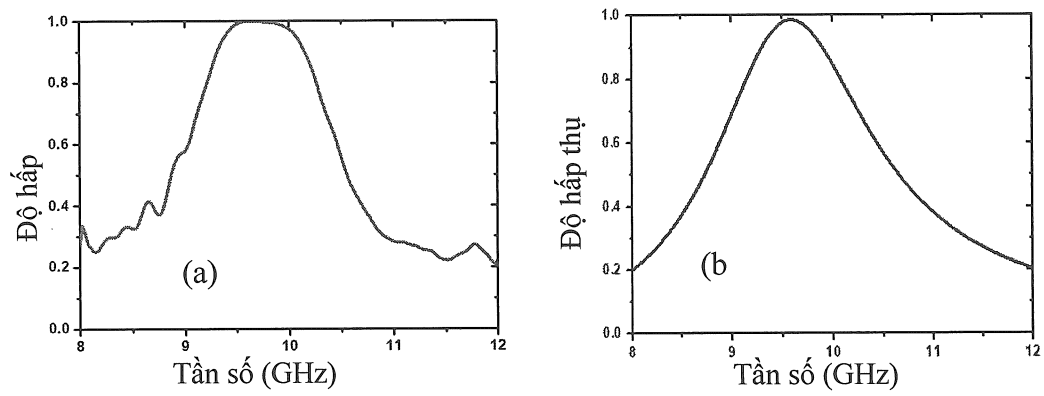
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7