

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM**

**TRẦN TIẾN LÂM**

**THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG VẬT LIỆU META  
CÓ KÍCH THƯỚC SIÊU NHỎ HẤP THỤ SÓNG ĐIỆN TỪ  
TRONG VÙNG TẦN SỐ LTE/ BLUETOOTH/ WIMAX**

**Ngành: VẬT LÝ CHẤT RẮN**

**Mã số: 8.44.01.04**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ**

**Cán bộ hướng dẫn khoa học: 1. TS. Vũ Thị Hồng Hạnh  
2. TS. Bùi Xuân Khuyến**

**THÁI NGUYÊN - 2020**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn của TS. Vũ Thị Hồng Hạnh và TS. Bùi Xuân Khuyến. Các số liệu, kết quả trong luận văn là trung thực và chưa được công bố trong các công trình nghiên cứu khác.

**Học viên**

*Trần Tiến Lâm*

## LỜI CẢM ƠN

Trước tiên, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất tới TS. Vũ Thị Hồng Hạnh và TS. Bùi Xuân Khuynh. Thầy Cô đã luôn tận tình hướng dẫn, định hướng kịp thời và tạo điều kiện thuận lợi nhất để tôi hoàn thành luận văn này.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn GS. TS. Vũ Đình Lãm (Học viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam), TS. Bùi Sơn Tùng, TS. Nguyễn Thị Hiền, CN. Nguyễn Văn Ngọc đã giúp đỡ và trao đổi các ý tưởng khoa học liên quan đến các công trình của luận văn.

Tôi xin gửi lời cảm ơn đến các thành viên trong Nhóm nghiên cứu Metamaterials tại Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã giúp đỡ, hỗ trợ tôi trong suốt thời gian thực hiện đề tài nghiên cứu tại Viện.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất đến Ban giám hiệu cùng Thầy Cô trong Khoa Vật lý - Trường Đại học Sư phạm Thái Nguyên đã dày công trang bị tri thức, tạo mọi điều kiện thuận lợi cùng môi trường mô phạm hiện đại giúp cho tôi trưởng thành hơn trong quá trình học tập.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến gia đình, bạn bè cùng đồng nghiệp đã luôn ở bên cạnh động viên tôi vượt qua những khó khăn trong suốt quá trình thực hiện luận văn.

**Học viên**

*Trần Tiến Lâm*

## MỤC LỤC

|  |           |
|--|-----------|
| LỜI CAM ĐOAN .....   | i         |
| LỜI CẢM ƠN .....   | ii        |
| MỤC LỤC.....   | iii       |
| DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT.....   | iv        |
| DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ.....  | v         |
| MỞ ĐẦU .....   | 1         |
| <b>Chương 1: TỔNG QUAN .....</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1. Giới thiệu chung về vật liệu biến hóa .....   | 5         |
| 1.2. Lịch sử hình thành và phát triển của vật liệu biến hóa .....  | 8         |
| 1.3. Định nghĩa và phân loại vật liệu biến hóa hấp thụ tuyệt đối sóng<br>điện từ .....                                   | 11        |
| 1.4. Cơ chế hấp thụ của vật liệu biến hóa .....  | 13        |
| 1.5. Ứng dụng của vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ .....   | 14        |
| <b>Chương 2: PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU .....</b>  | <b>17</b> |
| 2.1. Phương pháp mô phỏng .....  | 18        |
| 2.2. Phương pháp chế tạo .....   | 20        |
| 2.3. Phương pháp đo đạc.....   | 22        |
| <b>Chương 3: ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÀNH PHẦN NGOẠI VI LÊN ĐẶC<br/>TÍNH HẤP THỤ SÓNG ĐIỆN TỪ CỦA VẬT LIỆU BIẾN HÓA .....</b> | <b>24</b> |
| 3.1. Tích hợp MPA với tụ điện và cuộn cảm.....   | 24        |
| 3.2. Điều khiển dải tần số hấp thụ của vật liệu biến hóa trong vùng tần<br>số WIMAX/WLAN .....                           | 31        |
| <b>KẾT LUẬN CHUNG VÀ KIẾN NGHỊ .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN VĂN.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>   | <b>40</b> |

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT

| <b>Ký hiệu</b> | <b>Tên tiếng Anh</b>           | <b>Tên tiếng Việt</b>               |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| CST            | Computer Simulation Technology | Công nghệ mô phỏng bằng máy tính    |
| CW             | Cut - Wire                     | Dây bị cắt                          |
| MM             | Metamaterial                   | Vật liệu biến hóa                   |
| MPA            | Metamaterial Perfect Absorber  | Vật liệu biến hóa hấp thụ tuyệt đối |
| SRR            | Split - Ring Resonator         | Vòng cộng hưởng có rãnh             |
| TE             | Transverse Electric            | Điện trường ngang                   |
| TM             | Transverse Magnetic            | Từ trường ngang                     |

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Hình 1.1: | So sánh cấu trúc giữa vật liệu truyền thống và vật liệu biến hóa .....   | 7  |
| Hình 1.2: | Sơ đồ mô tả các tín hiệu phát (a) và tín hiệu thu (b) từ hai phía của môi trường .....   | 8  |
| Hình 1.3: | (a) Vật liệu có chiết suất âm hoạt động ở vùng tần số GHz; (b) Phổ phản xạ và truyền qua tương ứng.....  | 9  |
| Hình 1.4: | Nguyên tắc hoạt động của siêu thấu kính dựa trên vật liệu biến hóa có chiết suất âm .....  | 10 |
| Hình 1.5: | Nguyên lý hoạt động của áo choàng tàng hình. Nhờ cách sắp xếp các lớp vật liệu biến hóa có chiết suất khác nhau (hình a) một cách hợp lý xung quanh vật thể, ánh sáng có thể bị bẻ cong không phản xạ (hình b) vì vậy vật thể trở nên "tàng hình" .....  | 11 |
| Hình 1.6: | (a) Các thành phần cấu thành nên vật liệu biến hóa hấp thụ tuyệt đối sóng điện từ (từ trái sang phải): vòng cộng hưởng có rãnh (SRR), thanh kim loại bị cắt (CW) và cấu trúc kết hợp MPA; (b) So sánh phổ hấp thụ trong trường hợp mô phỏng (đỏ), thực nghiệm (xanh lục) và tính toán (nét đứt) và độ hấp thụ thay đổi theo góc tới của sóng điện từ. .... | 12 |
| Hình 1.7: | Một số ứng dụng nổi bật của vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ trong thực tế, từ trái sang phải: Cảm biến y sinh, vi nhiệt kế và ảnh nhiệt .....   | 15 |
| Hình 2.1: | Sơ đồ phương pháp nghiên cứu của luận văn .....  | 17 |
| Hình 2.2: | Hình ảnh minh họa phần mềm thương mại CST .....  | 19 |
| Hình 2.3: | Quy trình và hệ thiết bị chế tạo vật liệu biến hóa tại IMS .....   | 20 |
| Hình 2.4: | Các bước chế tạo vật liệu biến hóa .....   | 21 |
| Hình 2.5: | Một số mẫu chế tạo bằng phương pháp quang khắc mạch in tiêu chuẩn với các cấu trúc hình dạng khác nhau.....  | 22 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Hình 2.6: | Hệ đo Vector Network Analyzer Rodge & Schawarz ZNB20 đặt tại Viện Khoa học vật liệu. Ký hiệu $\theta$ là góc tới của sóng điện từ đến bề mặt mẫu MPAs.....   | 23 |
| Hình 3.1: | (a) Sơ đồ thiết kế của ô cơ sở MPA được đề xuất. Sự phụ thuộc của độ hấp thụ mô phỏng theo sự biến đổi của (b) tụ điện và (c) cuộn cảm được tích hợp tại các rãnh của cấu trúc MPA đề xuất .....   | 25 |
| Hình 3.2: | Phổ hấp thụ mô phỏng theo góc tới của sóng điện từ trong trường hợp phân cực (a) TE và (b) TM, trong trường hợp chỉ tích hợp tụ điện $C = 200$ pF.....   | 26 |
| Hình 3.3: | Phổ hấp thụ mô phỏng theo góc tới của sóng điện từ trong trường hợp phân cực (a) TE và (b) TM, trong trường hợp chỉ tích hợp cuộn cảm $L = 200$ nH.....  | 26 |
| Hình 3.4: | Mô phỏng sự phân bố 3 chiều cho năng lượng từ trường cảm ứng và năng lượng tổn hao tại tần số (a) - (b) 106,3 MHz và (c) - (d) 1,9 GHz.....  | 27 |
| Hình 3.5: | Thiết kế cấu trúc ô cơ sở (bên trái) và mẫu chế tạo (bên phải) của MPA tích hợp với hai loại tụ điện để đạt được hấp thụ đỉnh kép tại 106 MHz và 123 MHz.....  | 28 |
| Hình 3.6: | So sánh phổ mô phỏng và thực nghiệm trong các trường hợp góc tới TE: (a) $5^\circ$ , (b) $15^\circ$ , (c) $30^\circ$ , (d) $45^\circ$ và (e) $55^\circ$ .....  | 29 |
| Hình 3.7: | Mô hình điều khiển độ hấp thụ của BMPA đa lớp. $D_1$ và $D_2$ tương ứng là đường kính của đĩa tròn tại vị trí trên cùng và dưới cùng của hình nón cụt. $t_1$ và $L$ tương ứng là chiều dày của đế điện môi (FR-4) và chiều cao của mực nước tích hợp vào không gian giữa các ô cơ sở ..... | 31 |
| Hình 3.8: | Sự phụ thuộc của phổ hấp thụ vào độ cao ( $L$ ) của môi trường nước được tích hợp vào trong cấu trúc BMPA .....  | 32 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Hình 3.9:  | Phân bố mật độ dòng điện cảm ứng tại tần số 4.7 GHz trong trường hợp $L = 3$ mm .....                                      | 33 |
| Hình 3.10: | Phân bố năng lượng (a) điện trường cảm ứng và (b) từ trường cảm ứng tại tần số 4.7 GHz trong trường hợp $L = 3$ mm.....    | 34 |
| Hình 3.11: | Phổ hấp thụ mô phỏng với (a) sự thay đổi của góc tới và (b) góc phân cực của sóng điện từ trong trường hợp $L = 1$ mm..... | 35 |



## MỞ ĐẦU

Những năm gần đây, cuộc cách mạng khoa học công nghệ trong việc tìm kiếm và nghiên cứu vật liệu mới diễn ra rất sôi động trong nước cũng như trên toàn thế giới. Mục tiêu của cuộc cách mạng này hướng đến việc tìm ra các loại vật liệu mới với hiệu năng sử dụng cao, dễ dàng sản xuất thương mại với chi phí rẻ và có tính chất điện từ vượt trội hơn so với vật liệu truyền thống. Trong quá trình nghiên cứu, xuất phát từ các mô hình tính toán lý thuyết, các nhà khoa học đã tìm ra và kiểm chứng một loại vật liệu nhân tạo mới có tên là vật liệu biến hóa (Metamaterials - MMs) mà tính chất điện từ của chúng được điều khiển bằng cách sắp xếp các cấu trúc cộng hưởng (giả nguyên tử) khác nhau [27]. Hiện nay đã có rất nhiều hướng nghiên cứu khác nhau về MMs, điển hình như tại Việt Nam đang triển khai nghiên cứu cả về lý thuyết và thực nghiệm đối với các MMs chiết suất âm, MMs trong suốt cảm ứng điện từ và MMs và dẫn truyền năng lượng không dây dựa trên MMs.

Ngoài ra, một trong số các hướng nghiên cứu có tiềm năng lớn là vật liệu biến hóa hấp thụ tuyệt đối sóng điện từ (Metamaterial Perfect Absorbers - MPAs). Vật liệu này được đề xuất và chế tạo lần đầu tiên vào năm 2008 bởi Landy và các cộng sự. Landy đã chỉ ra rằng, nếu đồng thời điều khiển được  $\epsilon_{eff} = \mu_{eff}$  và duy trì cộng hưởng điện (hoặc từ) mạnh thì MMs sẽ hấp thụ gần như tuyệt đối sóng điện từ trong một thể tích không gian siêu nhỏ (chiều dày có thể giảm xuống  $\lambda/30$  so với bước sóng hấp thụ). Khám phá này đã vượt qua các giới hạn về kích thước vật liệu hấp thụ truyền thống ( $\lambda/4$ ) nên đang được rất nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới quan tâm và phát triển cho các ứng dụng quốc phòng an ninh, y sinh [36]. Bên cạnh đó, MPAs còn có rất nhiều ưu điểm như mỏng nhẹ, dễ chế tạo, giá thành rẻ, dễ dàng điều khiển tính chất điện từ dựa trên tác động ngoại vi cũng như dễ dàng tích hợp với các thiết bị điện tử như bộ lọc tần số [1], cảm biến y sinh [35].

Với các tính chất đặc biệt và khả năng ứng dụng cao trong thực tế, vật liệu biến hóa đã thu hút được sự quan tâm không nhỏ của các nhà nghiên cứu khoa học trong và ngoài nước. Thống kê cho thấy số lượng các bài báo và công trình nghiên cứu khoa học trong nước và quốc tế tăng lên nhanh chóng trong thời gian gần đây. Tại Việt Nam, các nhóm nghiên cứu về vật liệu biến hóa đã và đang dần tiếp cận các mô hình mới của MPAs ở dải tần số thấp cho định hướng ứng dụng trong thông tin liên lạc - viễn thông. Trong đó, tiên phong là nhóm nghiên cứu MMs tại Viện khoa học vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (IMS - MetaGroup) của GS. TS. Vũ Đình Lãm đã phát triển cùng bề dày kinh nghiệm trong mô phỏng - chế tạo và đo đạc.

Những năm gần đây, chính phủ các nước phát triển cũng đã ưu tiên sử dụng công nghệ cao vào các lĩnh vực giáo dục, nông nghiệp, y tế, ... đặc biệt là công nghệ viễn thông. Nhận thấy tầm quan trọng và xu hướng phát triển của MMs, Thủ tướng Chính phủ đã ra Quyết định số 66/2014/QĐ-TTg và 13/2017/QĐ-TTg về việc phê duyệt và sửa đổi, bổ sung danh mục công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển và danh mục sản phẩm công nghệ cao được khuyến khích phát triển, trong đó có Công nghệ chế tạo vật liệu bán dẫn, quang điện tử, quang tử và siêu vật liệu biến hóa (Metamaterials). Trong đó, công nghệ giao tiếp trường gần hiện đang chiếm phần lớn thời gian và tâm huyết của các nhà nghiên cứu và phát triển ứng dụng nhằm tìm ra những giải pháp mới cho các thiết bị đa năng với kích thước nhỏ gọn mà vẫn duy trì được hiệu suất hoạt động ổn định trong phạm vi rộng. Do đó, vật liệu biến hóa hiện đang là giải pháp tiên phong trong lĩnh vực nghiên cứu và ứng dụng tại vùng tần số thấp. Đã có rất nhiều các đề xuất hiệu quả nhằm thu nhỏ kích thước ô cơ sở của MPAs định hướng cho các ứng dụng trong vùng tần số Rada và vô tuyến như: công nghệ nhận dạng bằng tần số vô