

# NGHIÊN CỨU SỰ TƯƠNG TÁC CỦA SÓNG ĐIỆN TỪ VỚI GIẢ VẬT LIỆU (METAMATERIALS)

## TỔNG QUAN

Một trong những thách thức thú vị của khoa học vật liệu hiện đại là thiết kế và chế tạo vật liệu có những tính chất mà có thể điều khiển được theo yêu cầu. Trong lĩnh vực photonics điều này đã trở thành hiện thực với sự ra đời của tinh thể photonics, đặc biệt là siêu vật liệu metamaterials. Siêu vật liệu metamaterials là những vật liệu nhân tạo, được hình thành từ các cấu trúc cơ bản, đóng vai trò như những "nguyên tử" trong vật liệu. Những "nguyên tử" này được sắp xếp với nhau một cách tuần hoàn hoặc không tuần hoàn, gồm hai thành phần chính đó là thành phần điện và thành phần từ. Các cấu trúc này được thiết kế để tạo ra những tương tác theo mong muốn với trường ngoài. Dựa trên ý tưởng ban đầu, siêu vật liệu metamaterials là sự kết hợp hoàn hảo của hai thành phần điện và từ tạo nên vật liệu đồng thời có độ từ thẩm và độ điện thẩm âm ( $\mu < 0$ ,  $\epsilon < 0$ ) trên cùng một dải tần số. Từ đó dẫn đến những tính chất điện từ và quang học bất thường, trong đó có sự nghịch đảo của định luật Snell, sự nghịch đảo trong dịch chuyển Doppler, và sự nghịch đảo của phát xạ Cherenkov, đặc biệt 3 véc tơ của sóng điện từ:  $k$ ,  $H$ , và  $E$  tuân theo qui tắc tam diện nghịch (left-handed metamaterials).

Một trong những điều thú vị và quan trọng nhất của siêu vật liệu metamaterials là cấu trúc của nó có thể được thiết kế và chế tạo để hoạt động trên các dải tần số khác nhau, từ microwave [1] cho tới THz [2-4], hay hồng ngoại gần [5,6] và thậm chí tới vùng ánh sáng nhìn thấy [7-9]. Khả năng hoạt động linh hoạt trong các vùng tần số khác nhau, đặc biệt là vùng THz (the so-called terahertz gap), giúp cho siêu vật liệu có thể thay thế vật liệu tự nhiên trong những ứng dụng mà tại đó vật liệu tự nhiên chưa đáp ứng được.

Có thể kể ra rất nhiều những ứng dụng kì diệu của siêu vật liệu này đã được các nhà khoa học nghiên cứu bằng lý thuyết và chứng minh bằng thực nghiệm. Một ví dụ thú vị nhất chắc chắn phải kể đến đó là siêu thấu kính (perfect lens) [10]. Siêu thấu kính được đề xuất bởi Pendry liên quan tới khả năng của một loại thấu kính có khả năng vượt qua giới hạn quang học cổ điển. Một ứng dụng đặc biệt khác không thể không nhắc tới đó là "áo khoác tàng hình" được đề xuất và kiểm chứng bởi Schurig và đồng nghiệp năm 2006 [11, 12] tại tần số sóng Rada và rất gần đây (năm 2011) đã được Shuang Zhang [13,14], Baile Zhang [15] và cộng sự tìm thấy ở vùng ánh sáng nhìn thấy. Bằng cách điều khiển khéo léo tính chất điện từ của lớp vỏ siêu vật liệu, đường đi của sóng điện từ trong lớp vỏ này có thể bị bẻ cong một cách hoàn hảo. Theo nguyên lý đó, một lớp vỏ siêu vật liệu có thể dẫn sóng điện từ đi vòng quanh một vật thể, biến nó trở thành "tàng hình" một cách thực sự. Ngoài những ứng dụng kì diệu rõ ràng kể trên, siêu vật liệu còn tỏ ra rất tiềm năng trong các lĩnh vực khác như bộ lọc tần số [16], cộng hưởng [17], antennas [18], siêu hấp thụ [19,20], và cảm biến sinh học [21] v.v.

Vì những tính chất độc đáo và khả năng ứng dụng to lớn của siêu vật liệu, gần đây, tạp chí Materials Today đã xếp siêu vật liệu vào 1 trong 10 lĩnh vực có tác động mạnh mẽ làm thay đổi nền khoa học thế giới trong 50 năm trở lại đây. Thực tế, số lượng các nhà khoa học nghiên cứu về siêu vật liệu và số lượng các công trình nghiên cứu khoa học được công bố liên quan đến siêu vật liệu đã tăng đột biến.

Cho đến thời điểm này những hiểu biết cơ bản về siêu vật liệu đã được chứng minh không những bằng lý thuyết mà còn bằng thực nghiệm một cách độc lập bởi nhiều nhóm khoa học trên thế giới. Một số phòng thí nghiệm trên thế giới đã chế tạo thành công siêu vật liệu hoạt động ở những dải

tần số khác nhau từ GHz [1] tới THz, thậm chí hoạt động ở vùng tần số cao hơn [7-9]. Những nghiên cứu về siêu vật liệu vẫn ngày một nhiều và những ảnh hưởng to lớn của nó đối với khoa học thế giới có thể sẽ rất khó tưởng tượng. Vì tính chất của siêu vật liệu rất phụ thuộc vào hình dạng cấu trúc, do vậy bên cạnh những ứng dụng độc đáo như siêu thấu kính, tàng hình, sen sinh học..., gần đây một tính chất thú vị khác nữa của siêu vật liệu đã được phát hiện đó là khả năng siêu hấp thụ và không phản xạ của loại vật liệu này [22,23]. Với tính chất đặc biệt này, siêu vật liệu hứa hẹn sẽ có thêm nhiều ứng dụng khác nữa trong thực tế như: thiết bị khoa học, y tế, pin năng lượng và đặc biệt trong lĩnh vực quân sự (thay đổi hướng đi của sóng điện từ, tàng hình ảnh nhiệt, tác chiến đêm). Để khai thác khả năng ứng dụng tính chất đặc biệt của vật liệu này, các nhà khoa học trên thế giới ngày càng tập trung nghiên cứu một cách mạnh mẽ.

## MỤC TIÊU

- Xây dựng được chương trình tính toán các tham số hiệu dụng ( độ từ thẩm  $\mu$ , độ điện thẩm  $\epsilon$ , chiết suất  $n$ , trở kháng  $z$ ) dựa trên thuật toán đề xuất bởi Chen.
- Tìm kiếm vật liệu metamaterials có cấu trúc đơn giản, đối xứng cao.
- Tìm kiếm cấu trúc và chế tạo vật liệu MMs có vùng tần số làm việc rộng (broad band).
- Điều khiển được tính chất của vật liệu metamaterials bằng tác động ngoại vi

## NỘI DUNG

### 15.1. Nội dung nghiên cứu

#### 15.1.1. Nội dung nghiên cứu:

- Nghiên cứu và xây dựng chương trình tính toán các tham số hiệu dụng ( độ từ thẩm  $\mu$ , độ điện thẩm  $\epsilon$ , chiết suất  $n$ , trở kháng  $z$ ) dựa trên thuật toán đề xuất bởi Chen.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng và tham số cấu trúc lên tính chất của vật liệu.
- Thiết kế và mô phỏng sự tương tác của sóng điện từ với vật liệu metamaterials.
- Tìm kiếm vật liệu metamaterials có cấu trúc đơn giản, đối xứng cao
- Tìm kiếm cấu trúc và chế tạo vật liệu MMs có vùng tần số làm việc rộng (broadband)
- Nghiên cứu sự thay đổi tính chất của vật liệu metamaterials bằng tác động ngoại vi

#### 15.1.2. Nghiên cứu các tính chất vật lý thông qua các phép đo:

- Đo đạc các tính chất của vật liệu qua: phổ truyền qua, phổ phản xạ hay hấp thụ được sử dụng hệ thiết bị Vector Network Analyzer tại Viện Khoa học và kỹ thuật Quân sự.

## PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Để chế tạo vật liệu MMs sử dụng phương pháp quang khắc, hệ thiết bị đã được xây dựng và lắp đặt tại phòng Vật lý Vật liệu Từ và Siêu dẫn, viện Khoa học Vật liệu.

- Để đo đạc các tính chất của vật liệu như phổ truyền qua, phổ phản xạ hay hấp thụ được sử dụng hệ thiết bị Vector Network Analyzer tại Viện Khoa học và kỹ thuật Quân sự.

- Để mô hình hóa tính chất của vật liệu, đề tài sử dụng công cụ mô phỏng mạnh như phần mềm thương mại CST Microwave Studio và phần mềm tự xây dựng ma trận truyền qua. Phổ truyền qua và phổ phản xạ được tính toán, kết hợp với kết quả thực nghiệm, sẽ được sử dụng để tính toán các thông số độ từ thẩm, độ điện thẩm và chiết suất dựa trên phương pháp của Chen và SVKS. Từ đó, có thể đánh giá được các tính chất của vật liệu khi tương tác với sóng điện từ.

Việc giải thích sự tương tác của vật liệu MMs với sóng điện từ có thể tổng quát hóa và giải thích một cách thỏa đáng dựa trên mô hình mạch điện LC đưa ra bởi Zhou và cộng sự. Chúng tôi cũng đã chứng minh và áp dụng thành công mô hình này bằng cả thực nghiệm và mô phỏng.

## HIỆU QUẢ KTXH

- Giáo dục, đào tạo: Việc thực hiện đề tài sẽ tạo điều kiện để các cán bộ giảng dạy được cập nhật với các vấn đề khoa học thời sự hiện nay trên thế giới, cũng như tự đào tạo để nâng cao năng lực nghiên cứu, và đặc biệt sẽ giúp cho chủ nhiệm đề tài có điều kiện để thực hiện tốt hơn luận án tiến sĩ của mình.
- An ninh, quốc phòng: Có thể sử dụng để nguy trang trong quân sự

## **ĐƠN VỊ SỬ DỤNG**

Trường ĐH Khoa học - ĐH Thái Nguyên