ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**Hồ Anh Tâm**

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO HỆ THỐNG TÍCH HỢP CẢM BIẾN TỪ ĐỘ NHẠY CAO VÀ KÊNH DẪN VI LƯU ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG TRONG LĨNH VỰC Y-SINH

Chuyên ngành: Vật liệu và Linh kiện nano
Mã số: 9440126.01QTD

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LIỆU VÀ LINH KIỆN NANO

**Hà Nội – 2024**

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS.TS. Đỗ Thị Hương Giang

2. GS.TS. CheolGi Kim

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

vào hồi giờ ngày tháng năm 2024

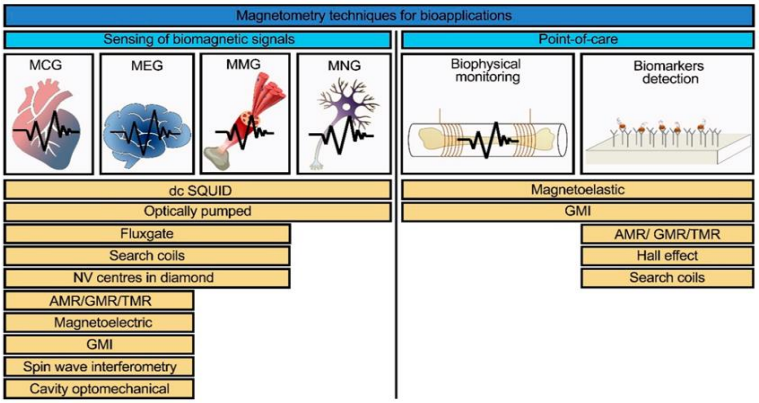
Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

# CHƯƠNG 1
# TỔNG QUAN

## 1.1. Tổng quan cảm biến đo từ trường ứng dụng trong y sinh

Trong y sinh, cảm biến từ trường tập trung vào hai hướng ứng dụng chính (Hình 1.1): (1) đo tín hiệu từ trường sinh học từ các cơ quan trong cơ thể và (2) phát hiện các phân tử sinh học được đánh dấu từ tính.



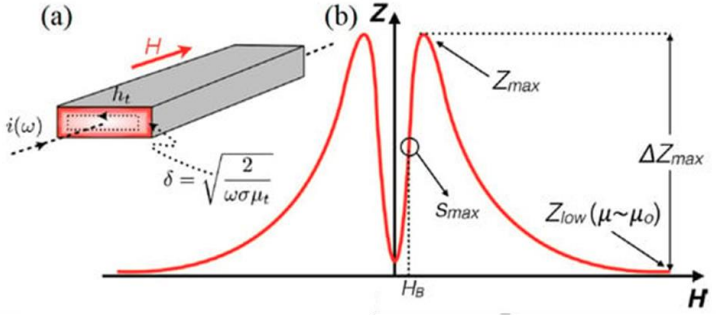

*Hình 1.1. Danh sách các cảm biến từ trường phổ biến và hiện đại được sử dụng để phát hiện các tín hiệu từ sinh học (từ tâm đồ (MCG), từ não đồ (MEG), từ tim đồ (MMG), từ thần kinh đồ (MNG)) và cho các thiết bị kiểm tra nhanh.*

## 1.2. Hiệu ứng từ tổng trở và ứng dụng đo từ trường trong lĩnh vực y-sinh

Hiệu ứng từ tổng trở khổng lồ (GMI) là một hiện tượng vật lý phức tạp, thể hiện sự thay đổi đáng kể của tổng trở kháng trong vật liệu từ dưới tác động của từ trường ngoài một chiều DC đặt vào cảm biến được tính toán bởi công thức (xem Hình 1.4).

$$GMI(\%) = 100\% \times \frac{Z(H) - Z(0)}{Z(0)} \qquad (1.1)$$

với *Z(0)* và *Z(H)* là tổng trở khi không và có từ trường ngoài một chiều H đặt vào.




*Hình 1.4. Hình minh họa từ tổng trở phụ thuộc vào từ trường ngoài: (a) Minh họa hiệu ứng MI và độ thấm sâu bề mặt và (b) đường cong MI phụ thuộc từ trường ngoài.*

Hiệu ứng từ tổng trở có liên quan đến hiệu ứng dẫn điện bề mặt khi có một dòng điện xoay chiều (AC) chạy qua vật dẫn. Độ dày lớp dẫn này (độ thấm sâu – $\delta$) có liên quan trực tiếp đến vật liệu, dòng điện chạy qua và từ trường đặt vào theo quy luật:

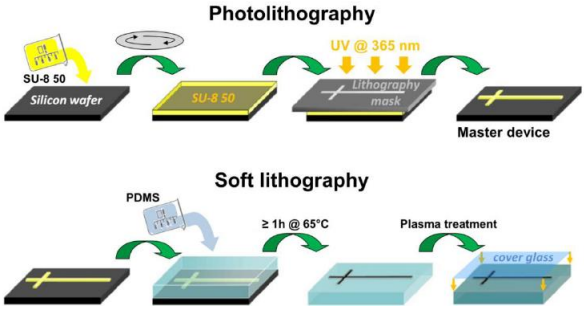
$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu_T}} \qquad (1.2)$$

trong đó $f$ là tần số của dòng điện AC, $\sigma$ và $\mu_T$ lần lượt là độ dẫn điện và độ từ thẩm theo phương ngang vuông góc với chiều dòng điện vật liệu từ tính.

## 1.3. Tình hình nghiên cứu trong lĩnh vực cảm biến sinh học từ tổng trở

## 1.4. Cảm biến từ trường tích hợp vi lưu ứng dụng trong lĩnh vực y sinh

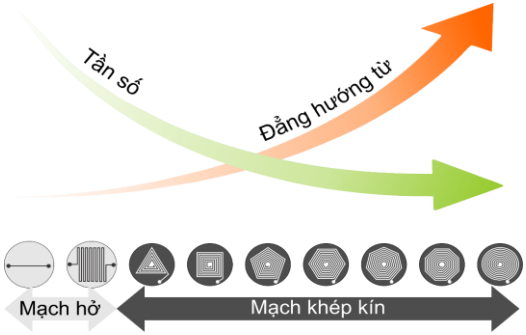
Quang khắc mềm (Hình 1.10) là phương pháp phổ biến nhất chế tạo vi kênh từ PDMS, cho phép tạo ra các cấu trúc với độ phân giải đến 1 µm và tỷ lệ khía (aspect ration) 20:1. Khắc laser có thể tạo ra các kênh với chiều rộng từ 10 đến 100 µm và độ sâu từ 10 đến 500 µm, tùy thuộc vào vật liệu và công suất laser.




*Hình 1.10. Công nghệ quang khắc mềm, phương pháp chế tạo kênh vi lưu truyền thống.*

## 1.5. Ý tưởng cảm biến từ tổng trở dạng cuộn dây phẳng tích hợp kênh vi lưu

Để phù hợp cho các ứng dụng tích hợp với hệ thống kênh dẫn vi lưu yêu cầu cảm biến phải có kích thước nhỏ ở thang micro mét, có thiết kế dạng phẳng để đảm bảo phù hợp cho tích hợp kênh dẫn vi lưu kín, độ nhạy cảm biến cao, độ ổn định tốt, dải từ trường làm việc phải phủ vùng từ trường để từ hóa hạt từ (thường vài chục Oe), thiết kế, vật liệu và công nghệ chế tạo linh kiện cảm biến này phải đảm bảo phù hợp để có thể áp dụng quy trình các bước khi tích hợp với kênh dẫn vi lưu…




*Hình 1.13. Hình minh họa một số xu hướng thay đổi của tần số, tính đẳng hướng từ trong cấu trúc dạng mạch hở (a) kiểu dây thẳng và gấp khúc truyền thống và dạng mạch khép kín (b) hình đa giác với số cạnh khác nhau*

## 1.6. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu của Luận án

Luận án đặt mục tiêu nghiên cứu và chế tạo thành công vi cảm biến từ phẳng hoạt động dựa trên hiệu ứng từ tổng trở có hiệu ứng từ tổng trở cao, hoạt động trong dải tần số thấp và từ trường dải rộng với vật liệu, kích thước và hình dạng tối ưu. Sử dụng cảm biến từ tổng trở tối ưu để nghiên cứu chế tạo, tích hợp thành công hệ thống kênh dẫn vi lưu với cảm biến từ tổng trở và thử nghiệm đo, phát hiện hạt nano từ tính với nồng độ khác nhau phục vụ cho mục đích ứng dụng trong y-sinh học.

Nội dung chính này bao gồm các nội dung nghiên cứu cụ thể sau:

- Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo cảm biến từ tổng trở dựa trên vật liệu dạng băng từ mềm vô định hình $Fe_{90.88}Si_{4.13}C_{4.99}$ chiều dày 20 µm có hình dạng thiết kế và kích thước khác nhau dạng mạch khép kính xoắn ốc hình đa giác có số cạnh $N$ khác nhau ($N$ = 3, 4, 5, 6, 7, 8) và hình tròn với độ rộng cạnh $W$ thay đổi ($W$ = 100, 200 và 300 µm) có so sánh đối chiếu với cấu trúc dạng dây thẳng và gấp khúc truyền thống để tìm ra hình dạng, kích thước và cấu hình tối ưu cho tính chất từ và từ tổng trở phù hợp cho ứng dụng trong lĩnh vực y - sinh.
- Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo cảm biến từ tổng trở dựa trên vật liệu dạng màng mỏng $Fe_{50}Co_{50}$ chiều dày 45 nm có hình dạng và kích thước khác nhau để tìm ra quy luật phụ thuộc tính chất từ và từ tổng trở vào hình dạng, kích thước của cảm biến và đánh giá khả năng ứng dụng của cảm biến dựa trên màng mỏng này.
- Nghiên cứu công nghệ tiểu hình hóa dựa trên kỹ thuật laser một số kỹ thuật phụ trợ khác (ăn mòn ướt, plasma, …).
- Đo đạc thực nghiệm và khảo sát cấu trúc, tính chất từ và từ tổng trở của các mẫu cảm biến dạng băng mỏng và màng mỏng nghiên cứu.
- Mô phỏng vi cấu trúc từ với sự hình thành đô-men, vách đô men, mật độ đô-men và hưởng ứng của chúng theo từ

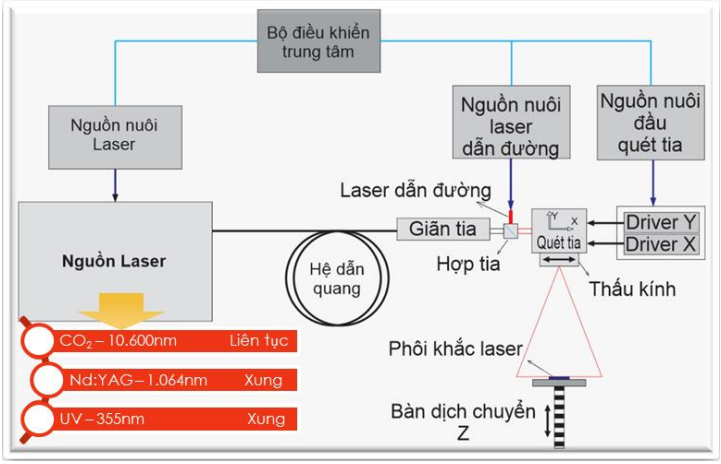
trường (cả độ lớn và hướng), đặc biệt tính toán và giải thích liên hệ thông qua bức tranh đô-men của từ độ theo phương ngang.

- Nghiên cứu, thiết kế, xây dựng quy trình công nghệ chế tạo và tích hợp hệ thống kênh dẫn vi lưu và hệ cảm biến từ tổng trở cấu hình tối ưu, đóng gói hoàn thiện hệ thống và đo đạc thử nghiệm ứng dụng của hệ thống để đo đạc và phân tích dung dịch hạt nano từ tính.
- Sử dụng cảm biến tối ưu để thử nghiệm trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe liên quan đến hệ hô hấp cũng là một trong các nội dung nghiên cứu thử nghiệm của luận án.

# CHƯƠNG 2
# CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

## 2.1. Vi gia công sử dụng laser

Sơ đồ các hệ laser gia công vật liệu được thể hiện như trên Hình 2.2. Trong các bộ phận thì nguồn laser cần được lựa chọn phải có bước sóng phù hợp với vật liệu cần gia công, có chế độ hoạt động liên tục hoặc xung. Trong luận án này, có 3 loại laser được sử dụng với các thông số kỹ thuật và mục đích sử dụng khác nhau được tóm tắt trên Bảng 2.1.




*Hình 2.2. Sơ đồ hệ laser gia công vật liệu*

*Bảng 2.1. Các loại laser được sử dụng trong luận án*

| Loại laser | Bước sóng | Chế độ làm việc | Ứng dụng |
|---|---|---|---|
| **$CO_2$** | 10.600 nm | Liên tục | - Cắt, khắc trên PMMA<br>- Vạch dấu trên thủy tinh |
| **Nd:YAG** | 1.064 nm | Xung 120 ns, $M^2$<1.5 | - Khắc chọn lọc màng phún xạ<br>- Khắc, cắt đế phíp đồng |
| **UV** | 355 nm | Xung 15 ns, $M^2$<1.2 | - Khắc lớp sơn phủ ăn mòn<br>- Khắc tạo hình màng phún xạ<br>- Chiếu (expose) biến đổi lớp cảm quang |

## 2.2. Công nghệ chế tạo vật liệu và cảm biến từ tổng trở

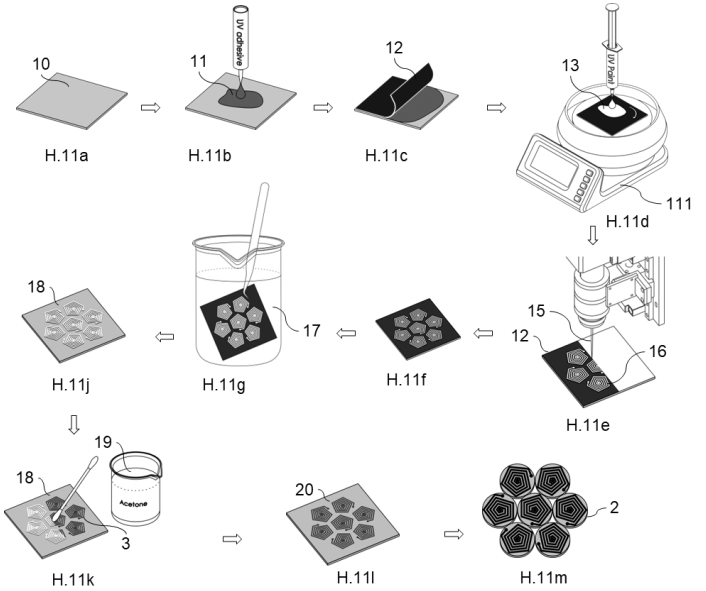
### *2.2.1. Cảm biến từ tổng trở dạng băng ribbon*

Trong luận án này các băng từ được sử dụng là băng từ mềm thương mại vô định hình với thành phần $Fe_{90.88}Si_{4.13}C_{4.99}$ (gọi tắt là băng từ FeCSi) có chiều dày 20 µm, được cung cấp bởi công ty Metglas Inc.

Luận án sử dụng kỹ thuật ăn mòn hóa ướt được tạo hình lớp phủ bảo vệ bởi công nghệ khắc laser. Quy trình các bước được thực hiện được đưa ra trên Hình 2.4.

Hình ảnh mô tả trực quan quy trình chế tạo lõi cảm biến được mô tả như trên Hình 2.5. Sản phẩm cuối của quá trình này là một lõi cảm biến GMI dạng spiral bằng băng từ mềm được gắn trên đế PMMA để sẵn sàng cho quy trình tích hợp và đóng gói.

*Hình 2.4. Sơ đồ minh họa qui trình thực hiện để chế tạo cảm biến GMI từ tấm băng từ mềm theo hình dạng và kích thước lựa chọn sử dụng công nghệ khắc laser và ăn mòn hóa ướt.*



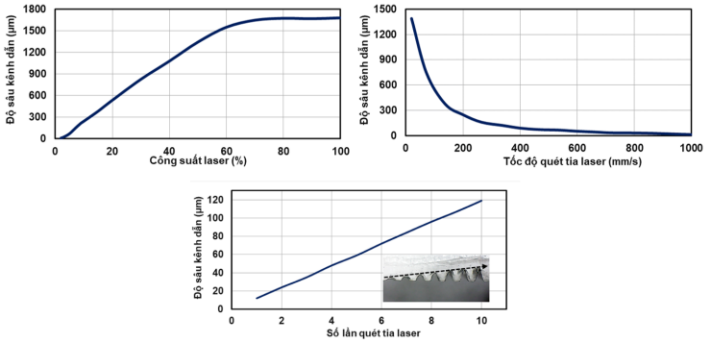

*Hình 2.5. Mô tả quy trình chế tạo cảm biến từ tổng trở bằng băng từ mềm.*

*2.2.2. Cảm biến từ tổng trở dạng màng mỏng từ nano*

Bia vật liệu được sử dụng để phún xạ magnetron trong nghiên cứu này là hợp kim $Fe_{50}Co_{50}$, được lắng đọng trên đế PMMA có độ dày 2 mm, ngoài ra còn sử dụng bia Ta để tạo lớp mầm và phủ bảo vệ lên bề mặt màng từ tránh oxy hóa. Độ dày lớp màng từ khoảng 45 nm. Màng mỏng từ sau đó được khắc bằng laser UV để tạo hình, các thông số chính phù hợp được thiết đặt cho laser UV 5 W để khắc màng mỏng: tốc độ 200 mm/s, tần số lặp lại 6 kHz, thời gian xung 1.5 µs.

**2.3. Công nghệ chế tạo kênh dẫn vi lưu**

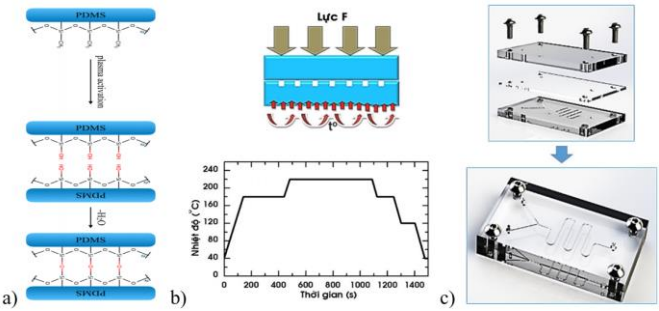
Bằng cách sử dụng nhiều loại laser khác nhau, kênh vi lưu có thể được chế tạo như Laser CO2 có thể tạo vi kênh trực tiếp lên bề mặt PMMA và PDMS bởi tương tác nhiệt làm bốc bay bề mặt vật liệu mà không làm thay đổi đặc tính vật liệu và Laser Nd:YAG có thể tạo kênh vi lưu trên các đế vật liệu kim loại, trong khi laser UV vừa có thể tạo kênh trên các đế polymer, kim loại và silic…




*Hình 2.6. Độ sâu của kênh dẫn thay đổi theo các tham số quét laser*

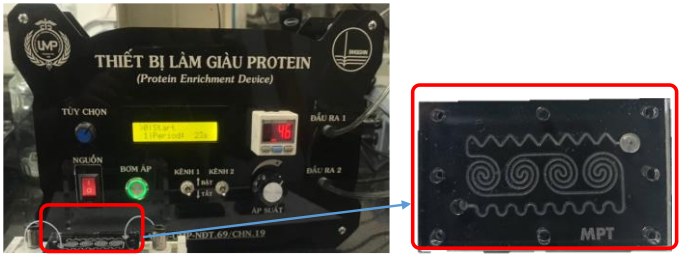
Ngoài ra, sử dụng laser UV kết hợp với direct-writing, các khuôn đổ PDMS tương tự như công nghệ quang khắc mềm cũng đã được chế tạo và ứng dụng thành công cho luận án.

**2.4. Kỹ thuật đóng gói kênh vi lưu**




*Hình 2.9. Các kỹ thuật đóng gói vi kênh: a) plasma bonding; b) ép nhiệt; c) ép cơ học*

**2.5. Bơm vi lưu điều áp**




*Hình 2.11. Hệ thống làm giàu Protein dựa trên bơm điều áp và kênh vi lưu khắc laser tích hợp vật liệu xốp micro-nano.*

**2.6. Đo đạc khảo sát tính chất từ**

Các cảm biến sẽ được khảo sát tính chất từ bằng từ kế mẫu rung (Vibrating Sample Magnetometer - VSM). Thiết bị VSM được sử dụng là máy LakeShore 7404 (Lakeshore, USA).

**2.7. Đo xác định trở kháng thành phần**

Các giá trị L, R, C của các cảm biến chế tạo đã được đo thực nghiệm sử dụng thiết bị phân tích trở kháng Hioki Impedance Analyzer IM7587

**2.8. Đo đạc khảo sát hiệu ứng từ tổng trở**

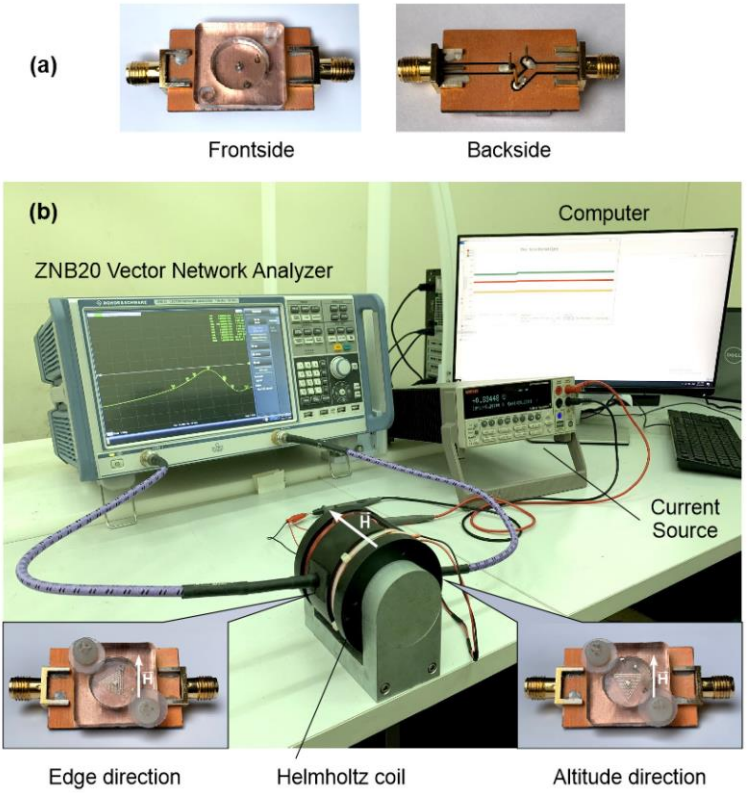
Phần tử cảm biến được đo và khảo sát hiệu ứng từ tổng trở theo sơ đồ được mô tả trên Hình 2.13.

**2.9. Chụp ảnh vi cấu trúc**

Sử dụng các thiết bị SEM, FE-SEM, TEM, XRD…

## 2.10. Mô phỏng vi cấu trúc từ

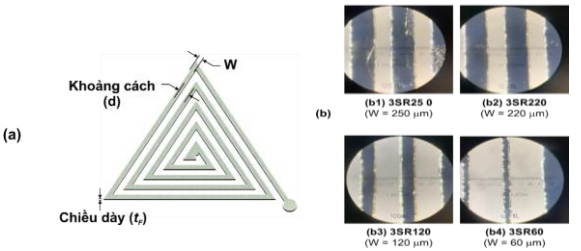
Mumax3 sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn (Finite-Difference Methods, FDM). Đây là một loại giải thuật sử dụng cách trực tiếp nhất để phân chia không gian thông qua các lưới 2D hoặc 3D của các ô trực giao để giải các phương trình vi phân từng phần (Partial Differential Equations, PDE). Bằng cách đó, các thông số từ tính liên quan có thể được đánh giá ở các vùng khác nhau của mô hình được mô phỏng.




*Hình 2.13. Hệ đo và khảo sát hiệu ứng từ tổng trở: (a,b) đế gắn mẫu, (c) bố trí thiết lập hệ đo.*

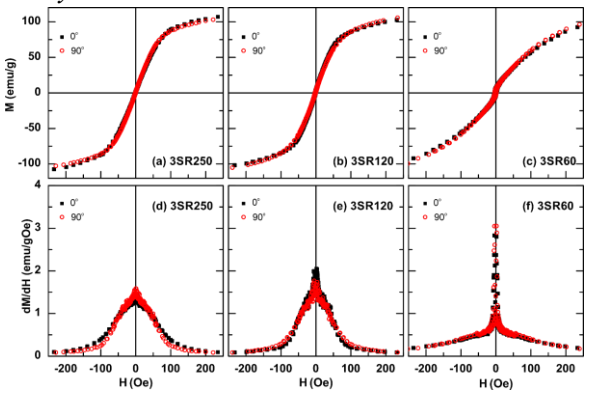
# CHƯƠNG 3
# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO CẢM BIẾN TỪ TỔNG TRỞ DẠNG CUỘN DÂY PHẲNG

## 3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước đến tính chất từ và từ trở của cảm biến dạng cuộn dây phẳng hình tam giác




*Hình 3.1: (a) Hình minh họa hình dạng của cấu trúc cuộn dây phẳng xoắn ốc hình tam giác với các kích thước kèm theo và (b) ảnh chụp kính hiển vi điện tử của các mẫu có cấu trúc hình tam giác xoắn ốc với các chiều rộng cạnh khác nhau w = 250, 220, 120 và 60 μm (b1-b4) được đặt tên tương ứng 3SR250, 3SR220, 3SR120 và 3SR60 tương ứng.*

### *3.1.1. Nghiên cứu tính chất từ phụ thuộc vào độ rộng cạnh của cuộn dây*

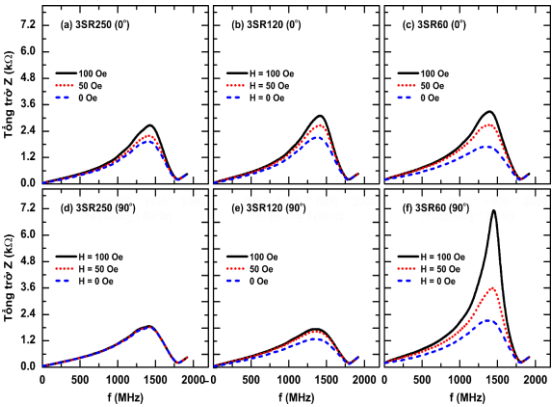



*Hình 3.2: Đường cong từ hóa M(H) (a-c) và độ cảm từ được tính từ độ dốc đường cong M(H) (d-f) đo trên các mẫu xoắn ốc tam giác 3SR250, 3SR120 và 3SR60 có độ rộng khác nhau lần lượt là W = 250, 120 và 60 μm. Từ trường bên ngoài*

*được tác dụng song song (φ = 0°) và vuông góc (φ = 90°) với cạnh của hình tam giác.*

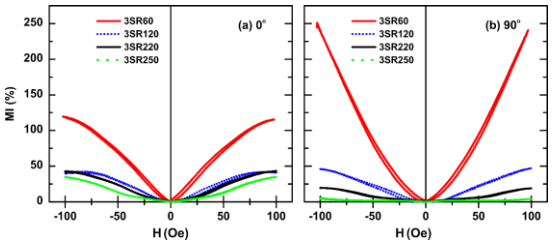
*3.1.2. Nghiên cứu, khảo sát hiệu ứng từng tổng trở của cảm biến*

3.1.2.1. Nghiên cứu, khảo sát đặc trưng phụ thuộc vào tần số



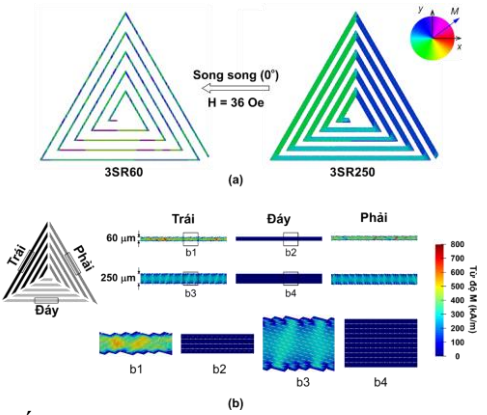

*Hình 3.4: Trở kháng từ phụ thuộc tần số của các mẫu xoắn ốc hình tam giác 3SR250, 3SR120 và 3SR60 với độ rộng khác nhau lần lượt là W = 250, 120 và 60 µm được đo tại các giá trị từ trường khác nhau tác dụng theo 2 phương song song (a-c) và vuông góc (d-f) với cạnh của hình tam giác.*

3.1.2.2. Nghiên cứu, khảo sát hiệu ứng từng tổng trở của cảm biến

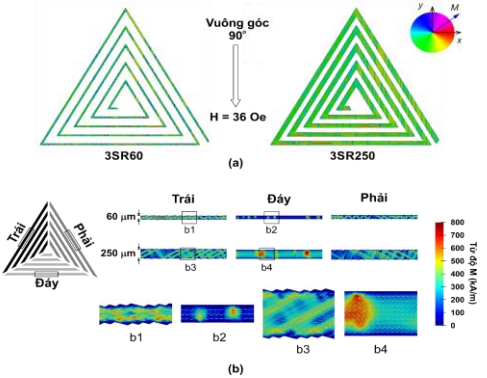



*Hình 3.5: Đường cong sự phụ thuộc hiệu ứng từ tổng trở vào từ trường ngoài đo trên các mẫu xoắn ốc tam giác 3SR250, 3SR120 và 3SR60 có độ rộng khác nhau lần lượt là W = 250, 120 và 60 µm cho 2 trường hợp từ trường ngoài tác dụng song song (0°) và vuông góc (90°) với cạnh của hình tam giác.*

*3.1.3. Mô phỏng cấu trúc vi từ của cảm biến dạng cuộn dây phẳng hình tam giác*



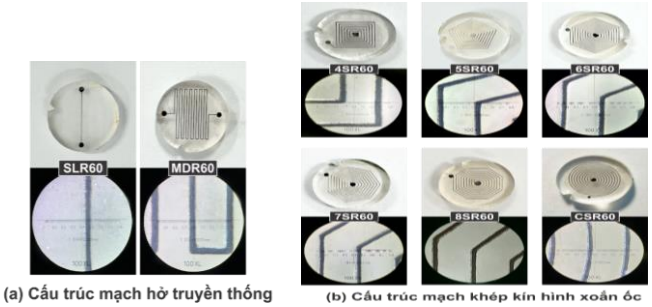

*Hình 3.7: Cấu trúc đô-men từ thu được từ mô phỏng trên các mẫu 3SR60 và 3SR250 với từ trường ngoài H = 36 Oe tác dụng song song (0°) với cạnh của mẫu: (a) cấu trúc đô-men từ; (b) đô-men từ với thành phần từ độ vuông góc với phương dòng điện và hình ảnh phóng to phân bố mômen từ tương ứng với vị trí b1-b4.*



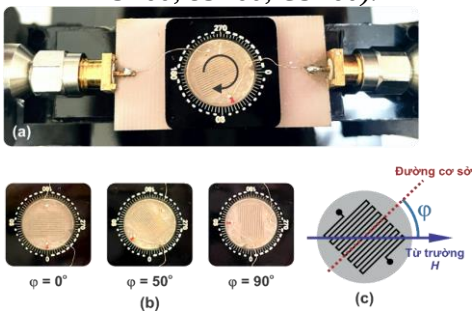

*Hình 3.8: Cấu trúc đô-men từ thu được từ mô phỏng trên các mẫu 3SR60 và 3SR250 với từ trường ngoài H = 36 Oe tác dụng vuông góc (90°) với cạnh mẫu: (a) cấu trúc đô-men từ; (b) đô-men từ với thành phần từ độ vuông góc với phương dòng điện và hình ảnh phóng to phân bố mômen từ tương ứng với vị trí b1-b4.*

### 3.2. Nghiên cứu và tối ưu cấu hình thiết kế cầu hình cảm biến từ tổng trở dạng cuộn dây phẳng

*3.2.1. Chế tạo cảm biến*



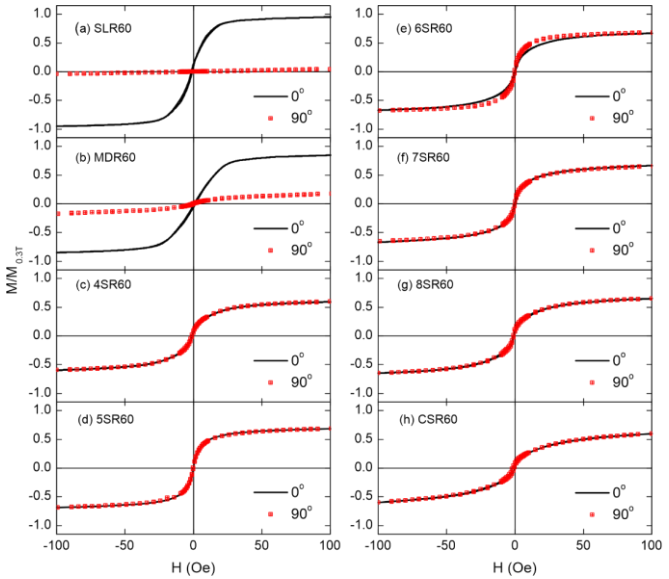

*Hình 3.10. Hình ảnh (trên) và hình ảnh kính hiển vi quang học được chụp tại một góc (dưới) của cấu trúc dạng mạch hở truyền thống dạng dây thẳng và meander (SLR60, MDR60) và (b) cảm biến kiểu khép kín hình xoắn ốc đa giác (4SR60, 5SR60, 6SR60, 7SR60, 8SR60, CSR60).*



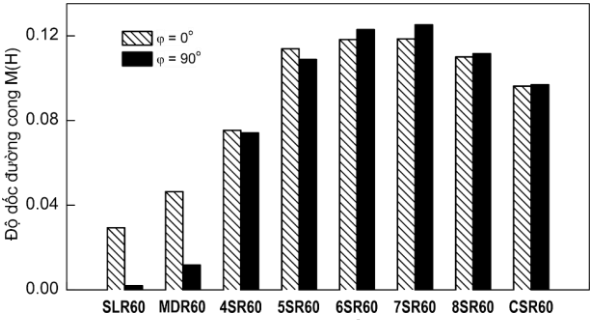

*Hình 3.11. Hình ảnh chụp hệ đo thực nghiệm cho khảo sát phụ thuộc vào hướng của từ trường đo so với đường cơ sở của cảm biến (a), ảnh chụp ứng với các góc định hướng khác nhau (b) và hình minh họa cho góc từ trường φ chỉ ra góc giữa hướng trường được áp dụng và đường cơ sở của cảm biến.*

*3.2.2. Mô phỏng vi từ*

*3.2.3. Đặc tính từ tính của cảm biến mô hình vi mô*



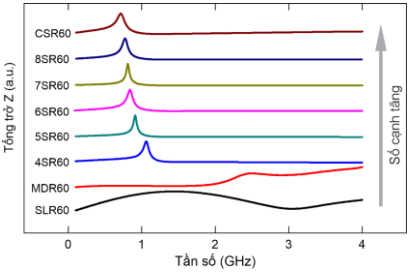

*Hình 3.13: Đường cong từ hóa M(H) phụ thuộc vào từ trường ngoài đặt vào của các cảm biến khác nhau khi từ trường song song (0°) và vuông góc (90°) với đường cơ sở của cảm biến.*



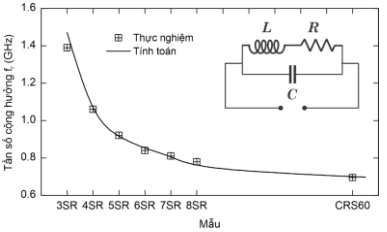

*Hình 3.14: (a) Độ cảm từ và (b) tỷ số mật độ năng lượng từ hóa khác nhau giữa φ = 90° và = 0°) được tính từ các đường cong từ trễ M(H).*

*3.2.4. Nghiên cứu, khảo sát hiệu ứng từng tổng trở của cảm biến*

3.2.4.1. Sự phụ thuộc tần số cộng hưởng của hiệu ứng trở kháng từ

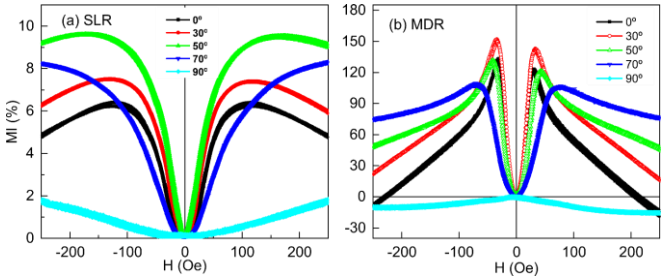



*Hình 3.16. Sự thay đổi của tổng trở phụ thuộc vào tần số đo trên các cấu hình cảm biến khác nhau.*

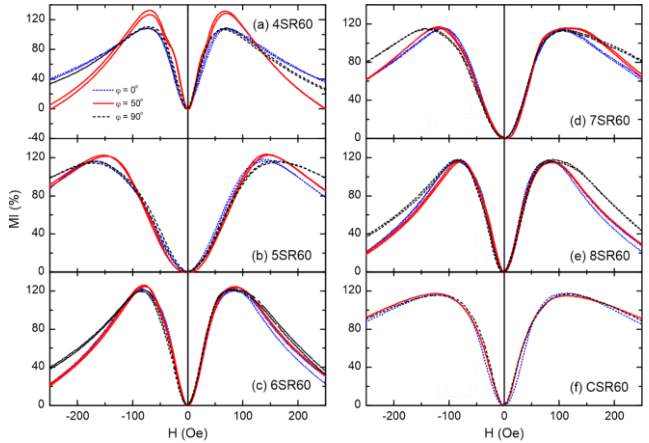



*Hình 3.17. Tần số cộng hưởng thu được từ thử nghiệm (điểm hình vuông) và thu được từ tính toán lý thuyết (đường liền nét) theo sơ đồ mạch LCR tương đương của các cảm biến kiểu xoắn ốc.*

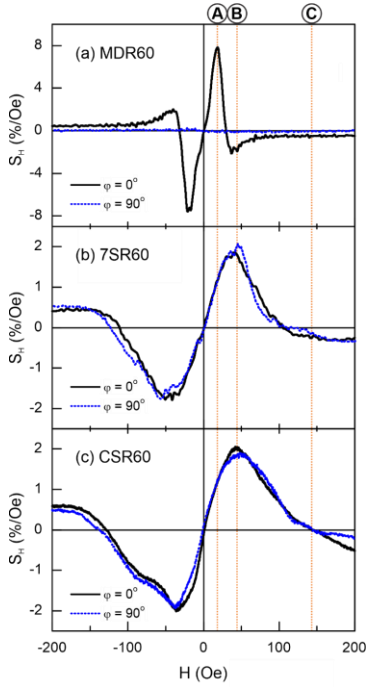
3.2.4.2. Đặc tính trở kháng từ phụ thuộc vào từ trường ngoài




*Hình 3.18. Tỷ số MI phụ thuộc vào từ trường ngoài đo theo các góc định hướng khác nhau giữa từ trường ngoài và đường cơ sở (φ) trên nhóm cảm biến dạng mạch hở truyền thống dạng dây thẳng SLR60 (a) và dạng meander MDR60 (b).*

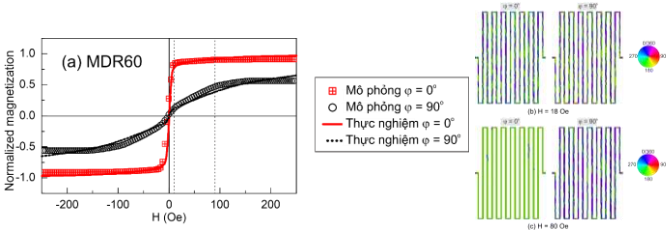



*Hình 3.19. Tỷ số MI phụ thuộc vào từ trường ngoài đo theo các góc định hướng khác nhau giữa từ trường ngoài và đường cơ sở (φ) trên nhóm cảm biến dạng mạch kín xoắn ốc hình dạng đa giác khác nhau*

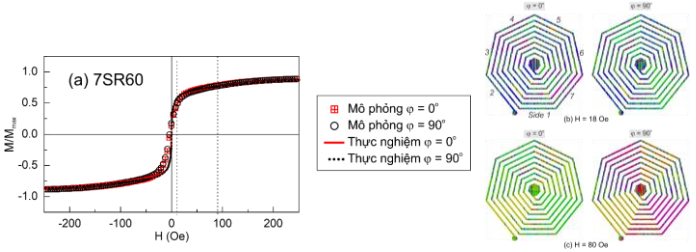



*Hình 3.22. Độ nhạy từ trường được tính từ độ dốc của đường cong MI đối với cảm biến MDR60 kiểu đường thẳng (a), cảm biến xoắn ốc hình đa giác 7 cạnh (b) và hình tròn (c) theo 2 phương từ trường φ = 0° và φ = 90°.*

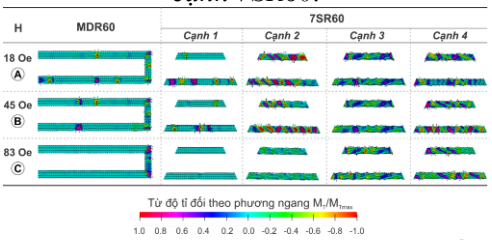
*3.2.5. Mô phỏng cấu trúc đô-men và quá trình từ hóa trong cảm biến hình xoắn ốc*




*Hình 3.23. Đường cong từ hóa M(H) thu được từ mô phỏng so sánh với thực nghiệm (a) và bức tranh đô-men từ tại 18 Oe (b) và 80 Oe (c) áp dụng theo phương từ trường song song (φ = 0°) và vuông góc (φ = 90°) với đường cơ sở trên mẫu meander MDR60.*

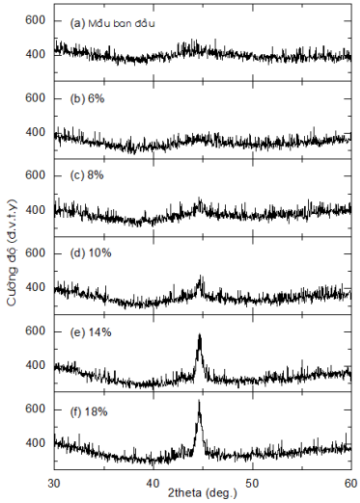



*Hình 3.24. Đường cong từ hóa M(H) thu được từ mô phỏng so sánh với thực nghiệm (a) và bức tranh đô-men từ tại 18 Oe (b) và 80 Oe (c) áp dụng theo phương từ trường song song (φ = 0°) và vuông góc (φ = 90°) với đường cơ sở trên mẫu xoắn ốc 7 cạnh 7SR60.*

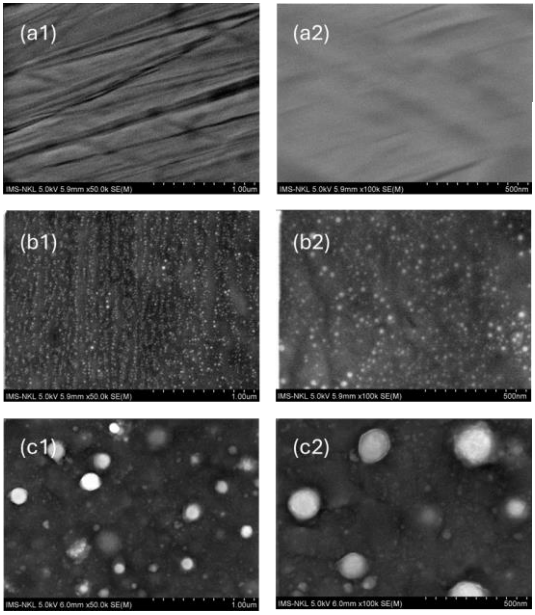



*Hình 3.25. Bức tranh đô-men từ vẽ theo thành phần từ hóa theo phương ngang của các cạnh (vuông góc với dòng điện) phân bố trên các cạnh khác nhau của các cảm biến dạng meander MDR60 và dạng xoắn ốc 7SR60 cho trường hợp φ = 0°.*

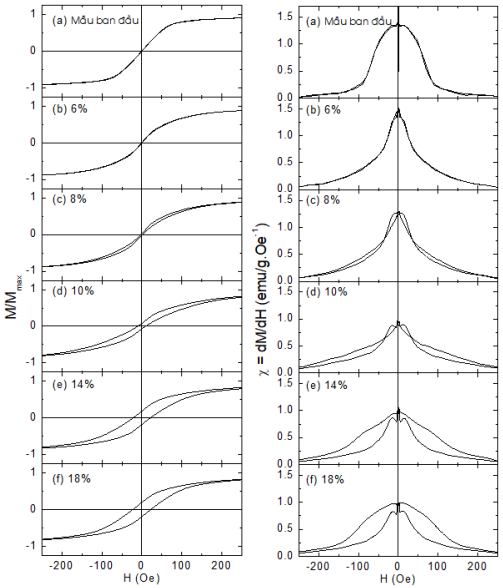
*3.2.6. Nghiên cứu cảm biến từ tổng trở dạng băng cấu trúc nano*



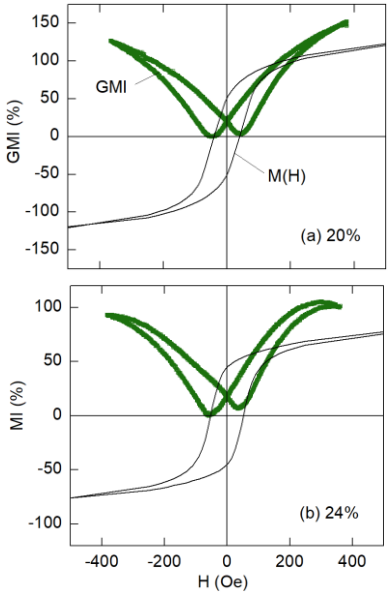

*Hình 3.26. Phổ nhiễu xạ tia X của các mẫu băng từ chưa (a) và được xử lý nhiệt ở các công suất laser khác nhau tăng dần từ 6% lên 18% (b-f).*




*Hình 3.27. Ảnh chụp SEM bề mặt các mẫu băng từ khi chưa xử lý (a1,a2) và sau khi xử lý bằng công nghệ laser ở công suất 8% (b1,b2) và 16% (c1,c2) được chụp ở các chế độ phóng đại khác nhau.*




*Hình 3.28. Đường cong từ hóa (trái) và độ cảm từ của các mẫu băng từ chưa (a) và được xử lý nhiệt ở các công suất laser khác nhau tăng dần từ 6% lên 18% (b-f).*




*Hình 3.29. Đường cong từ tổng của các mẫu xoắn ốc hình tròn độ rộng 60 µm được xử lý nhiệt ở các công suất laser khác nhau 20% (a) và 24% (b).*

*3.2.7. Kết luận*

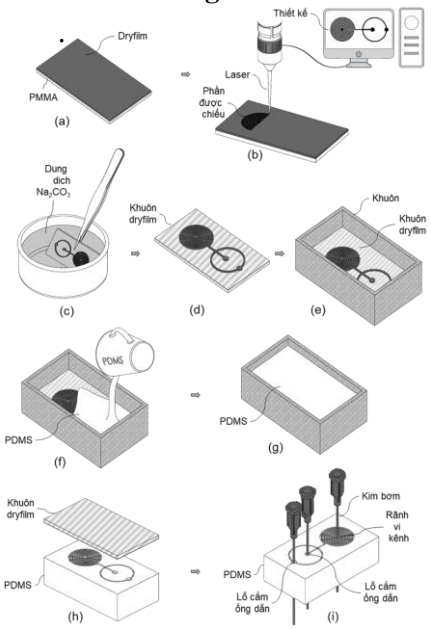
### 3.3. Nghiên cứu cảm biến từ tổng trở dạng màng mỏng

Cảm biến dựa trên vật liệu là băng từ mềm vô định hình có hiệu ứng từ tổng trở cao hơn so với cảm biến dạng màng mỏng. Điều này cũng được lý giải do mẫu màng có chiều dày mỏng khó quan sát hiệu ứng thấm sâu bề mặt, bên cạnh đó, kỹ thuật laser được sử dụng trong trường hợp này đã góp phần gia tăng HC và giảm độ cảm từ do tác động nhiệt.

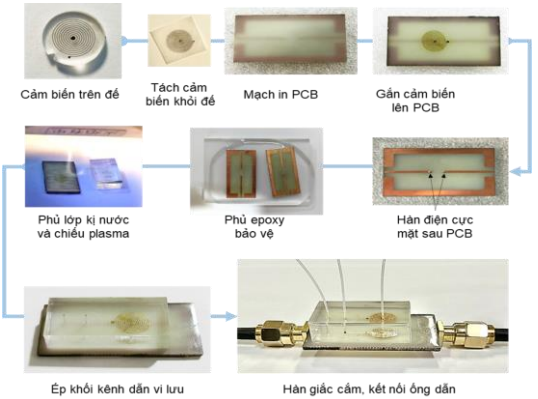
### 3.4. Kết luận Chương 3

## CHƯƠNG 4
## NGHIÊN CỨU, CHẾ TẠO, TÍCH HỢP HỆ THỐNG KÊNH DẪN VI LƯU VỚI CẢM BIẾN TỪ VÀ THỬ NGHIỆM ỨNG DỤNG

### 4.1. Nghiên cứu, chế tạo, tích hợp hệ thống kênh dẫn vi lưu với cảm biến từ tổng trở

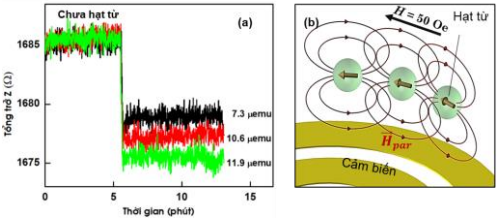



*Hình 4.1. Hình minh họa quy trình chế tạo kênh dẫn vi lưu.*

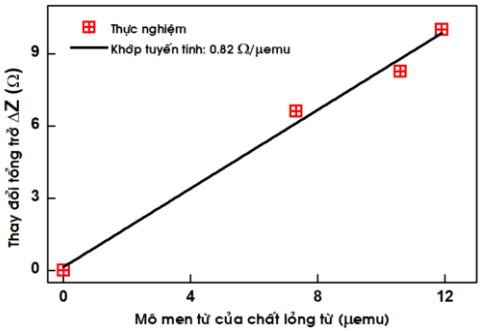



*Hình 4.3. Ảnh chụp sản phẩm được hình thành sau mỗi quy trình đóng gói cảm biến từ trên mạch in PCB.*

## 4.2. Đo đạc thử nghiệm phát hiện hạt từ của cảm biến từ tổng trở

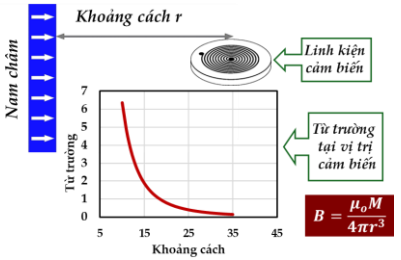



*Hình 4.10. Kết quả đo tín hiệu tổng trở lối ra của hệ thống khi đo dung dịch từ và phổ tín hiệu cảm biến để đánh giá sai số của hệ thống.*

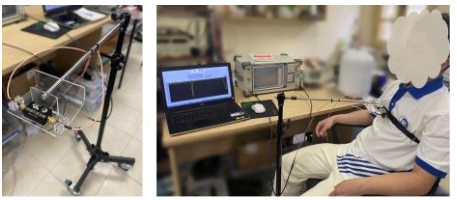



*Hình 4.11. Đồ thị sự thay đổi tổng trở của cảm biến phụ thuộc và tổng lượng mô men từ của hạt từ trong kênh vi lưu.*

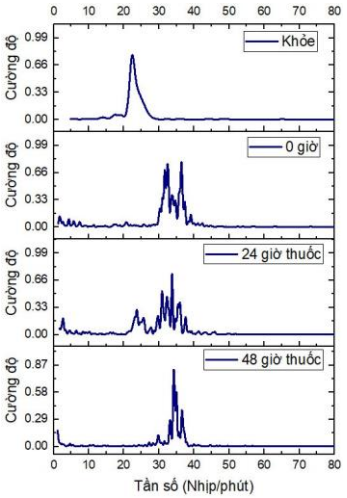
### 4.3. Ứng dụng cảm biến từ tổng trở trong chăm sóc sức khỏe hô hấp




*Hình 4.12. Hình minh họa nguyên lý đo nhịp thở.*




*Hình 4.13. Hệ đo nhịp thở sử dụng cảm biến từ tổng trở hình xoắn ốc tròn CS60 (a) và ảnh chụp bố trí hệ đo nhịp thở trên tình nguyện viên.*




*Hình 4.14. Kết quả phân tích phổ thở sử dụng cảm biến CS60.*

## KẾT LUẬN

Luận án đã nghiên cứu và chế tạo cảm biến micro dạng băng từ mềm $Fe_{90.88}Si_{4.13}C_{4.99}$ dày 20 μm và màng mỏng $Fe_{50}Co_{50}$ dày 45 nm với hình dạng, kích thước và thiết kế khác nhau, độ rộng cạnh thay đổi từ 100 đến 300 μm.

Kích thước tối ưu cho hiệu ứng MI là độ rộng cạnh $W$ = 60 μm, cụ thể tỷ lệ MI lớn lần lượt là ~100% và ~250% ở từ trường $H$ ~100 Oe tác dụng theo phương song song và vuông góc đã quan sát được trên các cảm biến hình tam giác.

Số cạnh càng nhiều thì càng có lợi cho tần số hoạt động ở dải tần thấp (dưới 1 GHz), dải từ trường rộng (lên tới 100 Oe), các đặc tính từ và từ tổng trở không phụ thuộc vào phương từ trường đo (tính đẳng hướng cao) với hiệu ứng từ tổng trở đạt khoảng 120% tại từ trường xung quanh 50 Oe.

Khi thác và sử dụng hiệu quả các công cụ mô phỏng chuyên dụng Mumax và OOMMF.

Cấu trúc cảm biến xoắn ốc hình tròn độ rộng cạnh $W$ = 60 μm với hiệu ứng từ tổng trở 120%, độ nhạy lên tới 0.85 %/Oe, tần số cộng hưởng $f_r$ = 750 MHz thấp nhất, từ trường kích thích ~ 50 Oe, độ phân giải và sai số đạt được ở ngưỡng $10^{-3}$ Oe và hoàn toàn đẳng hướng với từ trường.

Đã nghiên cứu chế tạo và tích hợp thành công cảm biến với hệ thống kênh vi lưu sử dụng vật liệu PDMS. Đã thử nghiệm đo đạc phát hiện và phân tích định lượng dung dịch chất lỏng hạt nano từ $Fe_3O_4$ với độ nhạy 0.82 Ω/μemu, độ chính xác của hệ thống khi đo hạt từ tính vào khoảng ±1 μemu.

Bên cạnh đó, đóng góp của luận án là đã khai thác công nghệ vi gia công laser để phát triển các giải pháp công nghệ phục vụ cho nghiên cứu

Sử dụng kỹ thuật laser để xử lý nhiệt, luận án đã thành công trong tối ưu các thông số laser để tạo được các cấu trúc vật liệu dạng nano tinh thể với kích thước hạt có thể điều khiển được bằng cách lựa chọn công suất phù hợp.

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

***Công bố quốc tế:***

1. Ho Anh Tam, Nguyen Van Tuan, Nguyen Thi Ngoc, Le Van Lich, Dinh Van Hai, Manh-Huong Phan, Cheol Gi Kim, Vu Dinh Lam, Do Thi Huong Giang, *"Tuning rotational magnetization for high frequency magnetoimpedance in micro-patterned triangle spiral magnetic systems"*; Journal of Science: Advanced Materials and Devices (2022/12/1), Volume 7, Issue 4, Pages 100514, Publisher Elsevier (ISI Q1, IF = 6.7).
2. H.A. Tam, N.V. Tuan, N.T. Ngoc, V.N. Thuc, L.V. Lich, N.T.P. Thao, D.T. Hien, B.T. Sang, C.G. Kim, V.D. Lam, N.H. Duc, D.T. Huong Giang, *"Planar omnidirectional magnetoimpedancebased sensors with micro-spiral patterns";* IEEE Sensors Journal, Manuscript ID: Sensors-77538-2024, submit 13/8/2024, đã trả lời phản biện.

***Công bố trong nước***

3. Ho Anh Tam, Nguyen Viet Hung, Nguyen Huu Duc, Do Thi Huong Giang – *"Fabrication of microchannels by using the CO2 laser Galvo marking machine and thermo-mechanical sealing method"*; VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology, Vol. 35, No. 2 (2019) 112-120.

***Hội nghị Quốc tế***

*4.* Ho Anh Tam, Nguyen Thi Ngoc, Nguyen Van Tuan, Vu Nguyen Thuc, Pham Thi Hien, Nguyen Thi Phuong Thao, Bui Trong Sang, Do Thi Hien and Do Thi Huong Giang, *"Design and manufacturing of thin film planar coil-based magneto-impedance sensors"*, The 4$^{th}$

International Workshop on Advanced Materials and Devices_ IWAMD 2023, EMD-P26, page 157.

***Hội nghị trong nước***

5. Hồ Anh Tâm, Đỗ Thị Hương Giang, *"Nghiên cứu chế tạo vi kênh ứng dụng trong y-sinh sử dụng công nghệ Laser, Hội nghị Vật lý Chất rắn và Khoa học Vật liệu Toàn quốc lần thứ 12"*, SPMS 2021, NXB Bách Khoa Hà Nội, quyển 1 trang 88-92.

***Bằng độc quyền Sở hữu trí tuệ***

6. Hồ Anh Tâm, Đỗ Thị Hương Giang, Nguyễn Hữu Đức, Lê Khắc Quynh. Bằng độc quyền Giải pháp hữu ích: *"Quy trình chế tạo mặt nạ kim loại sử dụng máy khắc Laze Fiber thương mại, ứng dụng trong kỹ thuật phún xạ để chế tạo các chi tiết có kích thước cỡ mili-mét."* số 3105 theo QĐ số 1023w/QĐ-SHTT, ngày 15/2/2023.

***Chấp nhận đơn Sở hữu trí tuệ***

7. Hồ Anh Tâm, Nguyễn Hữu Đức, Đỗ Thị Hương Giang, Nguyễn Việt Hùng - *"Quy trình chế tạo kênh dẫn vi lưu sử dụng laze CO2 kết hợp với cơ cấu quét chùm tia bằng đầu lắc Galvo và đóng kín kênh bằng cách ép cơ học"*; Số đơn: 2-2019-00166. Quyết định chấp nhận đơn hợp lệ số 43591/QĐ-SHTT ngày 04/06/2019.
8. Hồ Anh Tâm, Đỗ Thị Hương Giang, Nguyễn Hữu Đức, Phùng Anh Tuấn, Nguyễn Việt Hùng, *"Bộ phận dẫn tập trung và khuếch đại từ thông dạng vành khuyên và hệ thống tích hợp."*; Số đơn: 1-2020-00197. Quyết định chấp nhận đơn số 3227w/QĐ-SHTT ngày 13/04/2020).
9. Đỗ Thị Hương Giang, Vũ Nguyên Thức, Nguyễn Văn Tuấn, Hồ Anh Tâm, Lê Văn Lịch, Nguyễn Thị Ngọc, Nguyễn Hữu Đức, *"Linh kiện cảm biến từ tổng trở dạng cuộn phẳng hình ngũ giác kích thước micro và phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến này"*, Đơn số 1-2023-06831 ngày nộp 02/10/2023.

10. Đỗ Thị Hương Giang, Hồ Anh Tâm, Vũ Nguyên Thức, Nguyễn Văn Tuấn, Nguyễn Thị Ngọc, Nguyễn Hữu Đức, *"Hệ thống cảm biến từ tổng trở phẳng từ tổng trở hình xoắn ốc tích hợp kênh dẫn vi lưu, phương pháp chế tạo linh kiện cảm biến từ tổng trở, phương pháp chế tạo vi kênh và phương pháp tích hợp kênh dẫn vi lưu và cảm biến",* Đơn số 1-2024-04738 ngày nộp 27/06/2024.

Danh mục này gồm 10 công trình.