

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

Phan Hải

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÁY PHÁT ĐIỆN NANO
BẰNG CÔNG NGHỆ ĐIỆN MA SÁT**

Chuyên ngành: Vật liệu và Linh kiện nano

Mã số: 944012801.QTD

**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: PGS. TS. Phạm Đức Thắng

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

vào hồi giờ ngày tháng năm

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

MỞ ĐẦU

Máy phát điện ma sát nano (Triboelectric nanogenerator - TENG) được giới thiệu lần đầu vào năm 2012 bởi Wang và cộng sự. TENG là một thiết bị hoạt động dựa trên nguyên lý chuyển đổi năng lượng cơ học thành điện năng, có thể được chế tạo bằng cách sử dụng các loại vật liệu có cấu trúc nano như kim loại, chất bán dẫn và chất cách điện trong đó ít nhất một loại là chất cách điện. TENG hoạt động dựa trên cơ sở của hiệu ứng ma sát điện và hiện tượng cảm ứng tĩnh điện giữa hai bề mặt vật liệu khi chúng tiếp xúc và cọ xát với nhau. TENG được xem như là một loại “máy phát điện nano” do sự phụ thuộc của chúng vào hiệu ứng ma sát điện nano cảm ứng tĩnh điện và dòng dịch chuyển trong quá trình vận hành, có tiềm năng trong thu thập các nguồn năng lượng cơ học hao phí nêu trên để chuyển đổi thành điện năng.

Tên đề tài luận án là “*Nghiên cứu chế tạo máy phát điện nano bằng công nghệ điện ma sát*”.

*** Mục tiêu nghiên cứu**

- Chế tạo các vật liệu ma sát điện PTFE, PVC cấu trúc nano có bề mặt biến tính bằng kỹ thuật ăn mòn plasma cảm ứng, và vật liệu ma sát điện Al cấu trúc micro/nano có diện tích tiếp xúc bề mặt lớn bằng kỹ thuật lase chuyển mạch Q.

- Trên cơ sở khảo sát thông số điện áp đặc trưng trong hiệu ứng ma sát điện của các vật liệu sau chế tạo sẽ lựa chọn điều kiện chế tạo và vật liệu tối ưu để dùng làm cặp vật liệu ma sát điện trong máy phát điện dựa trên hiệu ứng ma sát điện nano (TENG).

- Thử nghiệm thiết kế, chế tạo các cấu trúc TENG và TENG cấu hình rung đa chiều (MV-TENG) hoạt động ở chế độ tiếp xúc dọc, có khả năng thu năng lượng từ các nguồn rung cơ học đa chiều.

**** Nội dung và phương pháp nghiên cứu***

Luận án được thực hiện trên cơ sở kết hợp các phương pháp nghiên cứu lý thuyết và các kỹ thuật thực nghiệm, cụ thể là:

- Nghiên cứu sử dụng các kỹ thuật kéo sợi bằng lực điện trường để chế tạo màng sợi nano PVC, kỹ thuật ăn mòn plasma cảm ứng để ăn mòn và biến tính bề mặt PVC và PTFE, kỹ thuật lase chuyển mạch Q để chế tạo bề mặt cấu trúc micro/nano của Al.

- Nghiên cứu cấu trúc vi mô trên bề mặt của các vật liệu chế tạo, biến tính bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) và thiết bị đo độ ráp (rms) bề mặt.

- Nghiên cứu thiết kế, chế tạo các cấu trúc máy phát điện ma sát nano dựa trên cấu hình tiếp xúc dọc sử dụng vật liệu Al kết hợp với PVC và PTFE, và thử nghiệm thu năng lượng cơ học trong các điều kiện rung đa chiều.

**** Các đóng góp mới của luận án:***

- Luận án là công trình khoa học đầu tiên ở trong nước nghiên cứu về máy phát điện dựa trên hiệu ứng ma sát điện nano (TENG), trong đó tập trung nghiên cứu hoạt động của TENG ở chế độ tiếp xúc dọc.

- Bên cạnh một số kỹ thuật chế tạo vật liệu để dùng làm cặp ma sát điện trong TENG như ăn mòn plasma cảm ứng, kéo sợi bằng lực điện trường thì trong luận án này, kỹ thuật lase chuyển mạch Q

đã lần đầu tiên được sử dụng để thay đổi tính chất bề mặt của vật liệu Al dùng làm cặp ma sát điện.

- Trên cơ sở nghiên cứu tính chất của cấu trúc TENG đơn sử dụng cặp vật liệu ma sát điện PTFE/Al, một cấu trúc mới TENG với cấu hình rung đa chiều (MV-TENG) hoạt động ở chế độ tiếp xúc dọc đã được thiết kế, chế tạo và thử nghiệm thành công để thu năng lượng từ các nguồn rung cơ học đa chiều.

Chương 1

TỔNG QUAN

1.1. Một số máy phát điện thông dụng

1.1.1. Máy phát điện dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ

1.1.2. Máy phát điện dựa trên hiệu ứng áp điện

1.1.3. Máy phát điện dựa trên hiệu ứng cảm ứng tĩnh điện

1.2. Máy phát điện dựa trên hiệu ứng ma sát điện

1.2.1. Hiệu ứng ma sát điện

Hiệu ứng ma sát điện (Triboelectric effect – TE) là một hiện tượng vật lý trong đó hai vật liệu khác loại sẽ nhiễm điện trái dấu sau khi cọ sát với nhau dưới tác động của ngoại lực. Hiện tượng này được gọi là nhiễm điện do cọ xát (Contact Electrification – CE) và xảy ra phổ biến hàng ngày với nhiều sự vật.

1.2.2. Vật liệu ma sát điện thông dụng

Tất cả các loại vật liệu mà con người biết đến đều có tính chất ma sát điện bao gồm từ các chất dẫn điện như kim loại, các chất bán dẫn cho đến các chất có thể cách điện như gỗ, nhựa, vải sợi thủy

ting. Đến năm 2019, nhóm nghiên cứu của Wang đã xuất bản một kết quả cập nhật hơn về việc phân loại như chỉ ra trên hình 1.5.



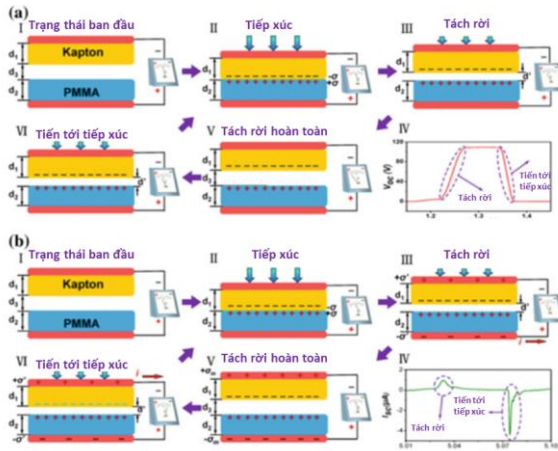
Hình 1.5. Phân loại vật liệu theo tính ma sát điện [17]

1.3. Máy phát điện ma sát nano

1.3.1. Sơ đồ cấu trúc và nguyên lý hoạt động

Máy phát điện ma sát nano (TENG) là một thiết bị dùng để chuyển đổi năng lượng cơ học thành năng lượng điện trên cơ sở kết hợp giữa hiện tượng ma sát điện và hiệu ứng cảm ứng tĩnh điện của các vật

liệu cấu trúc nano được giới thiệu chính thức vào năm 2012 bởi Wang và cộng sự [18].



Hình 1.6: Cơ chế hoạt động của TENG ở (a) Điều kiện hở mạch và (b) Điều kiện ngắn mạch [18].

1.3.2. Các chế độ hoạt động của TENG

1.3.2.1. Chế độ tiếp xúc dọc

1.3.2.2. Chế độ trượt

1.3.2.3. Chế độ điện cực đơn

1.3.2.4. Chế độ điện cực treo

1.4. Tình hình nghiên cứu về TENG

1.5. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc của luận án này gồm có 5 chương như sau:

- Chương 1: Tổng quan.
- Chương 2: Các phương pháp thực nghiệm.
- Chương 3: Nghiên cứu, thử nghiệm hiệu ứng ma sát điện nano của vật liệu cấu trúc micro/nano.
- Chương 4: Thiết kế chế tạo, tối ưu hiệu suất của máy phát điện ma sát nano cấu hình tiếp xúc dọc và tối ưu hóa hiệu suất bằng công nghệ Q-switched laser
- Chương 5: Phát triển cấu trúc máy phát điện ma sát nano thu năng lượng rung đa chiều.

Theo dự kiến ban đầu luận án có tên là “Nghiên cứu chế tạo máy phát điện nano bằng công nghệ điện ma sát”. Tuy nhiên, trong quá trình thực hiện luận án, NCS đã tập trung nghiên cứu chế tạo và khảo sát hiệu ứng ma sát điện của một số vật liệu cấu trúc micro/nano và dùng làm cặp vật liệu ma sát trong máy phát điện dựa trên hiệu ứng ma sát điện nano. Vì vậy, để có sự phù hợp hơn giữa nội dung nghiên cứu với tên của luận án, NCS đề xuất điều chỉnh tên luận án thành “Nghiên cứu chế tạo máy phát điện dựa trên hiệu ứng ma sát điện nano”

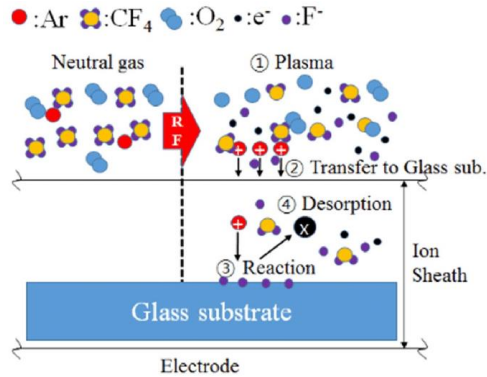
Chương 2

CÁC PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Chế tạo cấu trúc nano của màng PTFE bằng kỹ thuật ICP-RIE

Trong luận án này, vật liệu PTFE được ăn mòn sử dụng thiết bị ICP-RIE RIE-ER-2X150 (Elettrovava, Ý) đặt tại Trung tâm Nano

và Năng lượng, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội).



Hình 2.1: Sơ đồ nguyên lý ăn mòn plasma cảm ứng ICP-RIE [57]

2.2. Chế tạo điện cực của màng PTFE bằng kỹ thuật phun xạ catot

Trong luận án này, để chế tạo lớp điện cực Cu chúng tôi đã sử dụng hệ thiết bị phun xạ ATC-2000F (AJA International Inc, Mỹ) đặt tại PTN Trọng điểm Công nghệ micro và nano, Trường Đại học Công nghệ (ĐHQGHN).

2.3. Chế tạo màng nano PVC bằng công nghệ kéo sợi sử dụng điện trường

Màng nano PVC được chế tạo bằng cách sử dụng hệ kéo sợi sử dụng điện trường ESR100H NanoNC tại ĐHQG Pusan (Hàn Quốc).

2.4. Chế tạo cấu trúc micro/nano của màng Al bằng kỹ thuật laser chuyển mạch Q

Mẫu AL sau khi được ép phẳng và làm sạch sẽ được ăn mòn bề mặt bởi kỹ thuật laser chuyển mạch Q với các thông số thay đổi. Cụ thể như trong bảng 2.3:

Bảng 2.3. Các thông số ăn mòn Al bằng hệ bằng laser chuyển mạch Q

Công suất P (W)	Tốc độ quét v (mm/s)	Khoảng cách đường quét d (μm)
15, 20, 40	500, 1000, 2000	10, 20, 30, 50

2.5. Chế tạo cấu trúc micro/nano của màng Al bằng công nghệ ăn mòn điện hóa

Bên cạnh kỹ thuật chế tạo cấu trúc micro/nano trên bề mặt Al bằng laser chuyển mạch Q, chúng tôi cũng thử nghiệm chế tạo cấu trúc micro/nano trên bề mặt Al bằng kỹ thuật ăn mòn điện hóa.

2.6. Khảo sát cấu trúc bề mặt bằng kính hiển vi điện tử quét

Hình thái học bề mặt của các mẫu được khảo sát trên thiết bị SEM Jeol 6490 JED 2300 đặt tại Viện Khoa học Vật liệu (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam).

2.7. Khảo sát thông số của máy phát điện ma sát nano

2.7.1. Thu tín hiệu điện thế bằng dao động ký

Dao động ký Tektronix DPO 4032 (Mỹ) đặt tại Khoa Vật lý kỹ thuật và Công nghệ nano, Trường ĐH Công nghệ (ĐHQGHN).

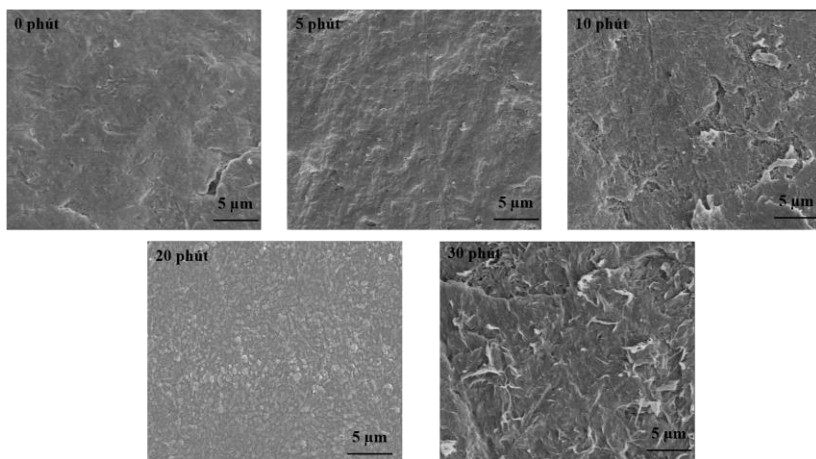
2.7.2. Đo dòng điện bằng bộ khuếch đại dòng

Bộ tiền khuếch đại dòng điện độ nhiễu thấp SR570 Stanford (Mỹ) đặt tại PTN trọng điểm Công nghệ micro và nano, Trường ĐH Công nghệ (ĐHQGHN) đã được sử dụng để đo dòng điện.

Chương 3

NGHIÊN CỨU, THỬ NGHIỆM HIỆU ỨNG MA SÁT ĐIỆN NANO CỦA VẬT LIỆU CẤU TRÚC MICRO/NANO

3.1. Cấu trúc và hiệu ứng ma sát điện của màng PTFE



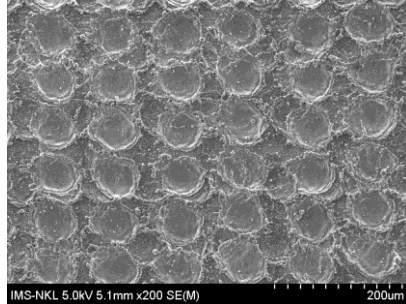
Hình 3.4 Ảnh SEM của tấm PTFE sau khi ăn mòn ICP-RIE trong các khoảng thời gian khác nhau 5, 10, 20 và 30 phút

3.2. Cấu trúc và hiệu ứng ma sát điện của màng PVC

3.3. Cấu trúc bề mặt Al chế tạo bằng ăn mòn điện hóa

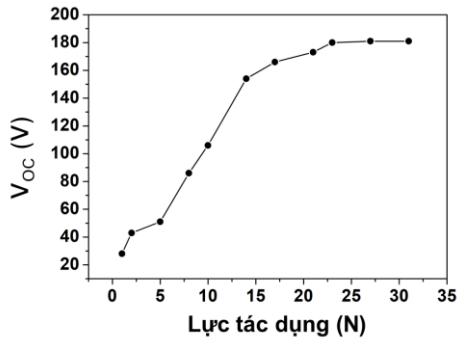
3.4. Cấu trúc lớp bề mặt Al chế tạo bằng lase chuyển mạch Q

Các cấu trúc micro tuần hoàn có hình dạng gần vuông và kích thước tương tự độ rộng xung.



Hình 3.14. Ảnh SEM của bề mặt tấm Al sau khi ăn mòn bằng laser với tốc độ quét 2000 mm/s

3.5. Sự phụ thuộc của hiệu ứng ma sát điện vào lực tác động

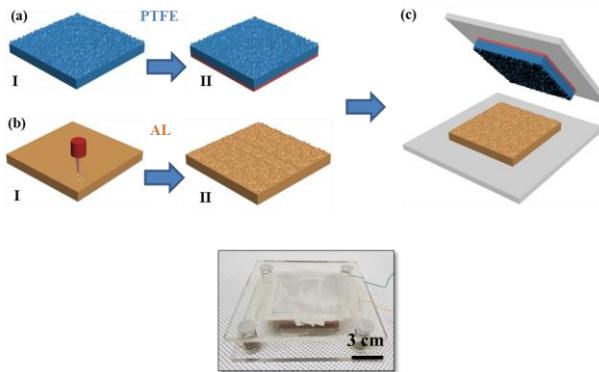


Hình 3.17. Sự phụ thuộc của hiệu điện thế hở mạch sinh ra do ma sát điện giữa cặp ma sát PTFE/Al vào lực tác dụng bên ngoài

Chương 4

THIẾT KẾ CHẾ TẠO, NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA HIỆU NĂNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MA SÁT NANO CẤU HÌNH TIẾP XÚC DỌC

4.1. Thiết kế máy phát điện ma sát nano



Hình 4.1. Mô hình bước các chế tạo TENG: (a), (b) chuẩn bị cặp vật liệu ma sát điện với điện cực, (b) tiểu hình hóa bề mặt nhôm, (c) gắn vật liệu và giá đỡ; (d) Ảnh chụp của TENG

Máy phát điện ma sát nano được chúng tôi thiết kế và chế tạo theo quy trình như trên hình 4.1, gồm các bước sau:

- Vật liệu đầu tiên trong cặp ma sát điện là màng PTFE công nghiệp hình vuông có kích thước 5x5 cm² và chiều dày 100 μm được ăn mòn bằng ICP-RIE (hình 4.1a.I), sau đó được phủ lớp điện cực Cu bằng kỹ thuật phun xạ ở mặt còn lại (hình 4.1a.II).

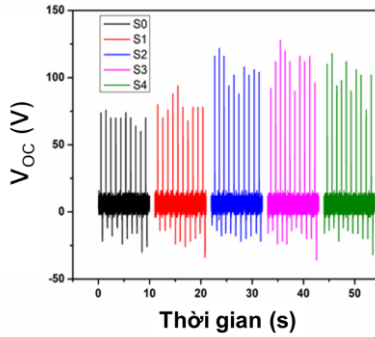
- Vật liệu thứ hai trong cặp ma sát điện là tấm Al nguyên chất hình vuông có kích thước 5×5 cm² (hình 4.1b.I) được ăn mòn bằng lase chuyển mạch Q (hình 4.1b.II).

- Hai tấm nhựa acrylic hình vuông kích thước ngoài là 10×10 cm² và chiều dày 0.5 cm được sử dụng là giá đỡ các vật liệu ma sát điện. Mặt phủ điện cực Cu của PTFE sau ăn mòn được dán vào giữa, trên mặt tấm acrylic. Trong khi mặt nguyên bản của tấm Al được dán vào giữa, trên mặt tấm acrylic còn lại (hình 4.1c).

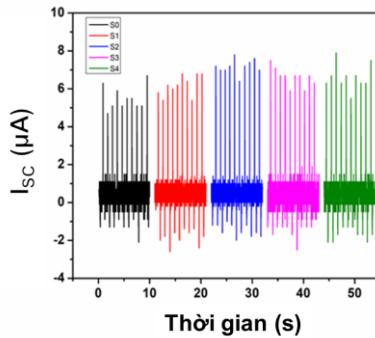
4.2. Ảnh hưởng của lase chuyển mạch Q đến vi cấu trúc và hiệu năng của TENG

4.2.1. Sự phụ thuộc của vi cấu trúc và hiệu năng vào khoảng cách đường quét

Tấm Al nguyên chất (99%, Oristar Corp.) được ăn mòn bằng lase chuyển mạch Q độ rộng xung là 30 μ m như đã đề cập ở phần 3.4, chương 3, công suất là 15 W và tốc độ quét là 500 mm/s. Khoảng cách giữa các đường quét được thay đổi từ 10 đến 50 μ m tương ứng với các mẫu ký hiệu là S1 đến S4. TENG với mẫu Al nguyên bản (S0) có các giá trị cao nhất $V_{OC} = 75$ V và $I_{SC} = 6.7$ μ A. Trừ mẫu S1 có các giá trị $V_{OC} = 80$ V và $I_{SC} = 7.0$ μ A tăng một ít là 1.06 lần và 1.04 lần so với mẫu S0, còn TENG sử dụng các mẫu còn lại cho giá trị tăng lên nhiều hơn. Cụ thể với mẫu S2 các giá trị là $V_{OC} = 122$ V và $I_{SC} = 7.8$ μ A (tăng lên 1.63 lần và 1.16 lần tương ứng so với mẫu S0), với mẫu S3 có $V_{OC} = 125$ V và $I_{SC} = 7.6$ μ A (tăng lên 1.65 lần và 1.15 lần tương ứng so với mẫu S0) và mẫu S4 có $V_{OC} = 121$ V và $I_{SC} = 7.6$ μ A (tăng lên 1.61 lần và 1.15 lần tương ứng so với mẫu S0).



Hình 4.4. Hiệu điện thế hở mạch V_{OC} đo trên cấu trúc TENG sử dụng các mẫu ăn mòn với khoảng cách đường quét khác nhau (mỗi mẫu đo 10 lần theo thời gian)

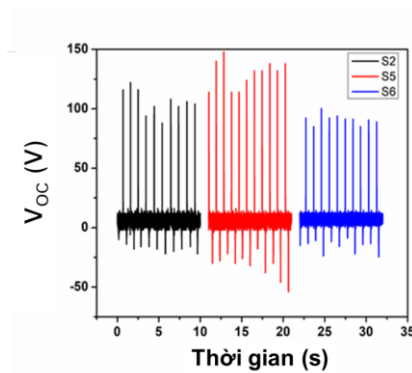


Hình 4.5. Cường độ dòng điện ngắn mạch I_{SC} đo trên cấu trúc TENG sử dụng các mẫu ăn mòn với khoảng cách đường quét khác nhau (mỗi mẫu đo 10 lần theo thời gian)

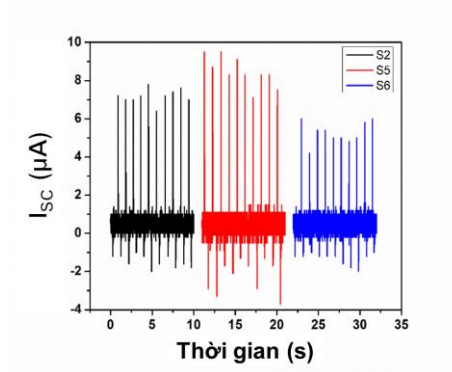
4.2.2. Sự phụ thuộc của vi cấu trúc và hiệu năng vào tốc độ quét

Chúng tôi sử dụng tiếp các thông số kỹ thuật tương ứng của lase là công suất $P = 15 \text{ W}$, khoảng cách đường quét $d = 20 \text{ }\mu\text{m}$ và các giá trị tốc độ quét được sử dụng là 500 mm/s , 1000 mm/s và 2000 mm/s .

Chúng ta thấy rằng TENG với mẫu S5 cho tín hiệu lớn nhất với các giá trị đo được là $V_{OC} = 148 \text{ V}$ và $I_{SC} = 9.6 \text{ }\mu\text{A}$. Trong khi đó mẫu S6 có hiệu điện thế và dòng điện nhỏ nhất là $V_{OC} = 94 \text{ V}$ và $I_{SC} = 5.8 \text{ }\mu\text{A}$. Trong nghiên cứu hiện nay, giá trị tốc độ quét chùm lase 1000 mm/s khi ăn mòn vật liệu Al là phù hợp để dùng trong cấu trúc TENG.

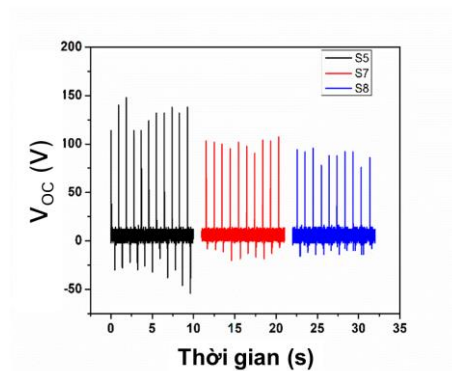


Hình 4.8. Hiệu điện thế hở mạch V_{OC} đo trên cấu trúc TENG sử dụng các mẫu ăn mòn ở tốc độ quét khác nhau (mỗi mẫu đo 10 lần theo thời gian)

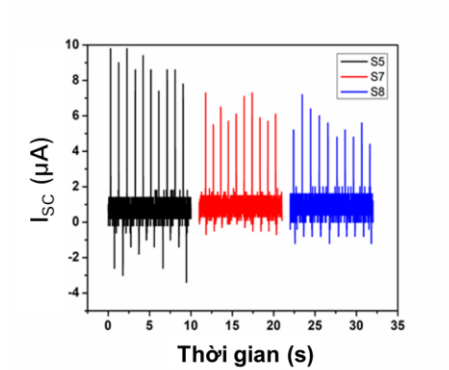


Hình 4.9. Cường độ dòng điện tức thời đo trên cấu trúc TENG sử dụng các mẫu ăn mòn ở tốc độ quét khác nhau (mỗi mẫu đo 10 lần theo thời gian)

4.2.3. Sự phụ thuộc của vi cấu trúc và hiệu năng vào công suất



Hình 4.12. Hiệu điện thế hở mạch V_{OC} đo trên cấu trúc TENG sử dụng các mẫu ăn mòn với công suất khác nhau (mỗi mẫu đo 10 lần theo thời gian)



Hình 4.13. Cường độ dòng điện ngắn mạch I_{SC} đo trên cấu trúc TENG sử dụng các mẫu ăn mòn với công suất khác nhau (mỗi mẫu đo 10 lần theo thời gian)

Chúng tôi sử dụng các thông số kỹ thuật tương ứng của laser là khoảng cách đường quét $d = 20 \mu\text{m}$ và tốc độ quét 1000 mm/s để khảo sát ảnh hưởng của công suất nguồn laser đến sự thay đổi cấu trúc của Al và hiệu năng của TENG. Trong phần này, công suất laser được sử dụng là 15 W, 20 W và 40 W.

Chương 5

PHÁT TRIỂN CẤU TRÚC MÁY PHÁT ĐIỆN MA SÁT NANO THU NĂNG LƯỢNG RUNG ĐA CHIỀU

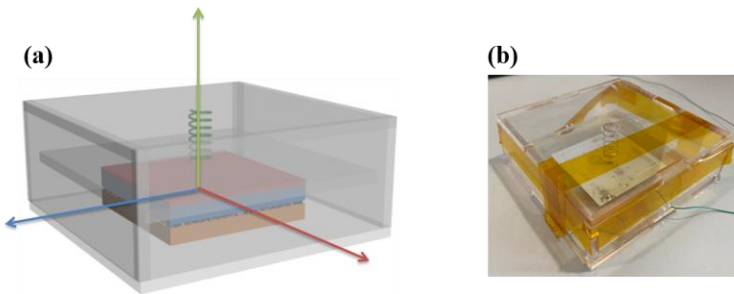
5.1. Thiết kế máy phát điện ma sát nano

Máy phát điện ma sát nano dạng này được chúng tôi thiết kế như sau (hình 5.1):

- Các vật liệu trong cặp ma sát điện gồm: (i) màng PTFE

công nghiệp hình vuông có kích thước $5 \times 5 \text{ cm}^2$ và chiều dày $100 \mu\text{m}$ được ăn mòn bằng ICP-RIE, sau đó được phủ lớp điện cực Cu bằng kỹ thuật phun xạ ở mặt còn lại; (ii) tấm Al nguyên chất hình vuông có kích thước $5 \times 5 \text{ cm}^2$ được ăn mòn bằng laser chuyển mạch Q.

- Một hộp nhựa acrylic kích thước ngoài là $11 \text{ cm} \times 11 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$, chiều dày của lớp acrylic là 0.5 cm được sử dụng là hộp chứa cấu trúc MV-TENG. Tấm Al được dán cố định ở mặt trong của tấm acrylic dưới đáy hộp, trong khi đó màng Cu-PTFE được gắn điện cực Cu vào giữa một giá đỡ là một miếng acrylic kích thước $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$. Miếng acrylic này được kết nối với mặt trong của tấm acrylic trên nắp hộp qua một lò xo, giống trạng thái treo “tự do”, và được đặt ở vị trí cân đối giữa hộp sao cho bề mặt ăn mòn của PTFE và Al hướng vào nhau, đồng thời phần diện tích bề mặt của chúng khi tiếp xúc nhau là lớn nhất.

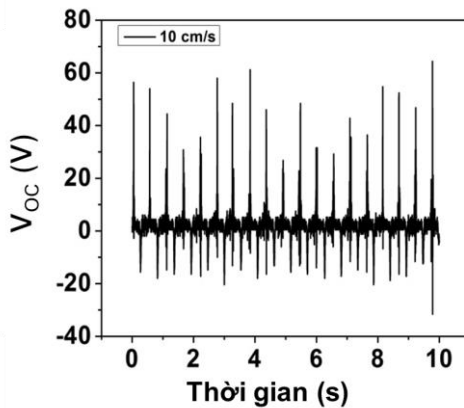


Hình 5.1. (a) Mô hình cấu trúc MV-TENG, (b) Ảnh chụp của MV-TENG.

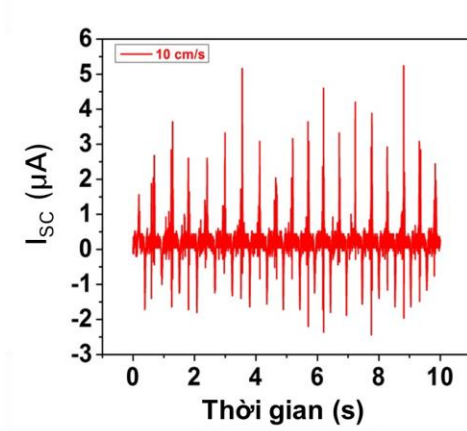
5.2. Khảo sát đặc trưng của thiết bị

5.2.1. Hiệu năng của MV-TENG theo phương thẳng đứng

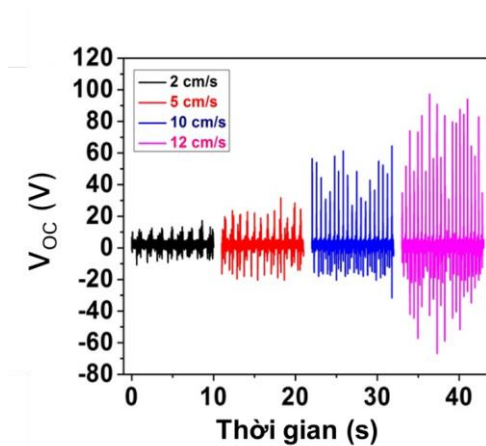
Trong phần này, chúng ta sẽ xem xét khối hộp trong cấu trúc MV-TENG dịch chuyển một khoảng 5 cm, Theo phương thẳng đứng, các giá trị vận tốc trung bình được thay đổi là 2 cm/s (tương ứng với gia tốc trung bình 0.8 cm/s^2), 5 cm/s (gia tốc trung bình: 5 cm/s^2), 10 cm/s (gia tốc trung bình: 20 cm/s^2) và 12 cm/s (gia tốc trung bình: 28 cm/s^2). Các hình 5.7 và 5.8 lần lượt là đồ thị biểu diễn các giá trị V_{OC} và I_{SC} tương ứng với các vận tốc này. Với tốc độ 2 cm/s, giá trị $V_{OC} = 12 \text{ V}$ và $I_{SC} = 1.8 \mu\text{A}$ ở tần số $\sim 8 \text{ Hz}$. Các giá trị tương ứng đạt tới 97 V và $6.5 \mu\text{A}$ với tốc độ 12 cm/s ở tần số $\sim 2.2 \text{ Hz}$.



Hình 5.5. Hiệu điện thế hở mạch V_{OC} đo trên cấu trúc MV-TENG khi chuyển động theo phương thẳng đứng

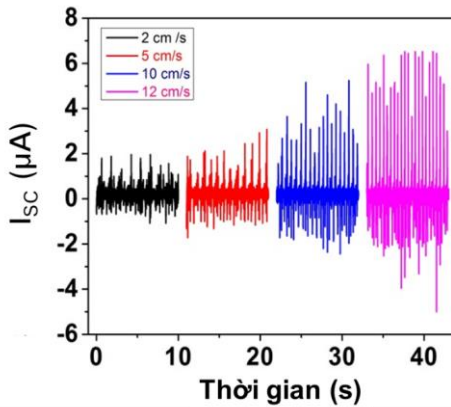


Hình 5.6. Cường độ dòng điện ngắn mạch I_{sc} đo trên cấu trúc MV-TENG khi chuyển động theo phương thẳng đứng



Hình 5.7. Hiệu điện thế hở mạch V_{OC} đo trên cấu trúc MV-TENG

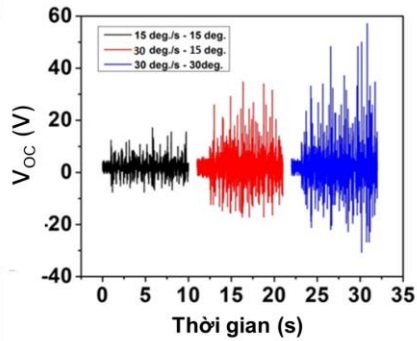
theo vận tốc khi chuyển động theo phương thẳng đứng



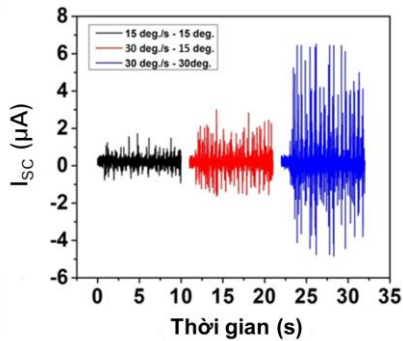
Hình 5.8. Cường độ dòng điện ngắn mạch đo trên cấu trúc MV-TENG theo vận tốc khi chuyển động theo phương thẳng đứng

5.2.2. Hiệu năng của MV-TENG theo mặt phẳng nằm ngang

Trong chế độ khảo sát này, sự thay đổi vị trí tạo rung động dựa trên sự hình thành góc nghiêng của toàn thể MV-TENG so với mặt phẳng ngang. Vì thế, chuyển động này được coi như là một chuyển động xoay quay quanh trục đối xứng của mặt đế MV-TENG. Trong chuyển động này, các thông số của góc nghiêng tối đa (15 deg. và 30 deg.) vận tốc góc (15 deg./s, 30 deg./s) tương ứng với gia tốc góc trung bình là 7.5 deg./s^2 và 15 deg./s^2

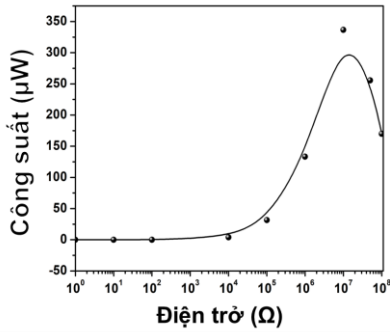


Hình 5.9. Hiệu điện thế hở mạch V_{OC} đo trên cấu trúc MV-TENG khi chuyển động theo phương nghiêng với mặt phẳng nằm ngang

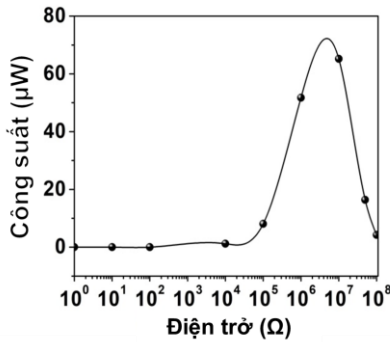


Hình 5.10. Cường độ dòng điện ngắn mạch I_{SC} đo trên cấu trúc MV-TENG khi chuyển động theo phương nghiêng với mặt phẳng nằm ngang

5.3. Một số thử nghiệm ứng dụng của TENG



Hình 5.12. Sự phụ thuộc của công suất đo trên cấu trúc MV-TENG vào giá trị điện trở ngoài với chuyển động theo phương thẳng đứng



Hình 5.14. Sự phụ thuộc của công suất đo trên cấu trúc MV-TENG vào giá trị điện trở ngoài với chuyển động theo phương mặt phẳng ngang

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Luận án đã đạt được một số kết quả nghiên cứu chính như sau:

- Nghiên cứu sử dụng các kỹ thuật kéo sợi bằng lực điện trường để chế tạo màng sợi nano PVC, kỹ thuật ăn mòn plasma cảm ứng để ăn mòn PVC và PTFE, kỹ thuật lase chuyển mạch Q để ăn mòn Al và tạo được các cấu trúc micro và nano trên bề mặt các vật liệu.

- Nghiên cứu thiết kế và thử nghiệm chế tạo được máy phát điện ma sát nano TENG hoạt động ở chế độ tiếp xúc dọc sử dụng cặp vật liệu ma sát điện PTFE/Al và khảo sát, tối ưu điều kiện công nghệ sử dụng trong kỹ thuật lase chuyển mạch Q ($d = 20 \mu\text{m}$, $v = 1000 \text{ mm/s}$ và $P = 15 \text{ W}$). Đây là kỹ thuật được áp dụng lần đầu để nghiên cứu về máy phát điện ma sát nano. Tín hiệu đầu ra lớn nhất của TENG trong nghiên cứu này là $V_{OC} = 148 \text{ V}$ và $I_{SC} = 9.6 \mu\text{A}$.

- Nghiên cứu phát triển và thử nghiệm chế tạo được cấu trúc máy phát điện mới MV-TENG hoạt động ở chế độ tiếp xúc dọc sử dụng cặp vật liệu ma sát điện PTFE/Al. Máy phát điện này có thể dùng để chuyển đổi năng lượng từ các dao động rung cơ học đa chiều thông dụng thành năng lượng điện. Trong nghiên cứu này MV-TENG có giá trị V_{OC} từ 57 V đến 97 V và I_{SC} từ 6.2 μA đến 6.5 μA tùy theo phương chuyển động.

Các kết quả của luận án cho thấy tiềm năng phát triển của các máy phát điện ma sát nano với các cấu trúc mới có hiệu năng cao và ứng dụng để chuyển đổi năng lượng cơ - điện trong thực tế. Hình

vẽ và các thông số kỹ thuật của TENG được mô tả như trong phụ lục 3 của luận án.

DANH SÁCH CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN TỚI LUẬN ÁN

1. Phan Hải, Phan Nguyễn Hòa, Hồ Anh Tâm, Nguyễn Hữu Đức, Phạm Đức Thắng (2022), Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm máy phát điện ma sát nano dựa trên hai vật liệu Teflon và nhôm công nghiệp”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam (bản B)*, 64, 32.
2. Phan Hải, Phan Nguyễn Hòa, Hồ Anh Tâm, Phạm Đức Thắng (2021), “Máy phát điện ma sát nano: Một giải pháp năng lượng tiềm năng”, *Tạp chí Khoa học Đại học mở Thành phố Hồ Chí Minh – Kỹ thuật và Công nghệ*, 17, 43.
3. H. Phan, P.N. Hoa, H.A. Tam, P.D. Thang, N.H. Duc (2020), “Multi-directional triboelectric nanogenerator based on industrial Q-switched pulsed laser etched Aluminum film”, *Extreme Mechanics Letters*, 40, 100886.
4. H. Phan, P.N. Hoa, H.A. Tam, P.D. Thang (2021), “Q-switched pulsed laser direct writing of aluminum surface micro/nanostructure for triboelectric performance enhancement”, *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 6(1), 84-91.