



# CẢM BIẾN TỪ LƯỢNG TỬ VÀ XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN CẢM BIẾN TỪ TRƯỜNG ĐỘ NHẠY CAO Ở VIỆT NAM HIỆN NAY



Nguyễn Văn Tuấn | Bộ môn Vật lý, Học viện Kỹ thuật Quân sự.



# Nội dung

1 Hệ thống Định vị, Dẫn đường và Thời gian

2 Cảm biến từ lượng tử

3 Ứng dụng của cảm biến từ lượng tử

4 Cảm biến từ trường trong đo đạc từ trường thấp

5 Định hướng nghiên cứu và kết luận



# Hệ thống Định vị, Dẫn đường và Thời gian

## Threat Map



Tactical anti-spoofers



### 1 Nhiễu sóng (Jamming)

- Cố ý vô hiệu hóa tín hiệu.

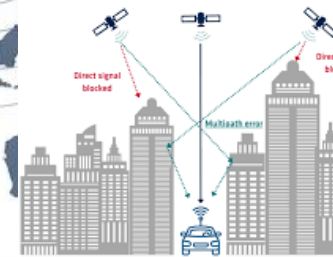


### 2 Giả mạo (Spoofing)

- Thay đổi tọa độ mục tiêu.

### 3 Lỗi môi trường

- Đa đường truyền, phát xạ mặt trời.



## Impact Panel

Students hijack luxury yacht with GPS spoofing

New Report Details GNSS Spoofing Including Denial-of-Service Attacks

Russian GPS jamming in Ukraine pushes Britain to seek alternatives

Ships fooled in GPS spoofing attack suggest Russian cyberweapon



**Thiệt hại:** 1 Tỷ USD/ngày (Mỹ) | 1 Tỷ Bảng/ngày (Anh).

**Thực trạng:** Vũ khí dẫn đường, tàu vận tải, và drone liên tục bị đánh lừa hoặc vô hiệu hóa.

**Kết luận chiến lược:** Cần gấp giải pháp định vị tăng cường và công nghệ thay thế không phụ thuộc vệ tinh.

# Hệ thống Định vị, Dẫn đường và Thời gian

## Định vị, Dẫn đường và Thời gian Linh hoạt (Resilient PNT)

**PNT Linh hoạt:** Tự động thích ứng trong môi trường phức tạp bằng cách tích hợp đa nguồn cảm biến, đảm bảo tính liên tục và độ tin cậy tuyệt đối.



**Lớp bề mặt:** GNSS, Tín hiệu di động, Radar/Lidar

'Umbrella of Resilience'



**Lớp nền tảng (AIPNT):** Hệ thống định vị nội bộ (INS), Từ kế truyền thống, Trọng lực kế



Đồng hồ lượng tử



IMU lượng tử



Cảm biến từ lượng tử

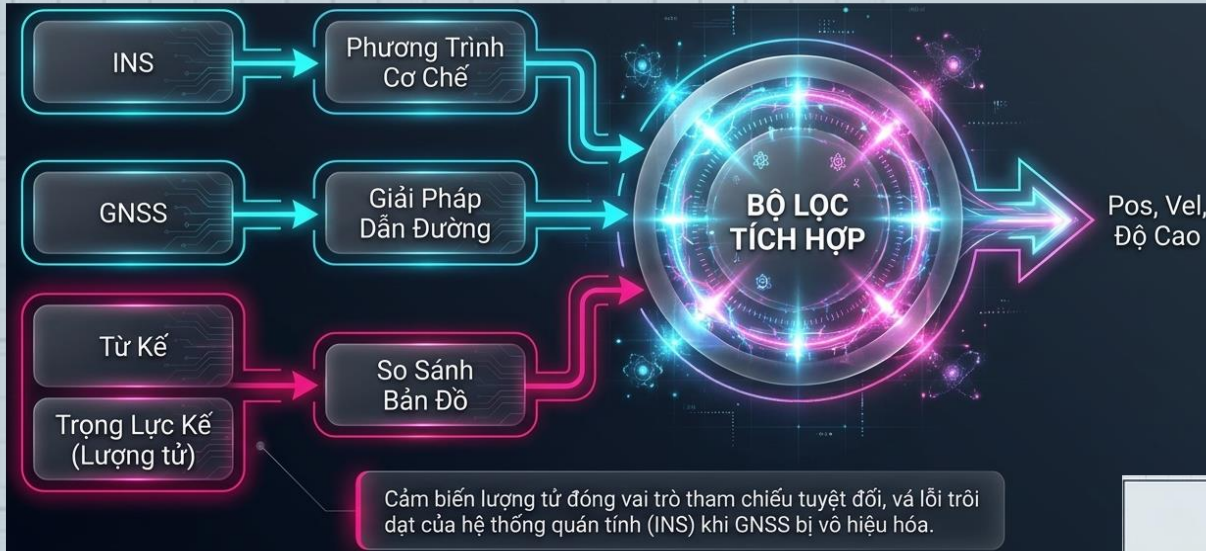


Độ chính xác tuyệt đối,  
không thể bị gây nhiễu

**Lõi lượng tử (Quantum Sensors):** Đồng hồ lượng tử, IMU lượng tử, Cảm biến từ lượng tử  
(Độ chính xác tuyệt đối, không thể bị gây nhiễu).

# Hệ thống Định vị, Dẫn đường và Thời gian

## PNT tăng cường lượng tử



### Lượng tử (Qubit)

$= C_0|0\rangle + C_1|1\rangle$

- Nguyên lý chồng chập (Superposition):** Tồn tại đồng thời nhiều trạng thái ( $C_0|0\rangle + C_1|1\rangle$ ).
- Rối lượng tử (Entanglement):** Tương tác tức thời trong không-thời gian.
- Tính nhạy cảm vĩ mô:** Các trạng thái này cực kỳ dễ bị phá vỡ bởi môi trường ngoài -> Tạo ra các hệ cảm biến siêu chính xác chưa từng có.

### Cổ điển (Bit)

- Trạng thái nhị phân tĩnh:** 0 hoặc 1.
- Hạn chế:** Cảm biến cổ điển bị giới hạn bởi nhiễu nhiệt và giới hạn điện tử.

### Nobel Prize in Physics 2025

- John Clarke:** III. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach
- Michel H. Devoret:** © Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin
- John M. Martinis:** © Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin

## Ưu thế của cơ học lượng tử

# Nguyên lý hoạt động của cảm biến lượng tử

## 1. Chuẩn bị nguyên tử/hạt (Preparation)

Tạo ra một hệ hạt ở trạng thái lượng tử xác định (thường sử dụng công nghệ làm lạnh nguyên tử, laser, hoặc buồng hơi nguyên tử).



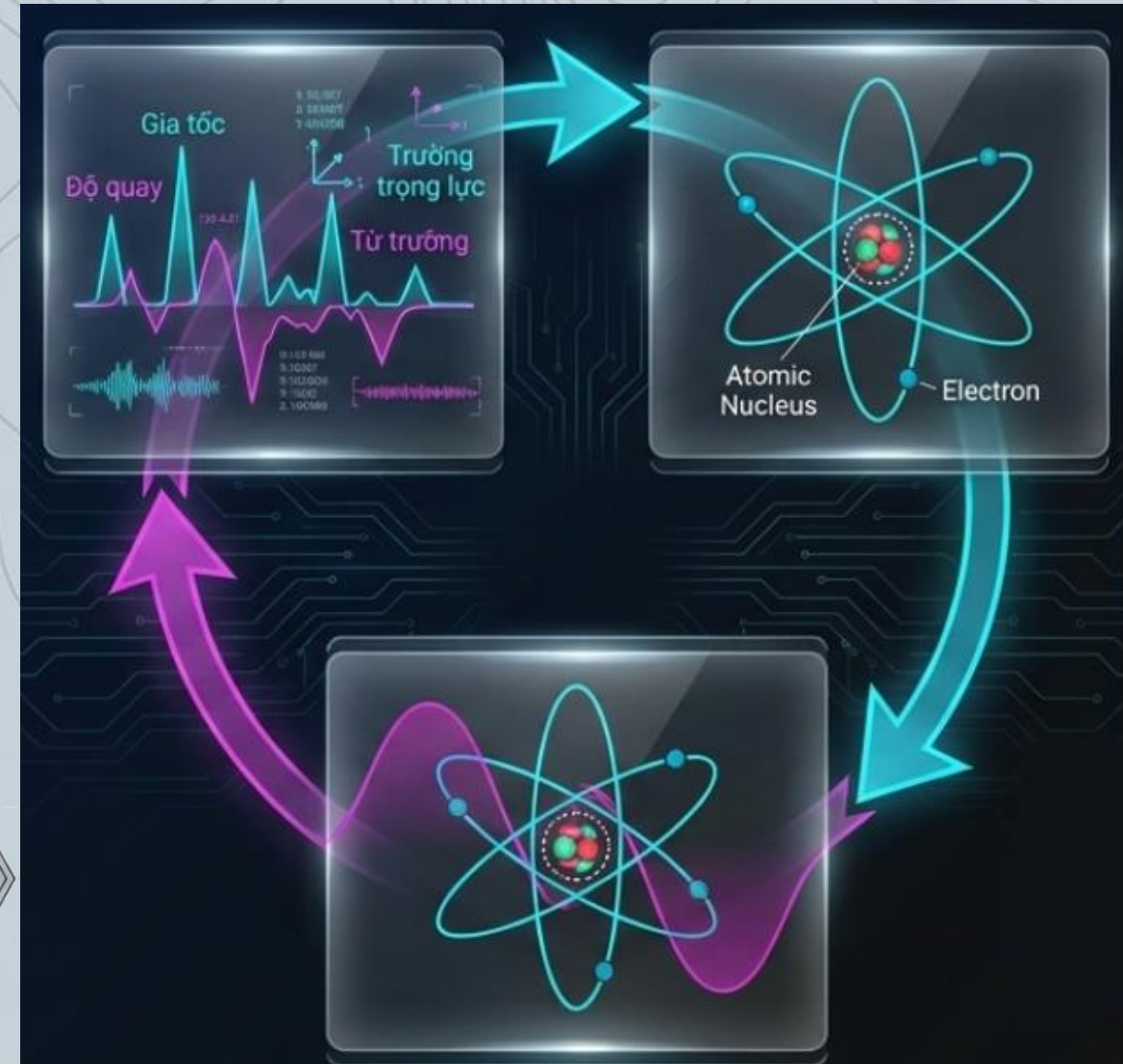
## 2. Tương tác môi trường (Interaction)

Hệ hạt tương tác với các trường vật lý bên ngoài. Hàm sóng lượng tử bị biến đổi do nhiễu loạn cực nhỏ.



## 3. Rút ra thông tin (Measurement)

Đo lường sự thay đổi trạng thái (Gia tốc, vận tốc góc, trọng lực, hoặc từ trường)



# Tương tác từ của nguyên tử

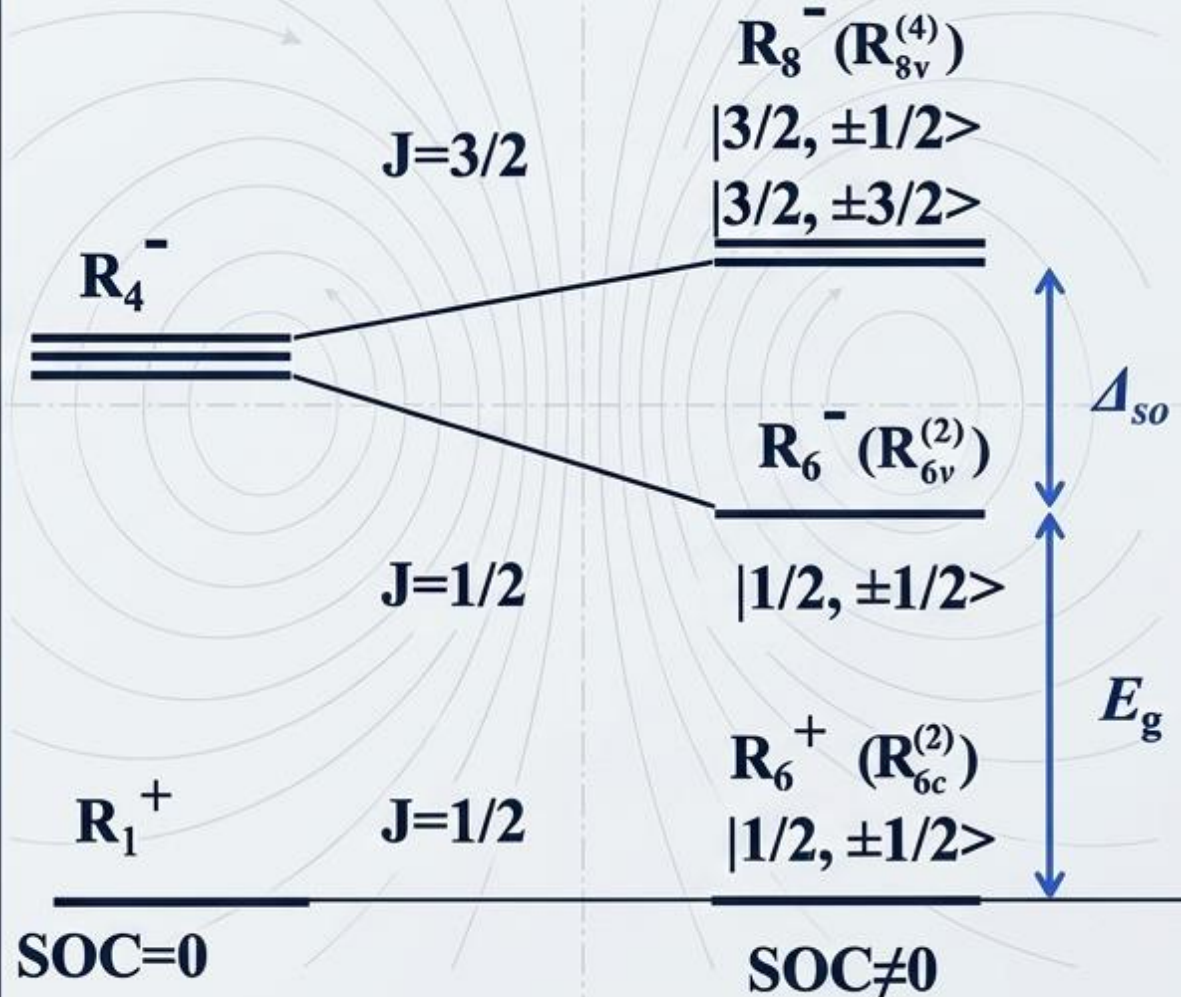
## Tương tác Spin-Orbit & Tách mức



Khi nguyên tử đặt trong từ trường ngoài, tương tác bắt cặp spin-orbit gây ra hiện tượng phân tách năng lượng và cấu trúc vùng năng lượng.



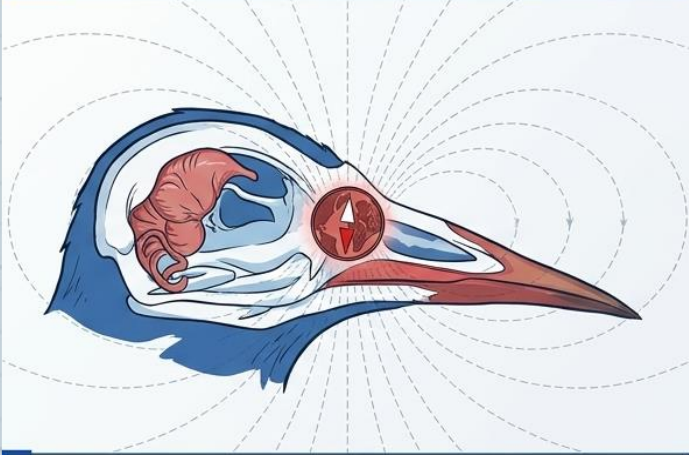
**Hiệu ứng Zeeman và tiến động Larmor:**  
Tần số dao động của electron biến đổi tỉ lệ thuận tuyệt đối với cường độ từ trường xung quanh.



## Công nghệ hiện hành

- SQUID** (Giao thoa lượng tử siêu dẫn).
- SERF** (Buồng hơi nguyên tử trao đổi spin - không cần làm lạnh sâu).
- Công nghệ trạng thái rắn & Quang cơ học.

# Ứng dụng của từ kế lượng tử



Một số loài chim trời định vị thông qua hiện tượng lượng tử diễn ra trong các protein nhạy cảm từ trường ở võng mạc, cho phép chúng “nhìn” thấy từ trường Trái Đất.



**Từ Kế Biến Thiên (MAD):** Dò tìm sự nhiễu loạn **siêu nhỏ** trong **từ trường Trái Đất** do **khối kim loại khổng lồ** (tàu ngầm) gây ra dưới đáy biển sâu.

**Ưu thế tuyệt đối:** Tín hiệu từ trường không bị cản trở bởi môi trường nước như tín hiệu vệ tinh hay radar truyền thống. Thiết bị được gắn trên **đuôi máy bay tuần thám** hoặc **trực thăng săn ngầm**.

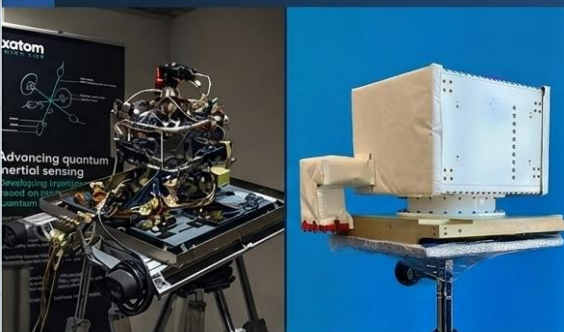
# Ứng dụng của từ kế lượng tử

## Dẫn đường Bản đồ Từ trường



Sử dụng mạng lưới dị thường từ trường của lớp vỏ Trái Đất như một 'dấu vân tay' định vị.  
 Tháng 2/2026: Q-CTRL hợp tác với Airbus thử nghiệm đánh giá hệ thống dẫn đường lượng tử hoàn chỉnh.

## Không gian Vũ trụ



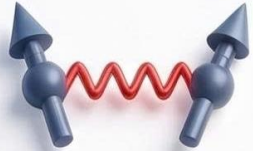
Northrop Grumman phát triển cảm biến từ và giao thoa kế nguyên tử cho môi trường không có GPS.  
 Năm 2023: Đạt phá trình diễn ngoài không gian đầu tiên của con quay hồi chuyển nguyên tử hiệu năng cao (DIU & Ixatom).

Tiêu Chí	Cổ Điển	Lượng Tử
<b>Độ Nhạy</b>	Pico/nanoTesla	Femtotesla - Tuyệt đối cực cao ✓
<b>Môi Trường</b>	Điều kiện tự nhiên ✓	Cần chân không, chống nhiễu, làm lạnh ⚠
<b>SWaP</b> (Kích thước/Năng lượng)	Nhỏ gọn, Mobile ✓	Khối lượng lớn, tiêu thụ năng lượng cao do laser/quang học ⚠
<b>Chi Phí</b>	Thấp - Trung bình ✓	Rất đắt đỏ, >\$10,000+ ⚠
<b>Độ Trưởng Thành</b>	Đã thương mại hóa	Đang thử nghiệm thực địa

- Công nghệ cảm biến lượng tử sử dụng các tính chất lượng tử để tăng độ nhạy, kháng nhiễu cho các loại cảm biến.
- Cảm biến “*lượng tử*” trong quân sự đang ở dạng thử nghiệm
- Cảm biến lượng tử còn phải trải qua các bước nâng cấp, tối ưu về kích thước, khối lượng và công suất tiêu thụ (SWaP) để có thể tích hợp lên các hệ thống vũ khí
- Có thể sử dụng các dạng cảm biến truyền thống để ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau

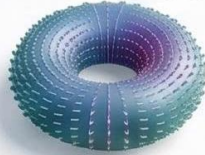
# Tổng quan về vật liệu từ mềm và đặc tính từ

exchange



⇒ parallel spins

anisotropy



⇒ easy directions

thermal activation



⇒ fluctuations

precession

damping

$$\frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t} = -\gamma \mathbf{J} \times \mathbf{H}_{\text{eff}} + \frac{\alpha}{J_s} \mathbf{J} \times \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t}$$

magnetostatics



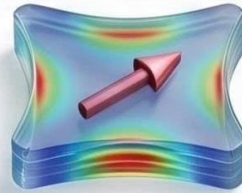
⇒ domains

external field



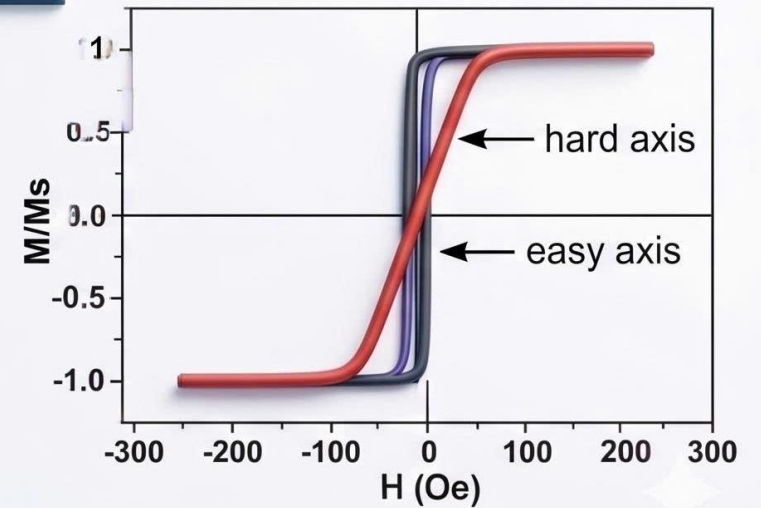
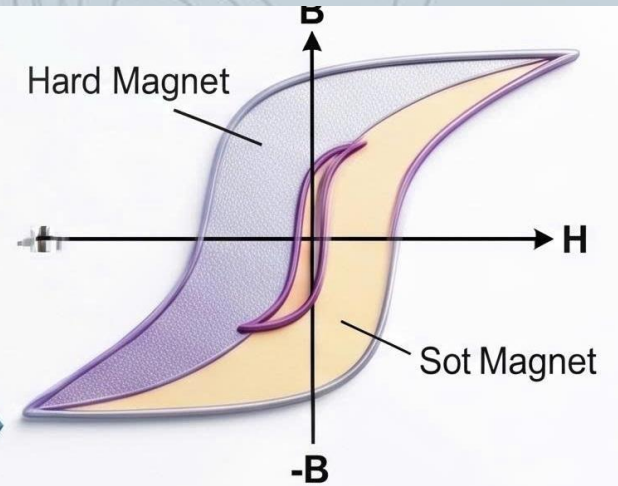
⇒ rotation

strain effects



“modified anisotropy”

Dị hướng



**Vật liệu từ mềm:**

- Độ từ hóa bão hòa cao ( $M_s$ )
- Lực kháng từ thấp ( $H_c$ )
- Độ từ thẩm cao ( $\mu$ )
- Dị hướng từ tinh thể thấp
- Tổn hao lõi thấp

# Nguyên lý hoạt động của hiệu ứng ME

Hiệu ứng từ giảo



Hiệu ứng áp điện

Từ trường



Biến dạng



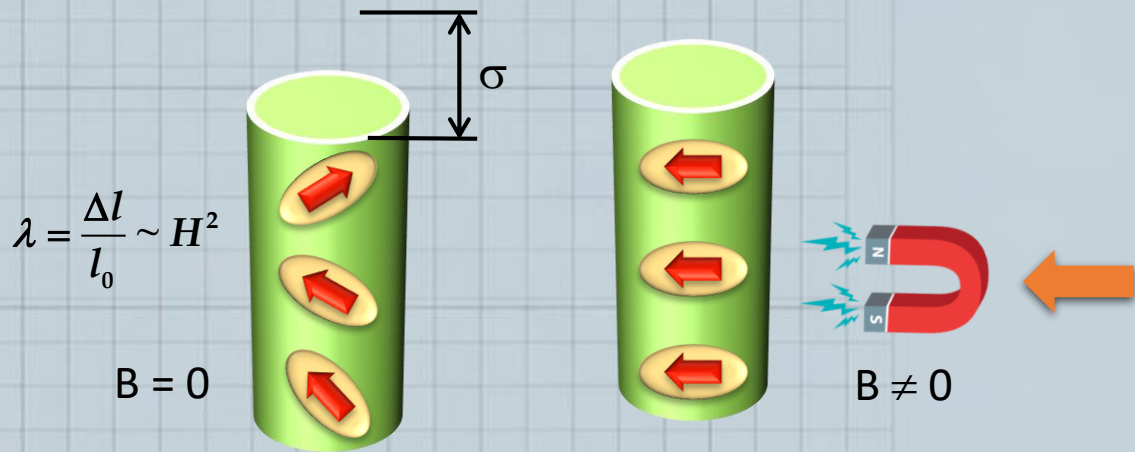
Ứng suất



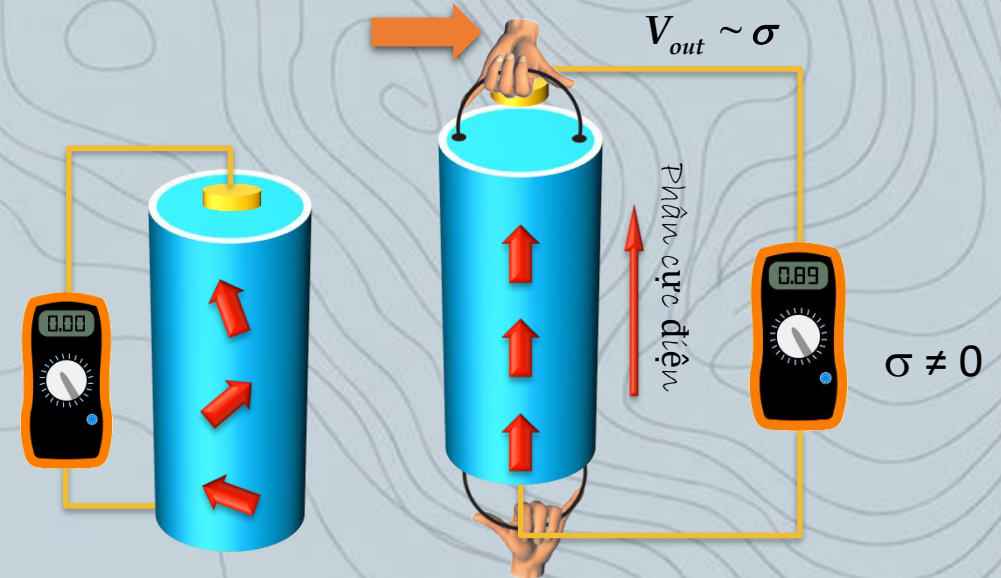
Phân cực điện



Điện áp ra



$\sigma = 0$



Đo từ trường



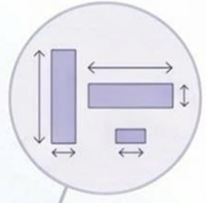
Tín hiệu điện

# Công nghệ Vật liệu và ứng dụng cảm biến

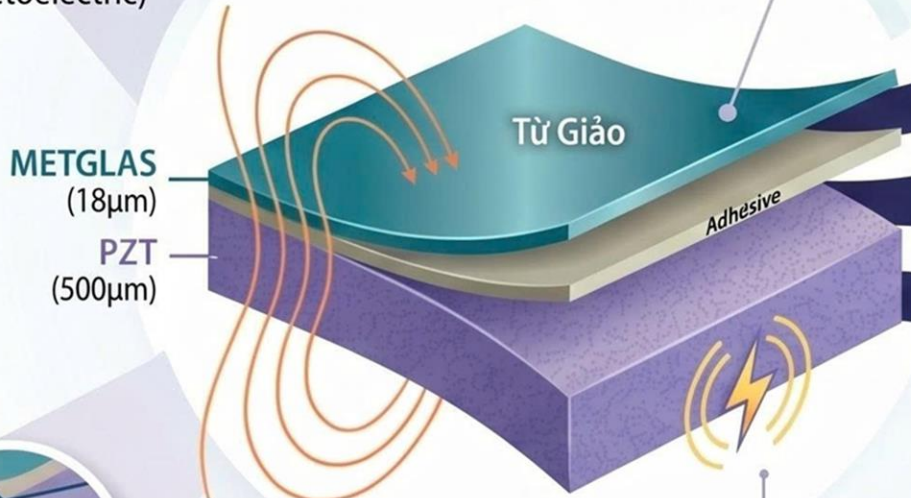


Vật liệu tổ hợp ME (Magnetolectric)

**Tối ưu hóa bằng cấu trúc hình học**  
 Điều khiển tính chất từ và tăng độ nhạy thông qua việc điều chỉnh tỷ lệ dài/rộng



Nền tảng Vật liệu & Công nghệ Metglas/PZT



**Tối ưu hóa bằng cấu trúc hình học**  
 Điều khiển tính chất từ và tăng độ nhạy thông qua tiểu hình hóa

**Hiệu ứng chuyển đổi Từ - Điện**  
 Biến đổi từ trường ngoài thành tín hiệu điện thế

Ứng dụng Thực tiễn & Hiệu suất:  
 La bàn điện tử độ chính xác cao

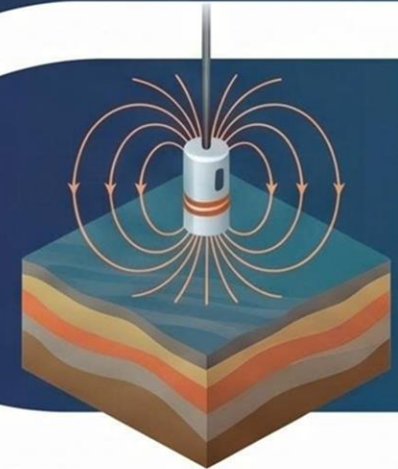


Độ phân giải góc  
**0,05 độ**  
 Sai số cực thấp chỉ  
**0,1 độ**

Optional data table:

- Dải góc đo: **0 đến 360 độ**
- Độ nhạy từ trường: **1 nanoTesla**
- Sai số từ trường Trái đất: **0,015%**

Từ kế thăm dò địa từ (Magnetometer)



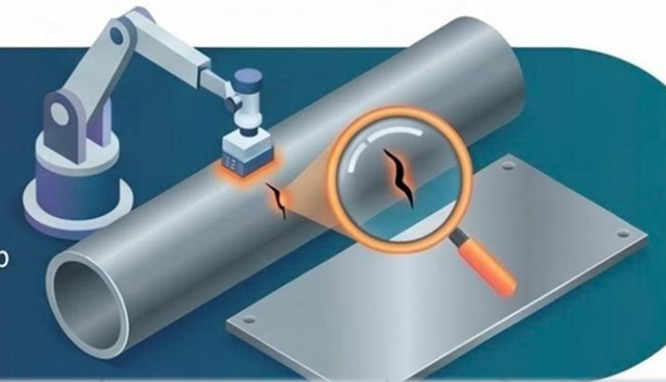
Độ phân giải đạt mức dưới  
**0,1 nT**

Phục vụ thăm dò  
**3 trục**  
 chính xác



Kiểm tra thép không phá hủy (NDT)

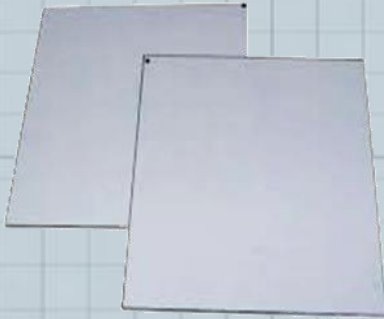
Phát hiện vết nứt quy mô micromet trên thép tấm và thép ống trong phòng thí nghiệm



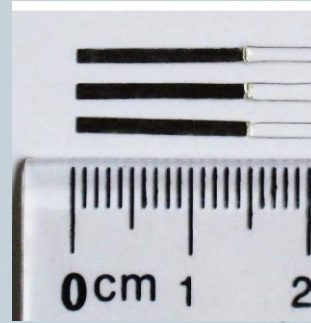
# Cảm biến ME cho la bàn điện tử



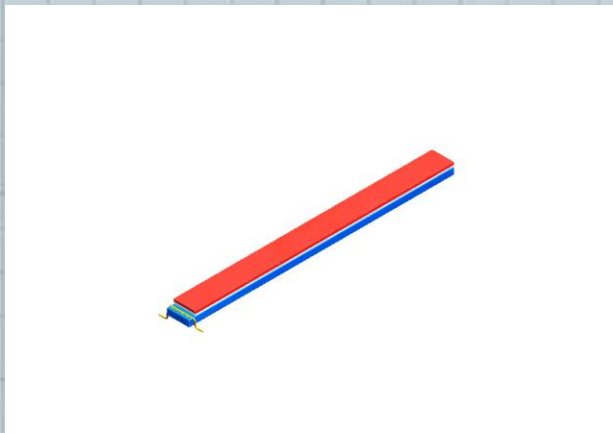
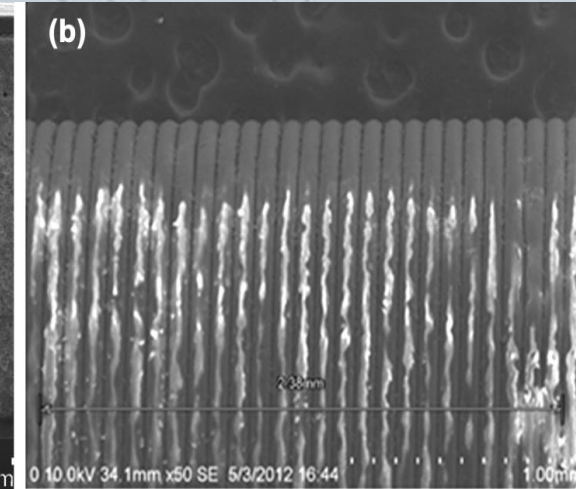
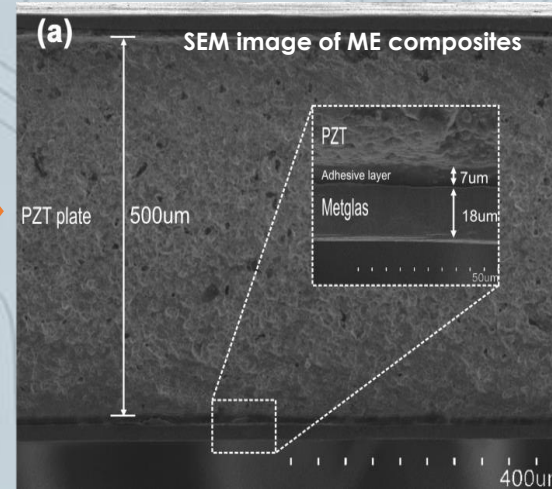
Metglas  
(dày 18 $\mu$ m)



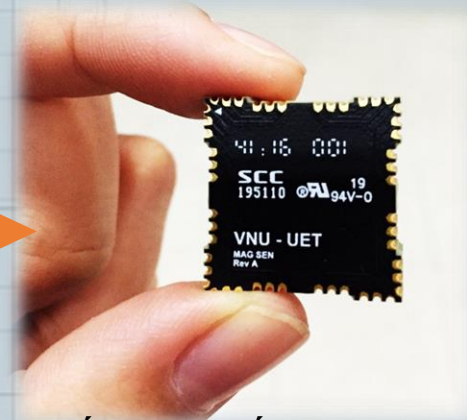
Tấm PZT ( USA )  
(dày 500 $\mu$ m)



Vật liệu ME tổ hợp  
Metglas/PZT



Chế tạo cảm biến từ hai chiều



Thiết bị từ kế hai trục sau  
khi được chế tạo

## THÔNG SỐ HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ

Dải góc đo	Từ 0 đến 360 độ	Sai số từ trường trái đất	0,015%
Độ phân giải góc	0,05 độ	Độ nhạy với từ trường trái đất	1 nanoTesla
Sai số góc	0,1 độ	Góc chết (dead angle)	Không
Chuẩn hóa	Tự động	Chuẩn hóa	10 <sup>-1</sup> độ
Thế offset	Tự động bù trừ	Nguồn nuôi	lên đến 100 °C
Màn hình hiển thị GLCD	320x240, 16 bit màu, Backlight, resistive touch	Vi xử lý	ARM Cortex M4, tích hợp DSP, tiết kiệm điện, hiệu năng cao
Nguồn nuôi	5VSC - 200 mA Pin Li-ion 3.7V - 1200mAh	ADC	12 bit
Kết nối ngoại vi	USB, USART	Tốc độ lấy mẫu	1 Msps

# Cảm biến ME cho la bàn điện tử

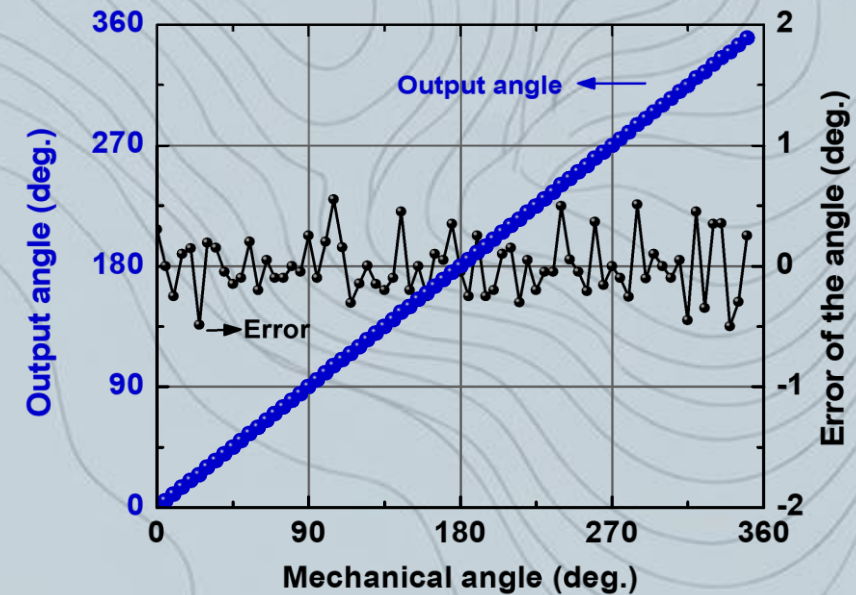
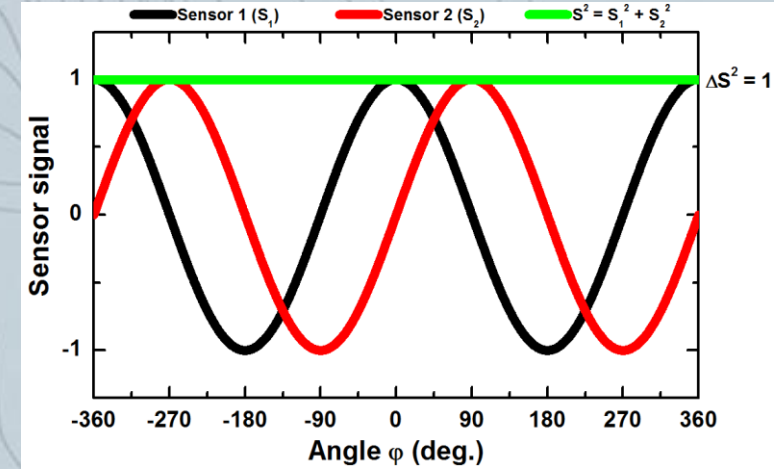


Tích hợp với mạch điện tử

La bàn điện tử Patent 2022

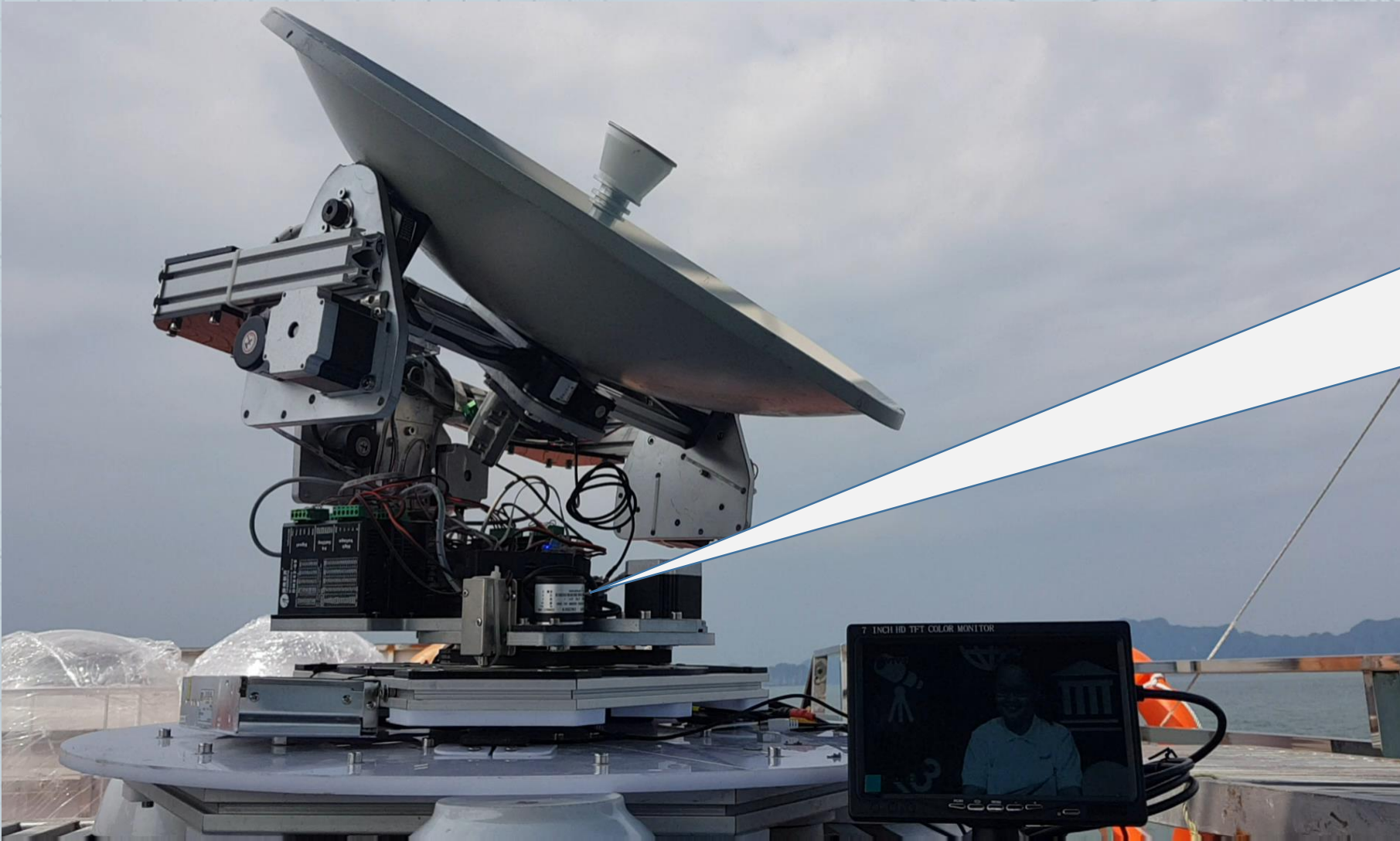
Dải hoạt động tuyến tính và phân giải góc  $\sim 0.1^\circ$

$$H_{horizontal} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \quad Azimuth \varphi = \text{atan} \frac{V_2}{V_1}$$





# Cảm biến ME cho la bàn điện tử



Tích hợp với la bàn  
điện tử



- Pitch angle:  $15-80^{\circ} (\pm 0.5^{\circ})$
- Yaw angle : of  $0-360^{\circ} (\pm 0.25^{\circ})$
- Polarization angle:  $0-360^{\circ} (\pm 0.5^{\circ})$
- Turn rates:  $\sim 12^{\circ}/s$  and  $12^{\circ}/s^2$

# Từ kế phục vụ thăm dò địa từ



Từ giảo

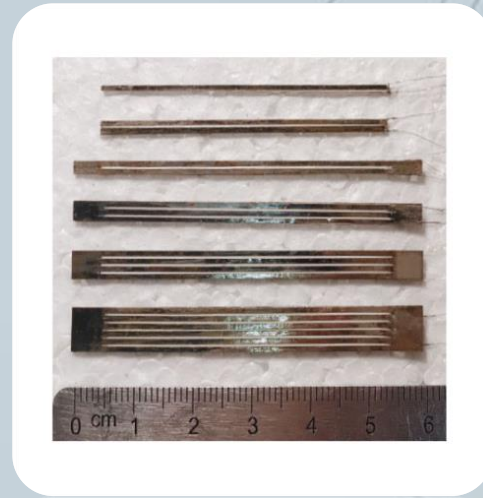


PZT

Vật liệu tổ hợp ME



Vật liệu ME dạng dây



Đóng gói cảm biến đơn trục



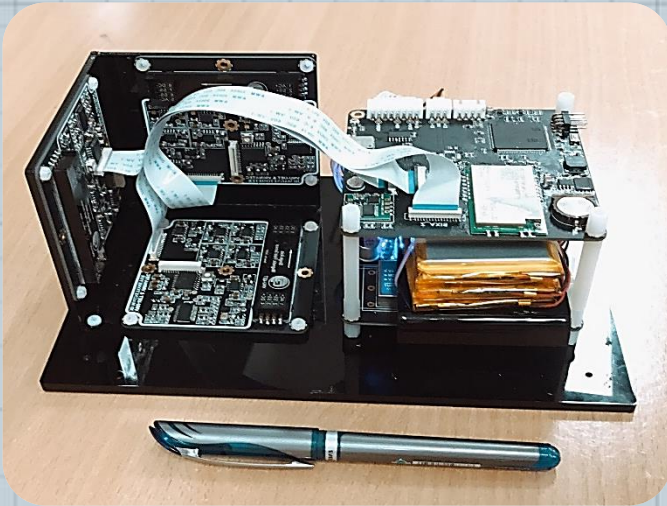
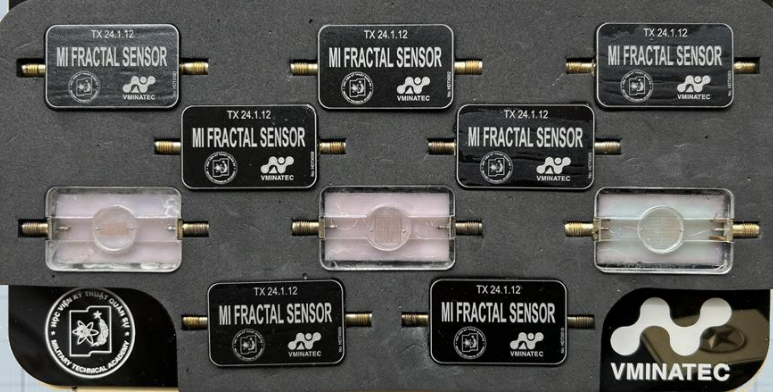
Quy trình chế tạo

Độ phân giải cao, nhỏ hơn 0,1 nT



# Từ kế phục vụ thăm dò địa từ, quân sự

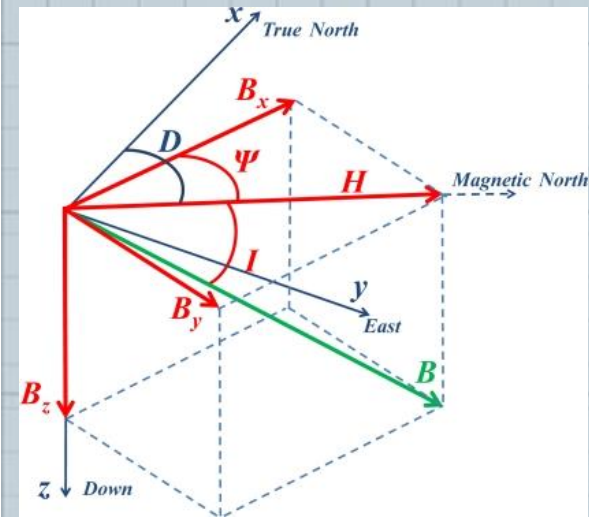
HỆ ĐẦU DÒ VỊ CẢM BIẾN TỪ TRƯỜNG DỰA TRÊN CẤU TRÚC CHIẾT HÌNH ỨNG DỤNG TRONG MỘT SỐ NHIỆM VỤ QUÂN SỰ



Thiết bị từ kế 3 trục



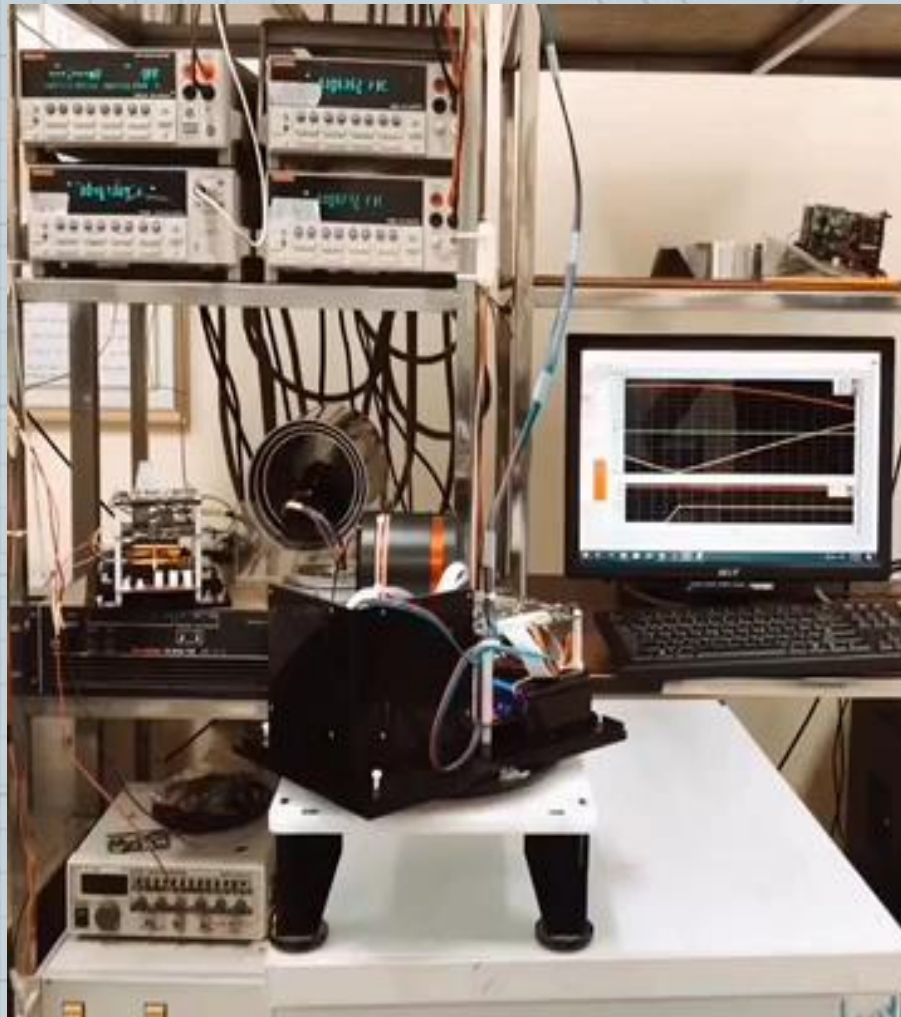
# Từ kế phục vụ thăm dò địa từ, quân sự



$$B_{tot} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

$$I = \frac{B_z^2}{B_{tot}}$$

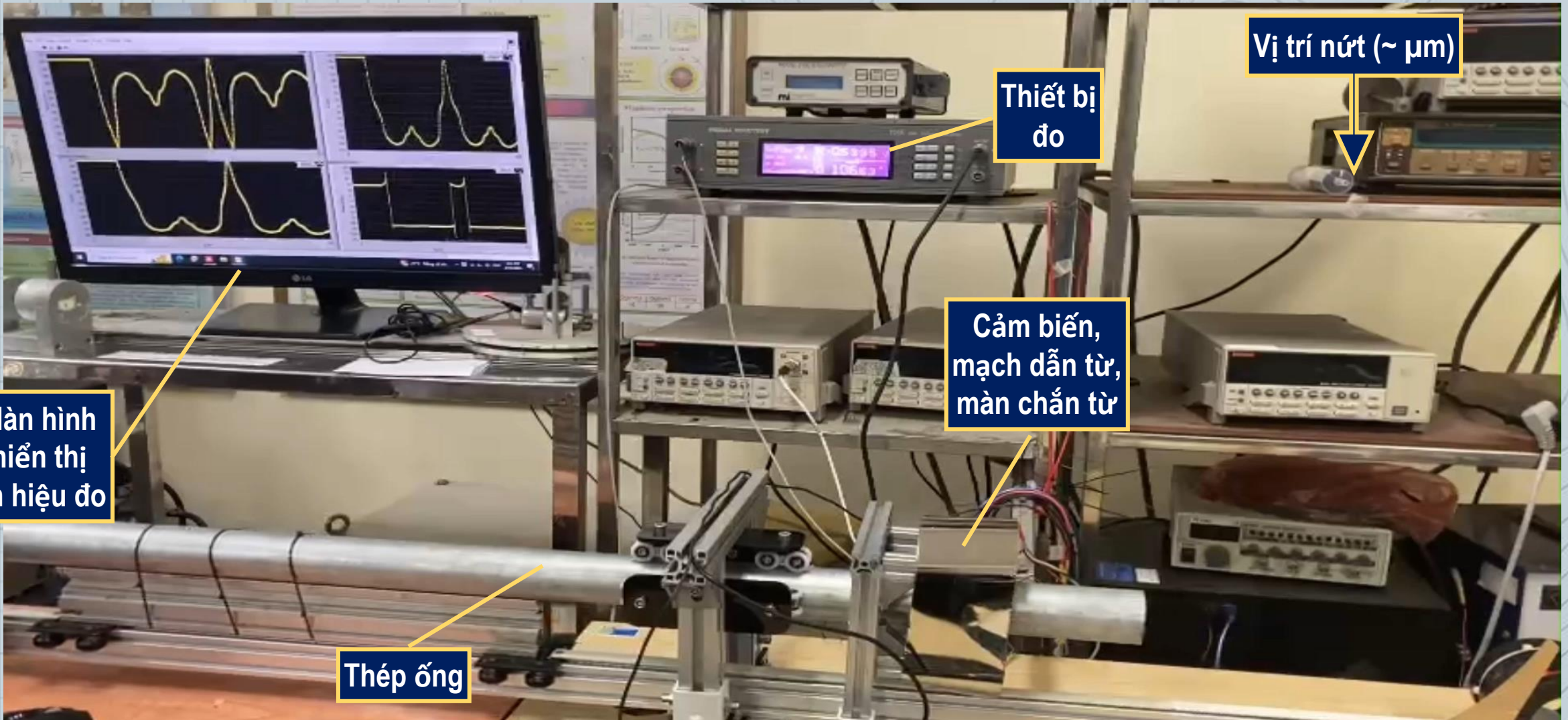
- ❑ Phân giải góc:  $10^{-2}^\circ$
- ❑ Độ phân giải:  $\sim 0,1 \text{ nT}$



3D Magsen (version 2)



# Ứng dụng kiểm tra không phá hủy sắt thép



# Hiệu ứng từ tổng trở

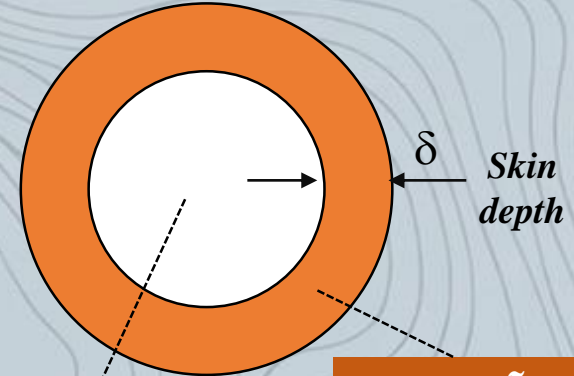
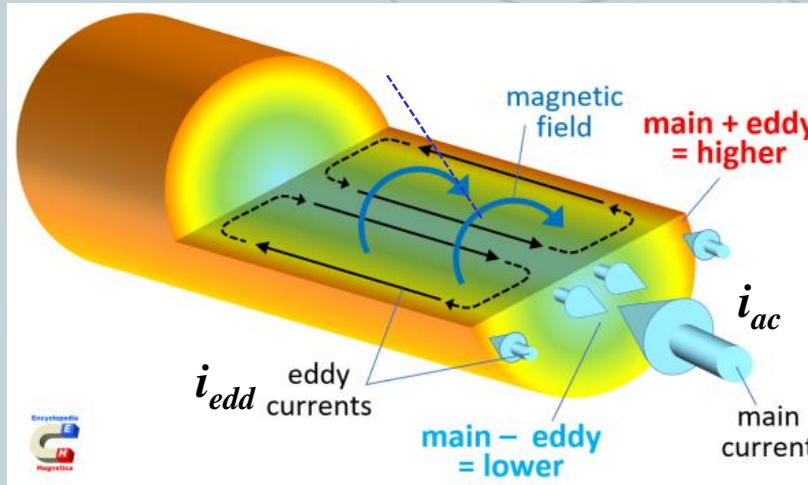
**HIỆN ỨNG TỪ TỔNG TRỞ**  
GMI

**Độ thấm từ vật liệu ( $\mu$ )**

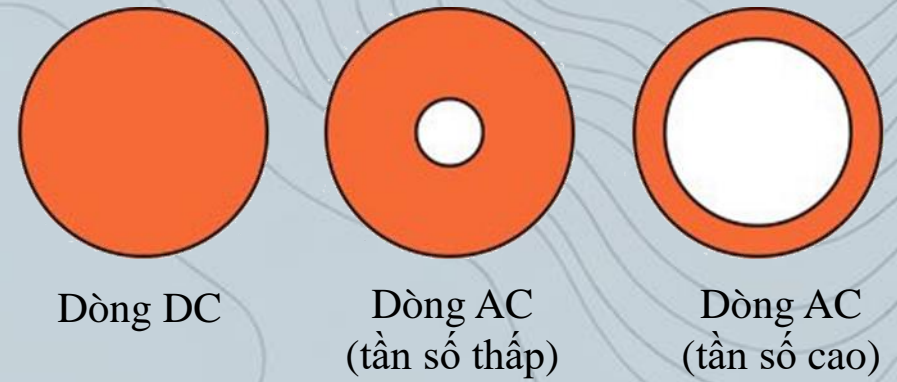
**Hiệu ứng bề mặt**

## Hiệu ứng bề mặt (*Skin effect*) *Từ trường cảm ứng*

Mặt cắt ngang vật dẫn mô tả dòng điện chạy qua



Vùng không dẫn  
 $i = i_{ac} - i_{edd} \rightarrow 0$



GMI lớn trên các vật liệu từ mềm Co, Fe  
 $GMI (\%) \sim 10^2 \%$

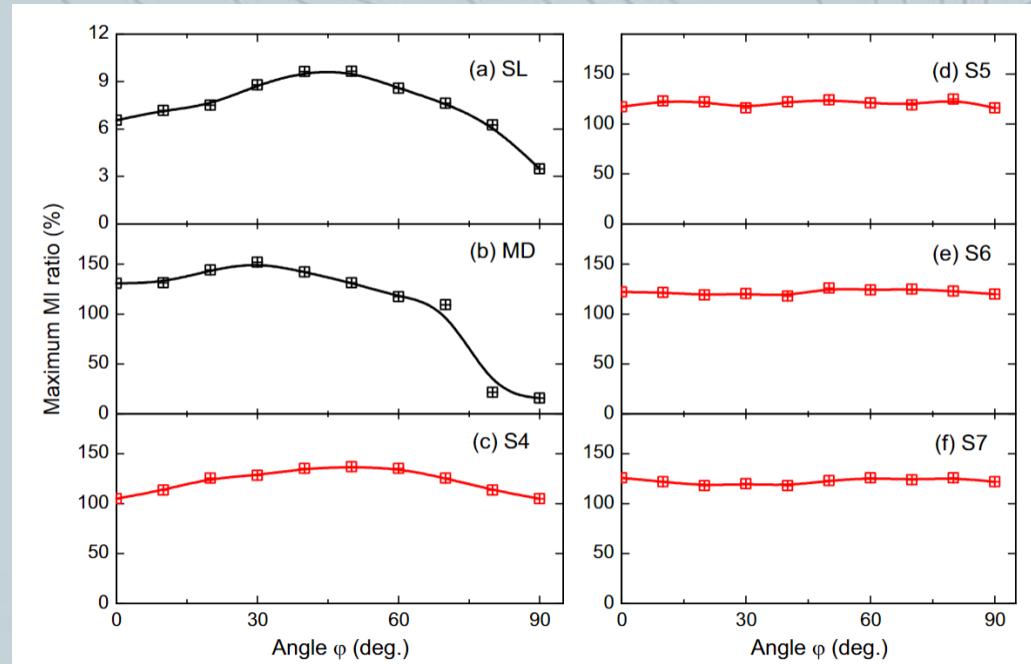
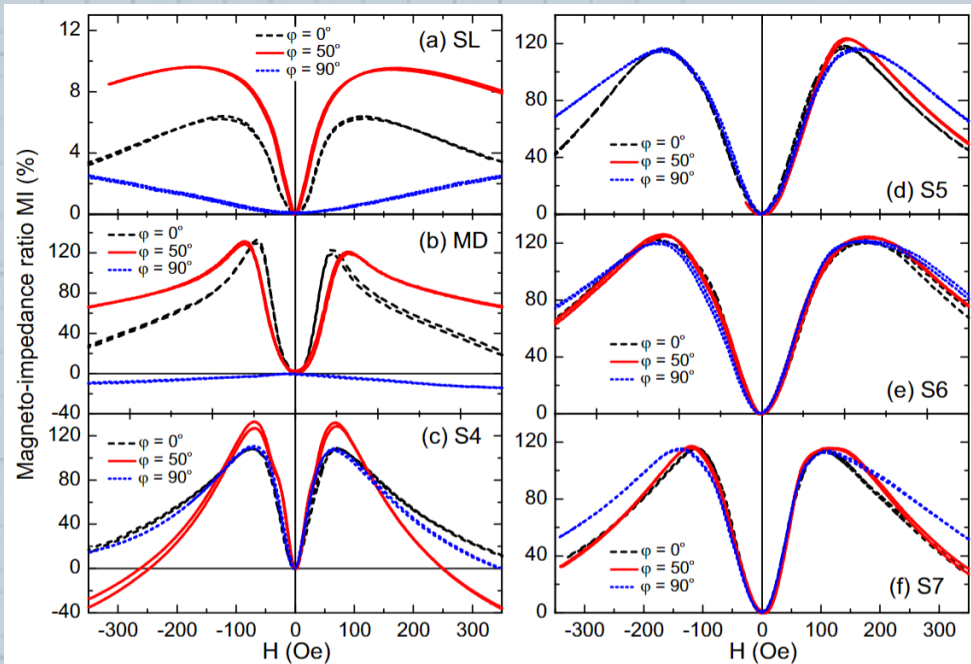
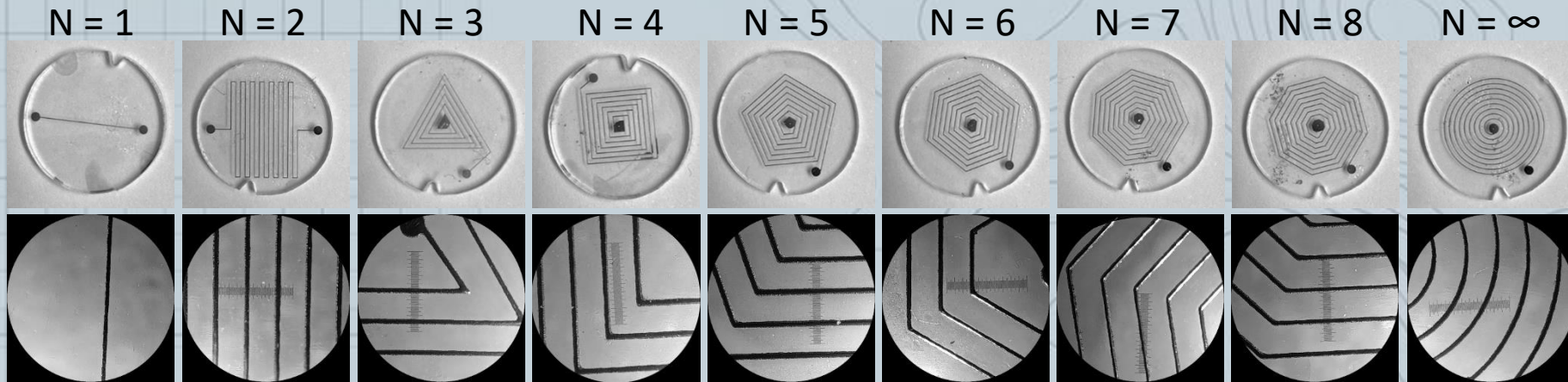
Độ thấm sâu  $\rightarrow$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 f \sigma \mu}}$$

- $f$  - tần số
- $\sigma$  - độ dẫn điện
- $\mu$  - độ từ thẩm tròn



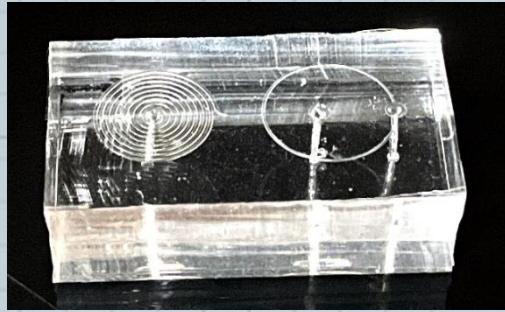
# Cấu trúc được tối ưu hóa



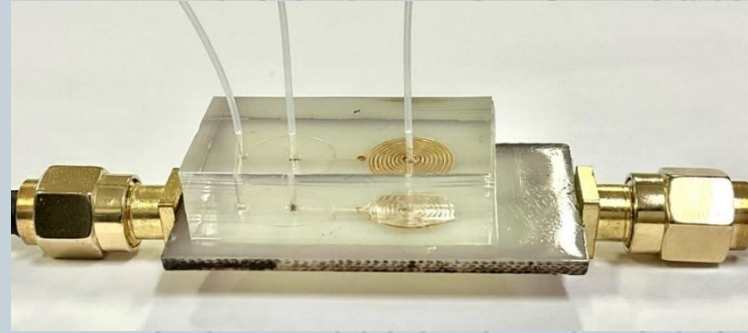
# Ứng dụng y sinh, phát hiện hạt từ



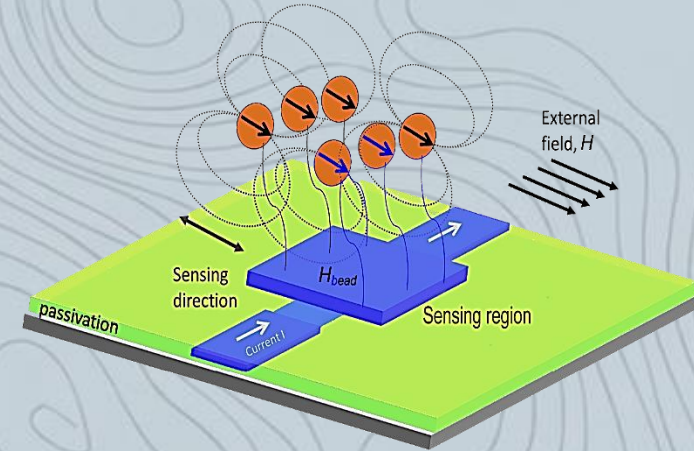
MI microspiral sensor



Microfluidic systems



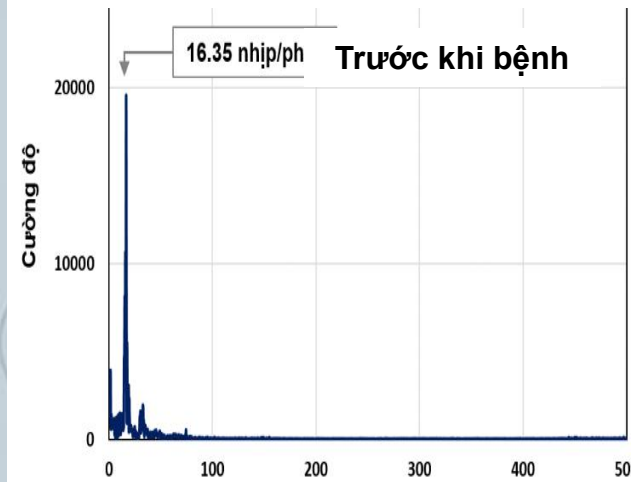
Integrated Biosensor systems



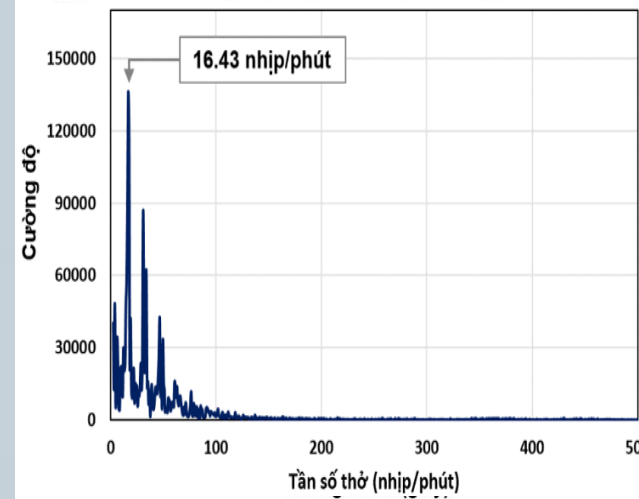
# Giám sát dấu hiệu sinh tồn



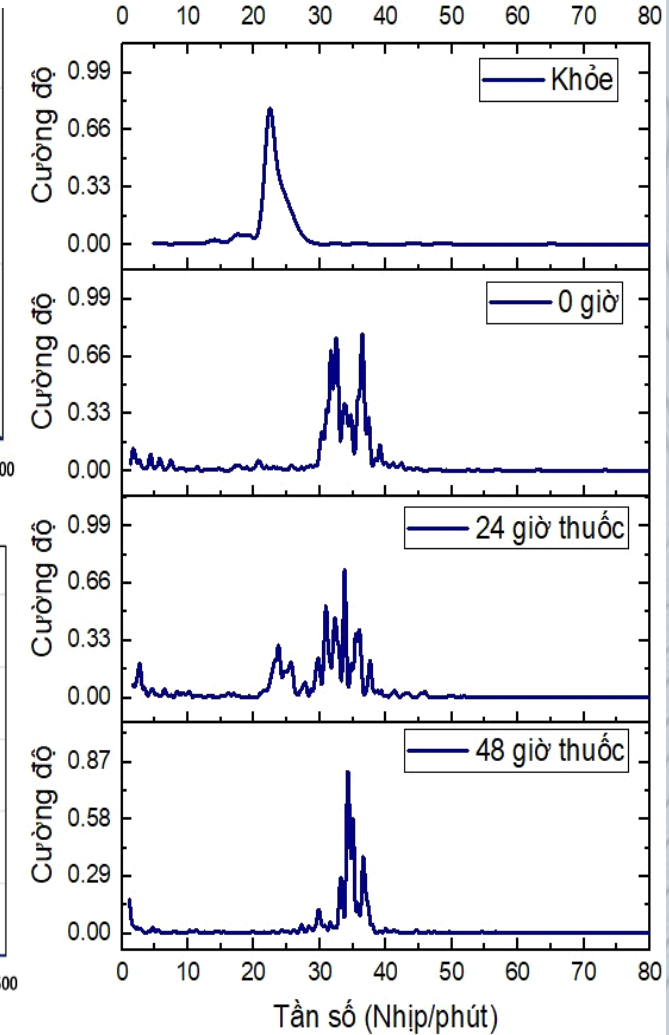
### Bệnh nhân Covid-19



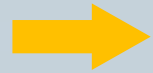
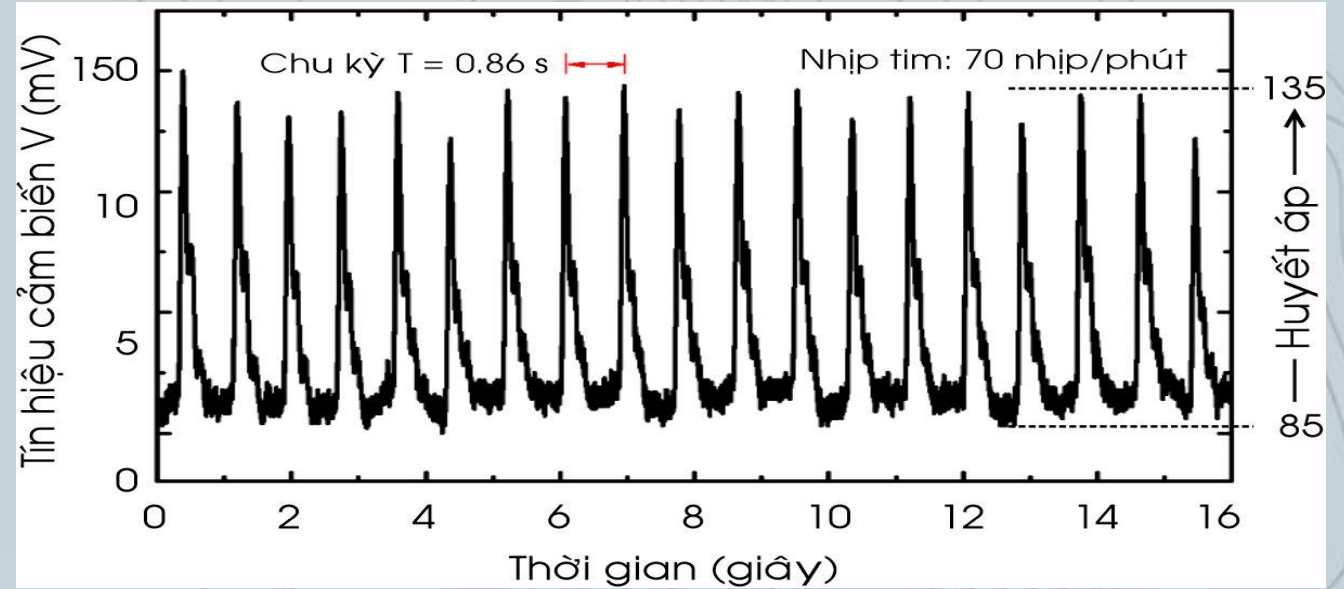
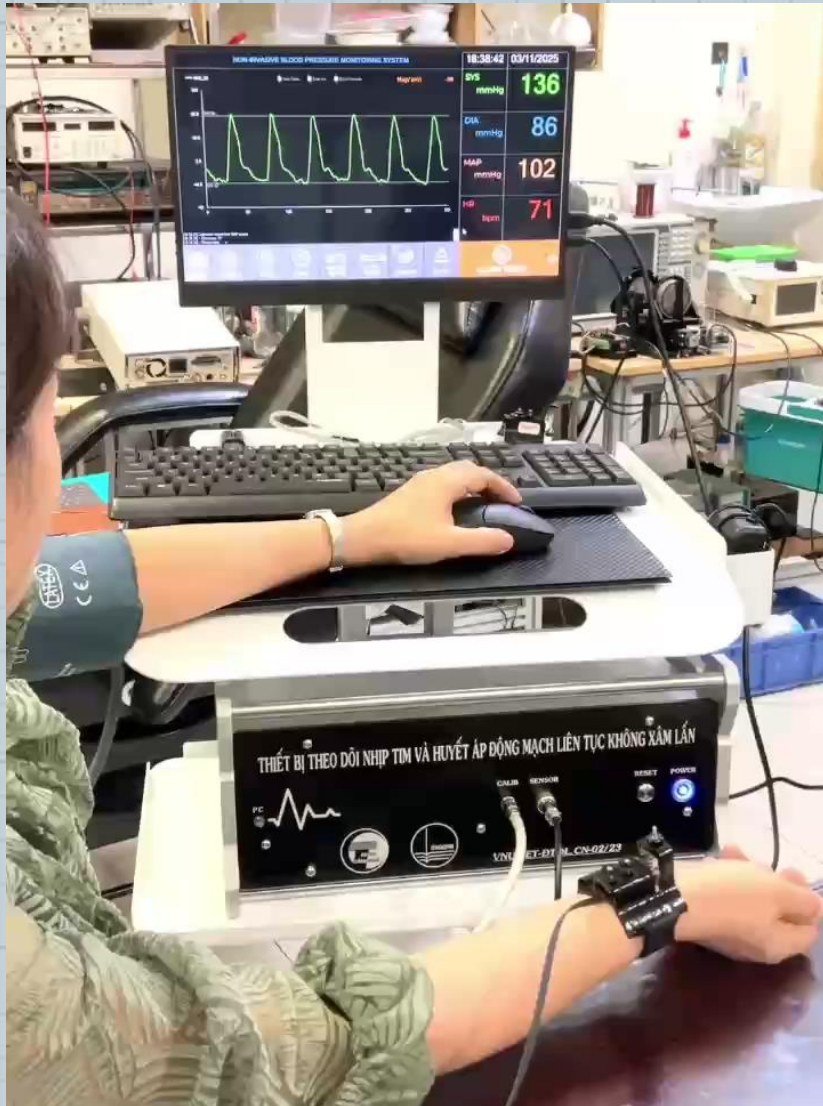
### Sau khi khỏi Covid 1 tuần



### Bệnh nhân Viêm phế quản



# Đo huyết áp và các tham số áp lực



# Một số sản phẩm nghiên cứu gần đây



Cảm biến cho nhiệm vụ quân sự



Cảm biến đo từ trường trái đất



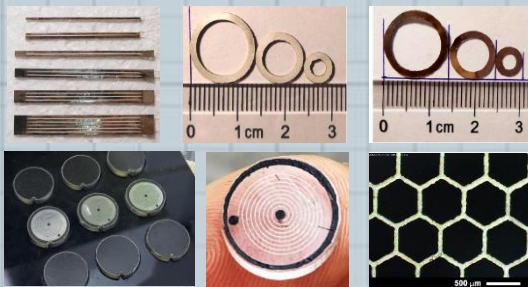
Mạch điện tử đo từ trường



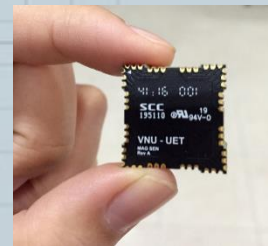
Hệ thống thiết bị đo từ trường trái đất



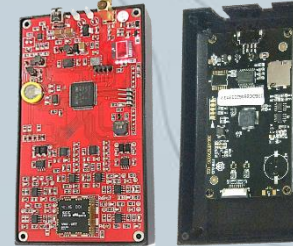
Tích hợp ứng dụng đo từ trường trong quân đội



Công nghệ tiểu hình hóa vật liệu xuống các cấu trúc micro-nano nhân tạo



Cảm biến la bàn hai trục



Mạch điện tử la bàn



Thiết bị La bàn điện tử



Thiết bị đo nhịp tim và huyết áp



Tích hợp trong hệ thống thu tín hiệu vệ tinh

1

Vật liệu từ, điện và các công nghệ chế tạo tiểu hình hóa

2

Linh kiện cảm biến nhạy từ trường

3

Thiết kế, lắp ráp mạch điện tử

4

Tích hợp, đóng gói thiết bị hoàn thiện

5

Hợp tác liên ngành, khai thác sử dụng



# THANK YOU FOR YOUR ATTENTION !



GS.TS. Nguyễn Hữu Đức

*Đại học Quốc Gia Hà Nội*



PGS.TS. Đỗ Thị Hương Giang

*Trường ĐH Công nghệ, ĐHQGHN*



TS. Nguyễn Văn Tuấn

*Học viện Kỹ thuật Quân sự*



PGS.TS. Lê Văn Lịch

*Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*



TS. Nguyễn Thị Ngọc

*Trường ĐH Khoa học Công nghệ HN*



TS. Phùng Anh Tuấn

*Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*



TS. Vũ Nguyên Thức

*Trường ĐH Công nghệ, ĐHQGHN*



TS. Trịnh Đình Cường

*Viện Khoa học Kỹ thuật Quân sự*



ThS. Nguyễn Bá Biên

*Công ty Cổ phần Bytech*



TS. Hồ Anh Tâm

*Trường ĐH Công nghệ, ĐHQGHN*



TS. Lê Khắc Quỳnh

*Đại học Sư phạm Hà Nội 2*



TS. Phan Hải

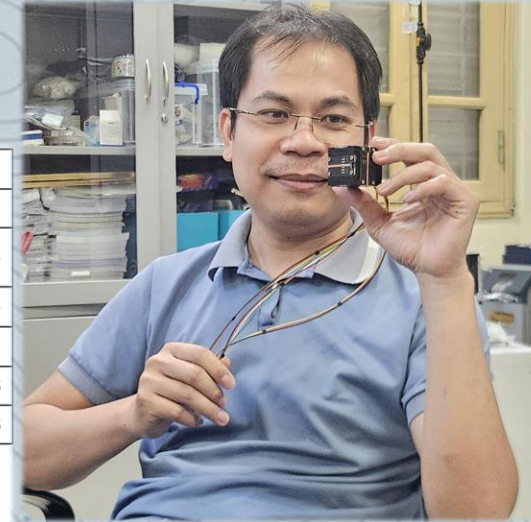
*Tạp chí Khoa học ĐHQGHN*

# Các công bố, đề tài liên quan

19 patents (từ 2016-nay), 7 được công bố, 12 chấp nhận đơn

STT	Tên độc quyền sáng chế	Mã đơn, quyết định, etc	Năm
1.	Cảm biến nhạy từ trường dựa trên hiệu ứng từ giao - áp điện và phương pháp chế tạo, và linh kiện cảm biến	Mã số đơn: 1-2016-02309 Cấp theo Quyết định số 97238/QĐ-SHTT, 04/11/2019.	2016
2.	Linh kiện cảm biến tổ hợp và phương pháp chế tạo, thiết bị la bàn điện tử có linh kiện cảm biến này	Mã số đơn: 1-2017-04711 Cấp theo Quyết định số 15395/QĐ-SHTT, 07/09/2022.	2017
3.	Quy trình chế tạo kênh dẫn vi lưu sử dụng Laze CO <sub>2</sub> kết hợp với cơ cấu quét chùm tia bằng đầu lác Galvo và đóng kín kênh bằng cách ép cơ học	Mã số đơn: 2-2019-00166	2019
4.	Phương pháp tự động dò tìm và bắt bám vệ tinh địa tĩnh ứng dụng cho các trạm thu đi động tín hiệu vệ tinh đặt trên các phương tiện di chuyển	Mã số đơn: 2-2019-00167.	2019
5.	Linh kiện cảm biến đo dòng điện và phương pháp chế tạo	Mã số đơn: 1-2019-03837. Cấp theo Quyết định số 46030/QĐ-SHTT, 26/06/2023.	2019
6.	Bộ phận dẫn và khuếch đại từ thông và hệ thống tích hợp	Mã số đơn: 1-2020-00197 Cấp theo Quyết định số 859/QĐ-SHTT, 23/05/2025.	2020
7.	Quy trình chế tạo mặt nạ kim loại sử dụng máy khắc laze fiber thương mại, ứng dụng trong kỹ thuật phun xạ để chế tạo các chi tiết có kích thước cỡ mili-mét.	Mã số đơn: 2-2020-00023 Cấp theo Quyết định số 1023w/QĐ-SHTT, 15/02/2023.	2020
8.	Linh kiện cảm biến đo từ trường trái đất và phương pháp chế tạo linh kiện này, thiết bị đo từ trường trái đất điện tử có linh kiện cảm biến này	Mã số đơn: 1-2020-02028 Cấp theo Quyết định số 32853/QĐ-SHTT, 22/5/2023.	2020
9.	Phương pháp tạo hình cấu trúc micro không cần phòng sạch.	Mã số đơn: 1-2021-01146	2021
10.	Hệ thống đo và theo dõi nhịp tim liên tục dựa trên cảm biến từ kháng trở cộng hưởng LC dạng dây sắt từ và quy trình đo nhịp tim theo phương pháp này.	Mã số đơn: 1-2021-06401	2021
11.	Hệ thống đo từ thông rò	Mã số đơn: 1-2021-04421 Cấp theo Quyết định số 243197/QĐ-SHTT, 23/10/2025.	2021
12.	Linh kiện cảm biến từ - điện đảo nhạy từ trường và phương pháp chế tạo	Mã số đơn: 1-2023-05947 Cấp theo Quyết định số 146375/QĐ-SHTT, 24/07/2025.	2023

13.	Hệ thống đo và theo dõi giám sát nhịp thở và xung nhịp thở liên tục	Mã số đơn: 1-2023-01480	2023
14.	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.	Mã số đơn: 1-2023-06831	2023
15.	Hệ thống vi từ kế 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	Mã số đơn: 1-2024-04738	2024
16.	Hệ thống tự động đo, phát hiện, phân loại và cảnh báo mức độ sai hỏng môi hàn thép ống	Mã số đơn: 1-2024-09440	2024
17.	Hệ thống tự động đo và theo dõi nhịp tim và huyết áp liên tục không xâm lấn	Mã số đơn: 1-2025-03853	2025
18.	Cảm biến đo từ trường Fluxgate hai trục sử dụng lõi từ chữ thập liên khối xếp rãnh xếp chồng đa lớp và cuộn dây tiết diện chữ nhật	Mã số đơn: 1-2026-02868	2026
19.	Hệ thống vi lưu tích hợp cảm biến từ trường Fluxgate có lõi từ dạng băng vi mô để xác định nồng độ huyết sắc tố không dùng nhân từ.	Mã số đơn: 1-2026-03250	2026



Khoảng >40 bài báo (từ 2016-nay), 25 Q1/Q2 Scopus, 15 bài trên tạp chí trong nước, hội nghị quốc tế, quốc gia

02 đề tài thuộc chương trình vũ trụ (pha 1, 2), 02 đề tài chương trình tuyển chọn cấp quốc gia (pha 1, 2), 01 đề tài VINIF, 02 đề tài nafosted (01 HD), 03 đề tài cấp bộ và 02 đề tài cấp cơ sở khác (HD).

03 NCS, 05 bảo vệ thành công luận án, luận văn...

# Xác định từ trường tán xạ

