

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HCM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA VẬT LÝ

VẬT LÝ MÀNG MỎNG

ĐỀ TÀI:

MÀNG TỪ

GVHD: PGS.TS LÊ VĂN HIẾU

NHÓM THỰC HIỆN

PHẠM THỊ XUÂN HẠNH

PHẠM THANH TÂM

LÊ NGUYỄN BẢO THƯ

ĐÀO VÂN THÚY

TP HCM 01-2010

LỜI MỞ ĐẦU	1
1 TỔNG QUAN VỀ MÀNG TỪ	2
1.1 Định nghĩa:	2
1.2 Đômen từ (magnetic domain)	4
2 CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO MÀNG TỪ	6
2.1 Phương pháp phun xạ:	6
2.1.1 Lý thuyết về phóng điện phun xạ	6
2.1.2 Chế tạo màng mỏng bằng phương pháp phun xạ	10
2.1.3 Cơ chế phun xạ	11
2.1.4 Hiệu suất phun xạ	13
2.1.5 Các yếu tố ảnh hưởng lên tốc độ lắng đọng màng.....	16
2.1.6 Các loại bia phun xạ	18
2.2 Bốc bay bằng laze xung	20
2.2.1 Nguyên lý hoạt động và quá trình vật lý	20
2.2.2 Chế tạo màng mỏng đúng hợp thức.....	22
2.3 Epitaxy chùm phân tử (MBE)	24
2.3.1 Mô tả thiết bị.....	24
2.3.2 Chế tạo màng mỏng tinh thể chất lượng cao.....	26
3 CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO TÍNH CHẤT CỦA MÀNG TỪ	29
3.1 Từ kế mẫu rung	29
3.1.1 Lịch sử.....	29
3.1.2 Sơ lược.....	29
3.1.3 Các phép đo đặc sử dụng từ kế mẫu rung	33
3.2 Kính hiển vi lực từ	34
3.2.1 Nguyên lý hoạt động	34
3.2.2 Ưu điểm và hạn chế	35
4 ỨNG DỤNG CỦA MÀNG TỪ	37
4.1 Ứng dụng trong cảm biến (sensors) và bộ dẫn động (actuators)	37
4.2 Ứng dụng trong đĩa từ (platter)	40
4.3 Ứng dụng trong đầu đọc /ghi	41
4.4 Xu hướng phát triển	42
4.4.1 Phát triển các màng mỏng từ ứng dụng trong PMR	42
4.4.2 Môi trường ghi vuông góc.....	42
5 KẾT LUẬN	46
TÀI LIỆU THAM KHẢO	47

LỜI MỞ ĐẦU

PHẠM THỊ XUÂN HẠNH

PHẠM THANH TÂM

LÊ NGUYỄN BẢO THƯ

ĐÀO VÂN THÚY

Màng mỏng là một lĩnh vực nghiên cứu rất rộng trong việc chế tạo các vật liệu mới, có khả năng ứng dụng cao trong thực tiễn. Một vật liệu với nhiều ứng dụng quan trọng trong thời đại ngày nay chính là màng từ.

Các linh kiện điện tử hiện nay, với khả năng xử lý thông tin nhanh và lượng lưu trữ thông tin lớn đều được chế tạo từ các vật liệu từ với cấu trúc vi mô (vài chục nanomet)

Một số ứng dụng khác của màng từ như làm đầu dò (sensor), làm bộ dẫn động

Trong phạm vi báo cáo này, xin trình bày một số vấn đề cơ bản của màng từ

Phần 1: Giới thiệu tổng quan về màng từ

Phần 2: Các phương pháp chế tạo màng từ

Phần 3: Các phương pháp đo tính chất của màng từ

Phần 4: Ứng dụng của màng từ

Mặc dù đã cố gắng, nhưng báo cáo chắc vẫn còn nhiều thiếu sót, mong Thầy và các bạn thêm phần góp ý

Để hoàn thành tốt báo cáo này, nhóm xin chân thành cảm ơn sự quan tâm chỉ bảo tận tình của Thầy Lê Văn Hiếu.

Các thành viên nhóm:

Phạm Thị Xuân Hạnh

Phạm Thanh Tâm

Lê Nguyễn Bảo Thư

Đào Vân Thúy

TP HCM 01-2010

1 TỔNG QUAN VỀ MÀNG TỪ

1.1 Định nghĩa:

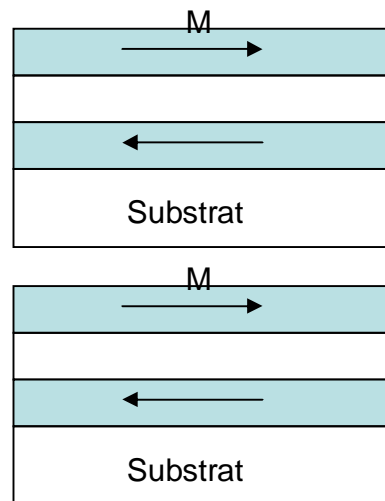
Màng từ được cấu tạo gồm một hay nhiều lớp kim loại, hợp kim hay oxit của các chất có tính chất từ.

Vật liệu sắt từ:

- + Fe, Ni, Co, và các hợp kim của chúng
- + Oxides: Ferrite, Ni-Zn Ferrite
- + ionic crystals: CrBr₃

Màng từ được tạo ra bằng cách:

- + Phương pháp phun xạ
- + Bốc bay bằng xung lazer
- + Phương pháp epitaxy chùm phân tử



Bảng 1-1 Tính chất của một số loại vật liệu sắt từ

Substance	Structure	M_s (290 K) (emu/cm ³)	M_s (0 K) (emu/cm ³)	$n_B^a = M_s/\mu_B N_v$ (μ_B)	$T_C(T_N)$ (K)
Fe	BCC	1707	1740	2.22	1043
Co	HCP, FCC	1440	1446	1.72	1388
Ni	FCC	485	510	0.606	627
Ni ₈₀ Fe ₂₀	FCC	800	930	1.0	—
Gd	HCP	—	2060	7.63	292
Dy	HCP	—	2920	10.2	88
MnBi	NiAs(hex)	620	680	3.52	630
Ni ₂ MnGa	Heusler	480	—	—	373
CrO ₂	—	515	—	2.03	386
MnOFe ₂ O ₃	Spinel	410	—	5.0	573
FeOFe ₂ O ₃	Spinel	480	—	4.1	858
CoOFe ₂ O ₃	Spinel	—	—	3.2	—
NiOFe ₂ O ₃	Spinel	270	—	2.4	858
CuOFe ₂ O ₃	Spinel	135	—	1.3	728

^aThe Quantity n_B is called the magneton number, the number of bohr magnetons per atom or per formula unit in a material

Bảng 1-2 Tính chất các loại màng từ

Soft Magnetic Materials	$4\pi M_s$ (kG)	H_c (Oe)	H_k (Oe)	Application
Permalloy	10	0.5	5	Computer memory, magnetoresistance detectors, recording heads
CoZr (amorphous)	14	< 0.5	2-5	—
Fe ₈₀ B ₂₀ (amorphous)	15	0.04	7	—
Fe ₇₂ Si ₂₈ (amorphous)	12	0.2	4	—
Fe ₇₂ Si ₁₈ C ₁₀ (amorphous)	16	0.2	7	—
Y ₃ Fe ₅ O ₁₂	1	~ 0	1000	Magnetic bubble memory devices
Hard Magnetic Materials				
Co-Re	6-9	700		Longitudinal magnetic recording media
Co-Pt	10-18	1100-1800		"
Co-Ni	10-15	1000-1300		"
Co-Ni-W	5.5	650		"
Fe ₃ O ₄	5	300		"
γFe ₂ O ₃ (Co)	3	700		"
γFe ₂ O ₃ (Os)	3	2100		"
Cr-Co*	4-7	500-2000		Perpendicular magnetic recording media
		H_c (perpendicular)		
TbFe		2000-10000		Magneto-optic recording media
GdCo	~ 10	1000-2000		"
GdTbFe		1000-3000		"

*Values for M_s and H_c depend strongly on composition and method of deposition. H_c (parallel) values are typically $0.5H_c$ (perpendicular).

Note: 1 Oe = 80 A/m; 1 G = 10^{-4} T; H_k (anisotropy field) = $2K_u/M_s$

1.2 Đômen từ (magnetic domain)

Khái niệm về đômen từ lần đầu tiên được đưa ra vào năm 1907 bởi Weiss

Đômen từ là những vùng trong chất sắt từ mà trong đó các mômen từ hoàn toàn song song với nhau

Vùng chuyển tiếp ngăn cách giữa 2 đômen từ liền kề nhau. Giữa hai đômen từ, mômen từ không thể đột ngột biến đổi về chiều vì sẽ dẫn đến trạng thái kém bền do đó hình thành nên vùng chuyển tiếp là các vách đômen (*Domain Walls*)

Năng lượng trao đổi

$$S_e = \frac{JS^2}{Na^2}$$

Năng lượng không đẳng hướng

$$S_e \approx KNa$$

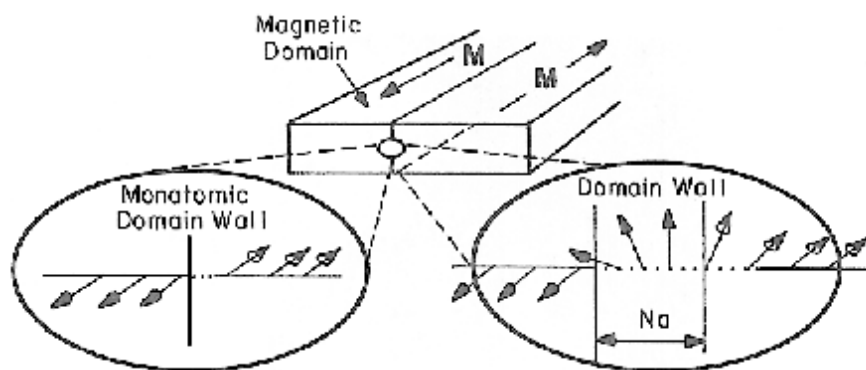
J: Tổng thay đổi dòng

S: spin

A: khoảng cách nguyên tử

N: Số spin

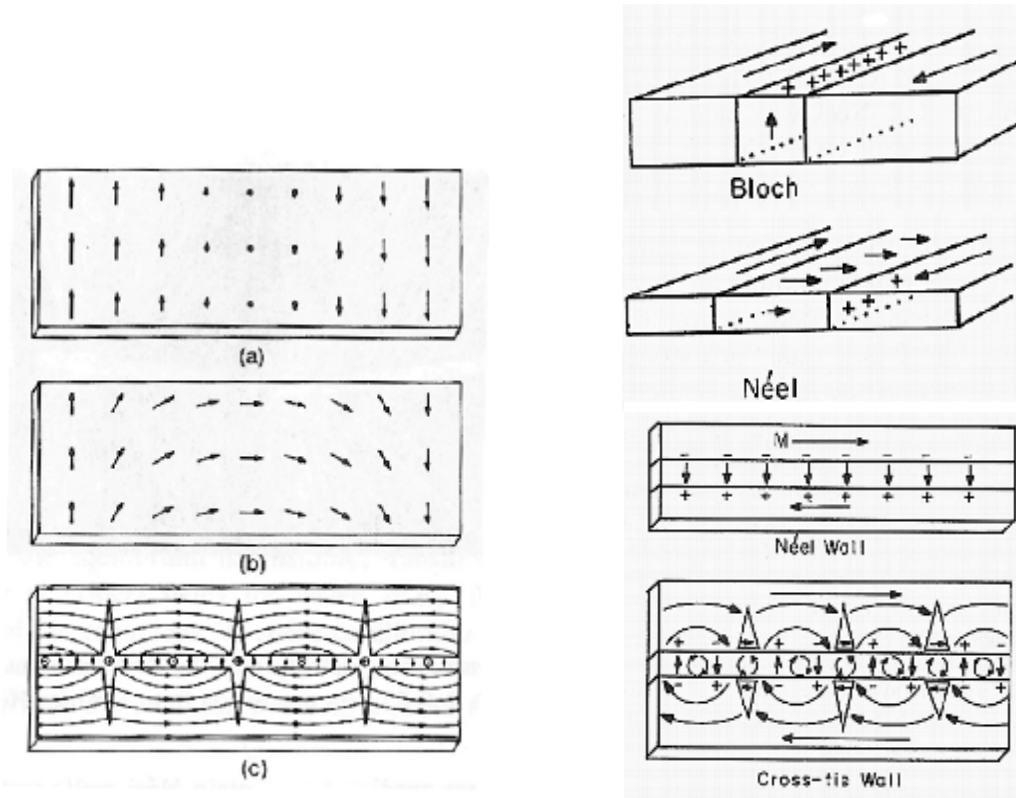
K: Hằng số không đẳng hướng



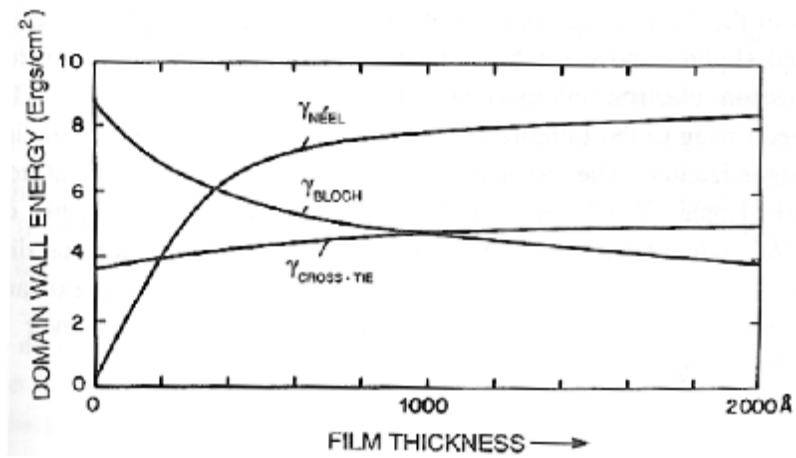
Hình 1.1 Cấu tạo vách từ

Các loại vách từ

- + Bloch
- + Néel
- + Cross-tie



Hình 1.2 Cấu tạo vách từ



Hình 1.3 Năng lượng của các vách từ theo độ dày màng

2 CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO MÀNG TỪ

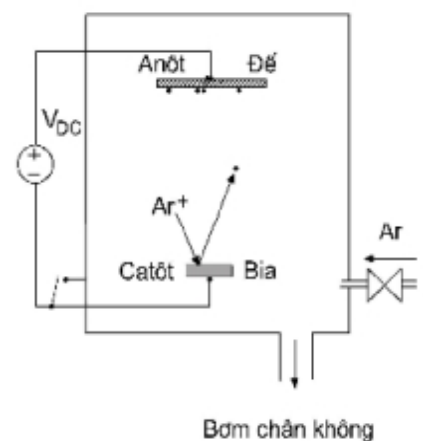
2.1 Phương pháp phún xạ:

“Phún xạ” trong tiếng Anh là “sputtering”. Phún xạ cũng thuộc phương pháp lắng đọng pha hơi vật lý bởi vì các nguyên tử, cụm nguyên tử hay phân tử được tạo ra bằng cách bắn phá ion – một phương pháp vật lý. Trong phún xạ điốt (phún xạ hai điện cực), nhờ sự phóng điện từ trạng thái plasma, các ion năng lượng cao (thí dụ như ion Ar^+) bắn phá lên bia (vật liệu cần phún xạ). Trong trường hợp này, bia là catốt, dưới tác dụng bắn phá của ion, các nguyên tử bị bật ra khỏi bia, lắng đọng lên bề mặt đế và hình thành lớp màng mỏng (đồng thời cũng là anốt). Khi cần tẩy sạch bề mặt thì mẫu được gắn lên catốt đóng vai trò bia, chùm ion năng lượng cao bắn phá lên bề mặt của mẫu làm cho các lớp nguyên tử của tạp chất và một phần nguyên tử ngoài cùng của mẫu bị tẩy, quá trình này gọi là ăn mòn phún xạ. Ngày nay, cả hai quá trình lắng đọng và ăn mòn phún xạ đều được ứng dụng rất rộng rãi trong khoa học kỹ thuật cũng như trong đời sống dân sinh. Chúng ta sẽ đề cập đến các vấn đề về nguyên lý phóng điện phún xạ và phương pháp chế tạo màng mỏng bằng kỹ thuật phún xạ cao áp một chiều, cao tần và magnetron.

2.1.1 Lý thuyết về phóng điện phún xạ

a Phún xạ cao áp một chiều

Trong phún xạ cao áp một chiều, người ta sử dụng hệ chỉnh lưu điện thế cao áp (đến vài kV) làm nguồn cấp điện áp một chiều đặt trên hai điện cực trong buồng chân không (hình 2.1). Bia phún xạ chính là catốt phóng điện, tùy thuộc vào thiết bị mà diện tích của bia nằm trong khoảng từ 10 đến vài trăm cm vuông. Anốt có thể là đế hoặc toàn bộ thành buồng chân không. Khoảng cách catốt-anốt ngắn hơn rất nhiều khoảng cách nguồn-đế trong bốc bay chân không và

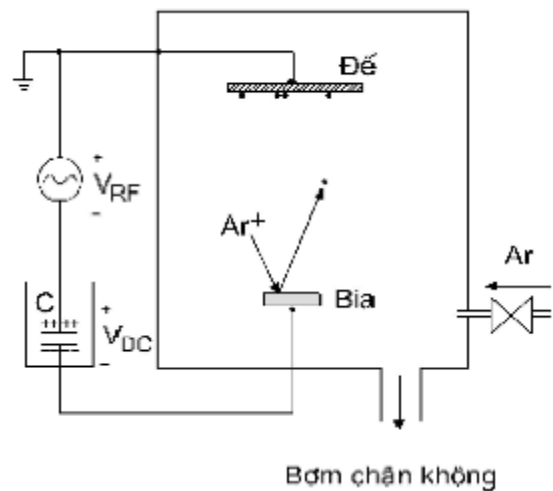


Hình 2.1 Sơ đồ hệ phóng điện cao áp một chiều (DC-

thường là dưới 10cm. Trong các khí trơ, argon được sử dụng để phún xạ nhiều hơn cả, áp suất của nó được duy trì trong chuồng cỡ 1 Torr. Plasma trong trường hợp này được hình thành và duy trì nhờ nguồn điện cao áp một chiều. Cơ chế hình thành plasma giống cơ chế phóng điện lạnh trong khí kém. Điện tử thứ cấp phát xạ từ catốt được gia tốc trong điện trường cao áp, chúng ion-hóa các nguyên tử khí, do đó tạo ra lớp plasma (đó là trạng thái trung hòa điện tích của vật chất mà trong đó phần lớn là các ion dương và điện tử). Các ion khí Ar^+ bị hút về catốt, bắn phá lên vật liệu làm bật các nguyên tử ra khỏi bề mặt catốt. Tuy nhiên, hiệu suất phún xạ trong trường hợp này là rất thấp. Ngày nay phương pháp phún xạ cao áp một chiều mà không sử dụng magnetron hầu như không được sử dụng trong công nghệ chế tạo màng.

b Phún xạ cao tần

Thực ra, trong tiếng Anh thuật ngữ này là Radio-Frequency sputtering, nghĩa là phún xạ tần số radio, một dải tần số cao, cho nên chúng ta quen dùng từ cao tần để nói về phương pháp “phún xạ tần số radio”. Điện áp đặt trên điện cực của hệ chân không là nguồn xoay chiều tần số từ 0,1 MHz trở lên, biên độ trong khoảng 0,5 đến 1 kV. Trên hình 2.2 là sơ đồ hệ thiết bị phún xạ cao tần có tụ điện làm việc theo cơ chế phóng điện trên đĩa song song. Phổ biến nhất ngày nay là nguồn cao tần có tần số 13,56 MHz. Mật độ dòng



Hình 2.2 Sơ đồ hệ phóng điện cao tần có tụ chặn làm tăng hiệu suất

ion tổng hợp tới bia trong khoảng 1 mA/cm², trong khi biên độ của dòng cao tần tổng hợp cao hơn rất nhiều (có khi lớn gấp một bậc hoặc hơn nữa). Máy phát cao tần được thiết kế chuyên dụng để nâng cao hiệu quả phún xạ: một tụ điện được ghép nối tiếp nhằm phún xạ được tất cả các loại bia (trong đó có cả bia kim loại). Mạch điện được thiết kế tự bù trừ một cách hợp lý để quá trình truyền năng lượng từ nguồn công suất cao tần sang plasma đạt hiệu suất cao. Kích thước của chuồng sử dụng trong phương pháp này hoàn toàn giống như trong

phún xạ cao áp một chiều (trong nhiều trường hợp, người ta thiết kế hệ phún xạ gồm cả hai chức năng phún xạ cao tần và cao áp một chiều để có thể thực hiện đồng phún xạ từ hai nguồn bia có thành phần cấu tạo khác nhau, trong tiếng Anh gọi là “cosputtering”). Phún xạ cao tần có nhiều ưu điểm hơn so với phún xạ cao áp một chiều, thí dụ điện áp thấp, phún xạ trong áp suất khí thấp hơn, tốc độ phún xạ lớn hơn và đặc biệt phún xạ được tất cả các loại vật liệu từ kim loại đến oxit hay chất cách điện. Plasma trong phún xạ cao tần được hình thành và duy trì nhờ nguồn cao tần, cũng giống như quá trình ion hóa xảy ra trong phún xạ cao áp. Tuy nhiên, ngày nay phún xạ cao tần riêng biệt cũng không còn được sử dụng bởi hiệu suất phún xạ vẫn còn chưa cao. Người ta sử dụng magnetron để khắc phục nhược điểm này.

c Magnetron

Magnetron là hệ thiết bị tạo ra phóng điện trong điện trường có sử dụng nam châm. Ngay từ những năm 70 magnetron đã được thiết kế sử dụng trong các hệ phún xạ cao áp và cao tần để tăng tốc độ phún xạ. Magnetron là sự phóng điện tăng cường nhờ từ trường của các nam châm vĩnh cửu (hoặc nam châm điện) đặt cố định dưới bia/catốt (hình 2.3). Như đã mô tả ở phần trên, với cấu hình của điện cực trong cả hai phương pháp phún xạ đều có điện trường vuông góc với bề mặt bia. Nhưng với magnetron chúng ta còn thấy từ trường của các nam châm tạo ra đường sức vuông góc với điện trường (có nghĩa là song song với mặt phẳng của bia). Vì thế, từ trường được tập trung và tăng cường plasma ở vùng gần bia. Magnetron áp dụng vào trong cả hai trường hợp phún xạ đều có tác dụng nâng cao hiệu suất bắn phá ion, và do đó, tốc độ phún xạ được cải thiện rất nhiều. Nói chung, sự phóng điện magnetron với việc kích thích bằng cao áp một chiều hay cao tần có hiệu suất cao hơn hẳn so với trường hợp phóng điện không dùng bẫy điện tử (nhờ từ trường của các nam châm). Bây giờ chúng ta xem bẫy điện tử làm việc như thế nào? Cấu hình như mô tả trên hình 2.3 (a, b) tạo ra hiệu ứng cuộn điện tử trong hướng Z . Chúng ta có một “hiệu ứng Hall”, chồng lên dòng cuộn này và có hướng chuyển động quanh bia như những “con quay” (hình 2.3c). Bán kính quỹ đạo (r) của con quay được xác định bằng công thức:

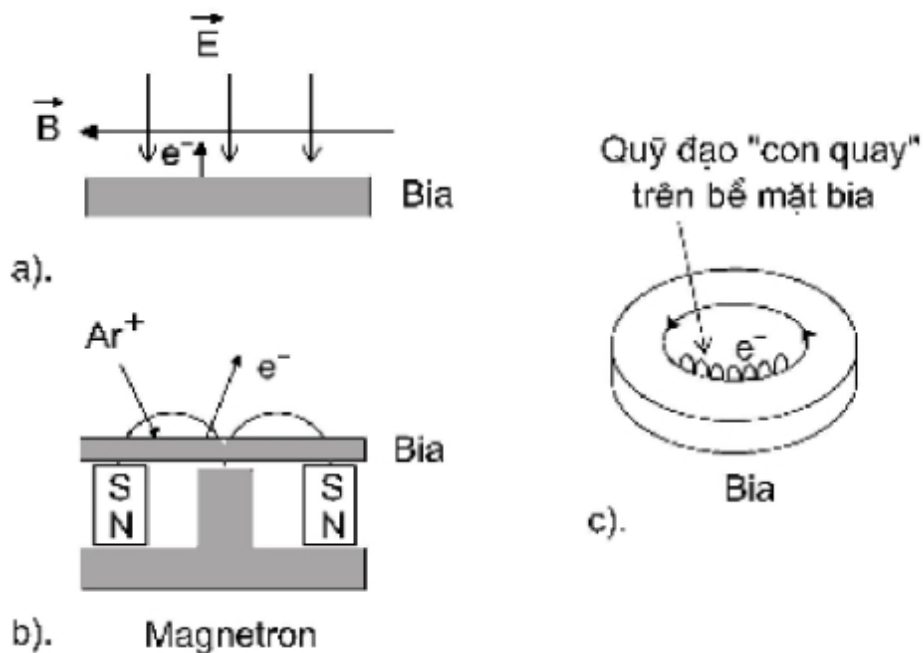
$$r = \frac{mu_{\perp}}{qB}$$

Trong đó:

m là khối lượng của điện tử,

u_{\perp} là thành phần vuông góc của tốc độ điện tử đối với đường sức,

B là cảm ứng từ.



Hình 2.3 Sơ đồ nguyên lý bẫy điện tử bằng từ trường trong hệ phun xạ magnetron.

Nhìn chung, trong các hệ phun xạ thực, bán kính quỹ đạo có giá trị nhỏ, chỉ khoảng một đến vài milimét. Vì vậy, sự giam hãm điện tử gần bề mặt bia là rất hiệu quả. Các điện tử chuyển động quanh đường sức cho đến khi chúng bị tán xạ bởi nguyên tử. Trên thực tế, magnetron còn tồn tại một khoảng thời gian ngắn sau khi lực không còn, vì các điện tử vẫn còn bị bẫy sau một số lượt chuyển động vòng quanh. Để hiểu tốt hơn vấn đề magnetron, chúng ta xem xét ví dụ dưới đây.

Ứng dụng. Một magnetron phẳng trong phun xạ cao áp có điện thế trên catốt là 600 V. Tính giá trị của mật độ từ trường cần thiết để bẫy điện tử thứ cấp trong 1 cm bề mặt catốt.

Chúng ta sẽ thấy (xem tiếp ở phần sau) điện thế hiệu dụng ($V_p - V_{cat}$), với V_p là điện thế của plasma, V_{cat} là điện thế catôt, chính là đại lượng sinh ra động năng lớn nhất mà ion có thể có khi va chạm với catôt, nó cũng tương ứng với động năng của điện tử thứ cấp trong điều kiện bỏ qua va chạm khi xuyên qua lớp vỏ (vùng không gian điện tích trên bề mặt catôt) để đi vào trong plasma. Tốc độ của điện tử tính được từ công thức:

$$\frac{m\mathbf{u}^2}{2} = q(V_p - V_{cat})$$

$$u_{\perp} = \left(\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 600}{9.1 \times 10^{-31}} \right)^{1/2} = 1.45 \times 10^7 \text{ m/s}$$

Trong hầu hết các trường hợp plasma (sử dụng phún xạ cao áp hoặc cao tần) thì bề dày của lớp vỏ đều nhỏ hơn 1 cm, cho nên có thể lấy giá trị trung bình của bán kính con quay là 0,5 cm (0,005 m). Vậy chúng ta có:

$$B = \frac{m\mathbf{u}_{\perp}}{qr} = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 1.45 \times 10^7}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.005} = 165 \text{ G}$$

2.1.2 Chế tạo màng mỏng bằng phương pháp phún xạ

Phún xạ là phương pháp sử dụng ion trong phóng điện cao áp một chiều hay cao tần để thực hiện việc “đánh bật” các nguyên tử từ vật rắn (bia) ra khỏi bề mặt của nó. Tiếp theo là quá trình lắng đọng các nguyên tử ấy trên bề mặt của vật rắn khác (tức là đế). Do vậy, chế tạo vật liệu bằng phương pháp phún xạ là quá trình chuyển các nguyên tử của vật rắn ở dạng khối của bia sang dạng màng mỏng trên đế. Nhìn chung, phún xạ là quá trình công nghệ xảy ra trong trạng thái plasma, thể hiện hết sức phức tạp. Để dễ hiểu chúng ta có thể chia quá trình phún xạ ra thành ba giai đoạn:

1. Gia tốc ion trong lớp vỏ plasma ở vùng catôt.
2. Ion bắn phá vào bia, các nguyên tử trong bia chuyển động va chạm nhau.
3. Các nguyên tử thoát ra khỏi bia và lắng đọng lên đế.

Trên hình 2.4 mô tả quá trình lắng đọng màng bằng phương pháp phún xạ với ba giai đoạn chính nêu trên. Dưới đây là các vấn đề liên quan đến thực nghiệm phún xạ áp dụng để chế tạo vật liệu màng mỏng.

Ưu điểm và nhược điểm của phương pháp phún xạ

Ưu điểm:

- Tất cả các loại vật liệu đều có thể phún xạ, nghĩa là từ nguyên tố, hợp kim hay hợp chất.
- Bia để phún xạ thường dùng được lâu, bởi vì lớp phún xạ rất mỏng.
- Có thể đặt bia theo nhiều hướng, trong nhiều trường hợp có thể dùng bia diện tích lớn, do đó bia là nguồn “bốc bay” rất lớn.
- Trong magnetron có thể chế tạo màng mỏng từ bia có cấu hình đa dạng, phụ thuộc vào cách lắp đặt nam châm, bia có thể thiết kế theo hình dạng của bề mặt đế (hình côn hoặc hình cầu).
- Quy trình phún xạ ổn định, dễ lặp lại và dễ tự động hóa.
- Độ bám dính của màng với đế rất tốt.

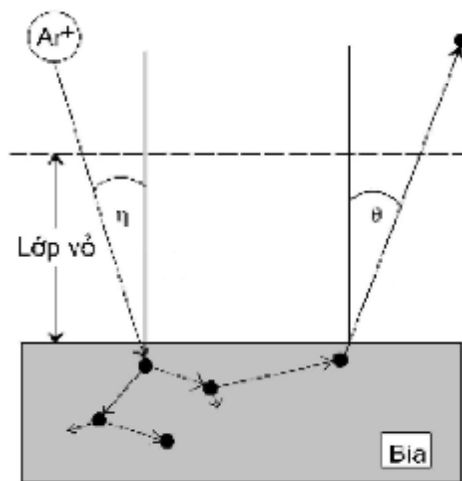
Nhược điểm:

- Phần lớn năng lượng phún xạ tập trung lên bia, làm nóng bia, cho nên phải có bộ làm lạnh bia.
- Tốc độ phún xạ nhỏ hơn nhiều so với tốc độ bốc bay chân không.
- Hiệu suất về năng lượng thấp, cho nên phún xạ không phải là phương pháp tiết kiệm năng lượng.
- Bia thường là rất khó chế tạo và đắt tiền.
- Hiệu suất sử dụng bia thấp (không sử dụng được hết, nhiều khi do bia giòn, cho nên dễ bị nứt dẫn đến hỏng sau số lần phún xạ chưa nhiều).
- Trong nhiều trường hợp, không cần đến nhiệt độ đế, nhưng nó luôn bị đốt nóng.
- Các tạp chất nhiễm từ thành chuồng, trong chuồng hay từ anốt có thể bị lẫn vào trong màng.

2.1.3 Cơ chế phún xạ

Chúng ta xem xét hình 2.4, mô hình này được gọi là phún xạ do va chạm. Nó có thể là phún xạ ngược hoặc xuôi chiều. Phún xạ ngược là khi các nguyên tử bật khỏi bia bay ra theo hướng ngược với hướng tới của ion bắn phá. Trường hợp này thường gặp trong thực tế.

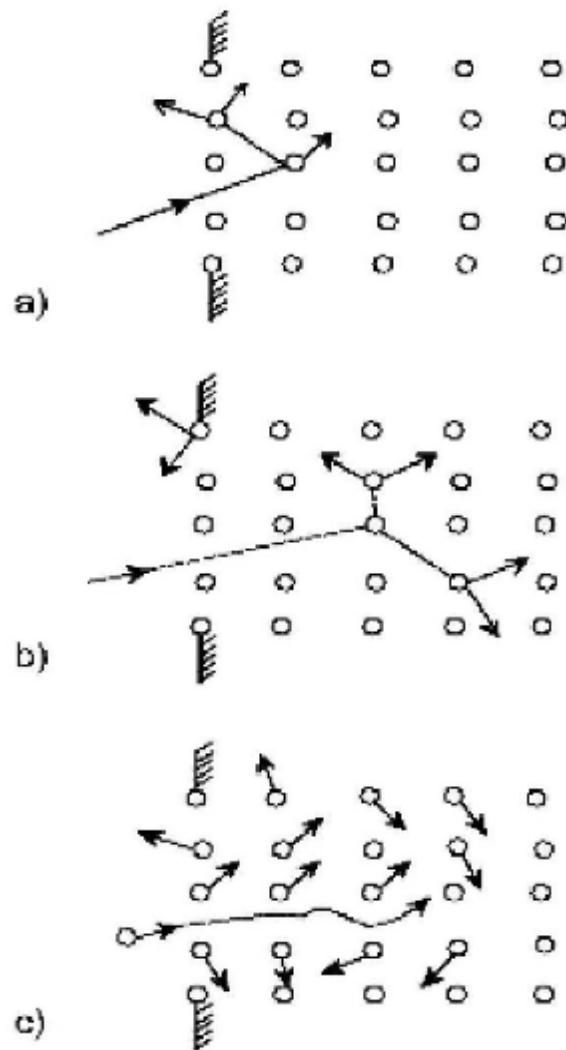
Còn phún xạ xuôi chiều xảy ra khi nguyên tử bay ra theo hướng bắn của ion, trường hợp này chỉ gặp khi bia là các lá kim loại rất mỏng. Sigmund mô tả cơ chế phún xạ va chạm như sau: Khi các ion có động năng đủ lớn bắn lên bề mặt của bia (catôt), trong các lớp nguyên tử sẽ xảy ra quá trình va chạm của các nguyên tử dưới sự “bắn phá” của các ion ấy. Chúng tiếp tục va chạm hỗn loạn đến khi có năng lượng bằng hoặc lớn hơn năng lượng liên kết mạng tinh thể thì thoát ra khỏi bề mặt của bia. Cơ chế trên có thể coi là một định nghĩa tổng quát cho quá trình phún xạ đối với tất cả các vật rắn tại năng lượng ion thích hợp. Tuy nhiên, đặc trưng của quá trình va chạm xảy ra trong vật rắn phụ thuộc vào độ lớn của năng lượng ion. Có thể chia năng lượng ion ra ba mức: thấp, trung bình và cao.



Hình 2.4 Hiện tượng bắn phá bia trong phóng điện phún xạ: Ion được gia tốc trong lớp vỏ catôt, va chạm với nguyên tử trong bia và làm bật nguyên tử khỏi bia. Trong đó θ là góc bắn phá (góc tới), η - góc phát xạ của nguyên tử.

Trên hình hình 2.5 là sơ đồ mô tả quá trình phún xạ theo ba cơ chế tương ứng với ba mức năng lượng của ion. *Năng lượng thấp*: Mức năng lượng này xấp xỉ hoặc lớn hơn năng lượng ngưỡng phún xạ của một chất. Cơ chế phún xạ trong trường hợp này được gọi là cơ chế “bóc một nguyên tử”. Hiệu suất bắn phá (xem định nghĩa ở phần sau) tỷ lệ thuận với mật độ năng lượng của nguyên tử trên bề mặt. Sự va chạm trong cơ chế này thường là chỉ ở trong lớp nguyên tử trên cùng, do đó tạo ra chuyển động một cách hài hòa của từng nguyên tử và thoát ra khỏi bia với tốc độ trung bình (hình 2.5a). *Năng lượng trung bình*: Năng lượng ion bắn phá đã lớn hơn năng lượng liên kết của các nguyên tử, cho nên các nguyên tử ở cùng

một lớp đã có thể dao động mạnh và thoát ra ngoài bia. Va chạm của các nguyên tử bên trong bia vẫn chưa xảy ra một nhiều. Đó là cơ chế “bóc lớp nguyên tử” (hình 2.5b). *Năng lượng cao*: Khái niệm năng lượng cao mang tính tương đối và thường có nghĩa khi phún xạ loại vật liệu có liên kết yếu. Trong trường hợp này, hiệu suất bắn phá có thể cao hơn 1, thậm chí bằng hoặc lớn hơn 10. Đó là cơ chế “bóc cụm” hay là phún xạ nhiệt, bởi vì tốc độ phún xạ đạt giá trị cao như tốc độ bốc bay nhiệt (hình 2.5c). Sự phân chia các cơ chế phún xạ này cũng chỉ mang tính tương đối, bởi vì chúng ta không kiểm soát được một cách chính xác các đại lượng liên quan trong quá trình phóng điện. Tuy nhiên, đối với từng loại vật liệu khác nhau, có thể lựa chọn năng lượng ion thích hợp để có được quá trình phún xạ như mong muốn.



Hình 2.5 Sơ đồ mô tả các cơ chế phún xạ.

2.1.4 Hiệu suất phún xạ

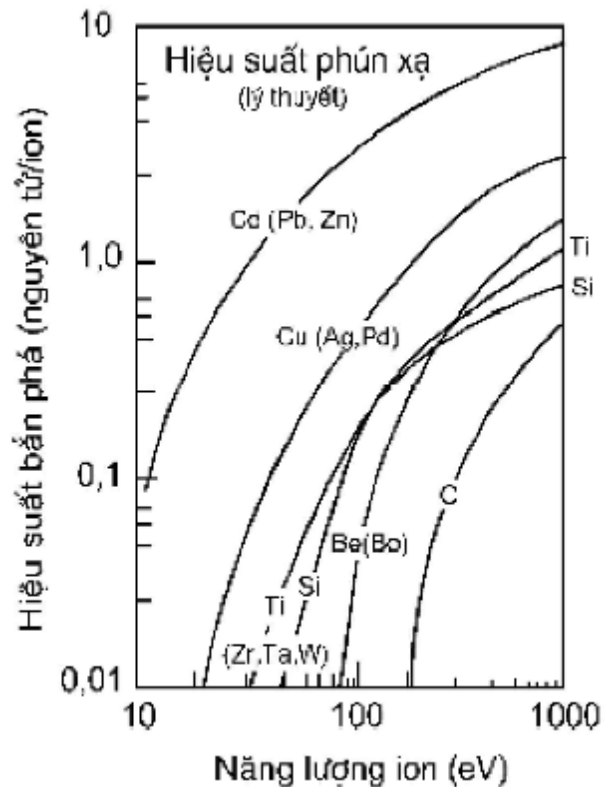
Trong phương pháp chế tạo màng mỏng bằng phún xạ, có hai đại lượng đặc trưng cơ bản là hiệu suất bắn phá ion và xác suất lắng đọng. Về cơ bản, cả hai đại lượng này có những đặc trưng riêng cho phương pháp phún xạ, tuy nhiên, chúng còn phụ thuộc nhiều vào cấu hình của từng thiết bị phún xạ. Dưới đây chúng ta xem xét một số kết quả thực nghiệm tiêu biểu, mà các tác giả đã công bố khi họ tiến hành khảo sát trên hệ thiết bị của mình.

a Hiệu suất bắn phá ion

Hiệu suất bắn phá được định nghĩa là tỷ số của số nguyên tử được thoát ra khỏi bia trên một ion bắn phá lên bia đó. Nó phụ thuộc vào liên kết hóa học và năng lượng được truyền đi nhờ va chạm trong bia. Hiệu suất bắn phá của các vật liệu khác nhau và được bắn phá bởi các ion có khối lượng và năng lượng khác nhau đã được xác định bằng thực nghiệm và tính toán từ các nguyên lý sử dụng kỹ thuật Monte Carlo. Trên bảng 2-1 cho thấy hiệu suất bắn phá của một số ion khí trơ có cùng năng lượng (500 eV) đối với các bia kim loại. Còn trên hình 2.6 là đồ thị về sự phụ thuộc vào năng lượng ion của hiệu suất bắn phá đối với một số nguyên tố. Có thể nhận thấy rằng, mặc dù năng lượng bắn phá của các ion cao đến vài trăm eV, nhưng hiệu suất bắn phá cũng vẫn nhỏ. Điều này cho thấy để đánh bật một nguyên tử ra khỏi bia đòi hỏi năng lượng tương đối lớn. Do đó, về năng lượng mà nói, thì phún xạ là phương pháp kém hiệu quả hơn nhiều so với bốc bay chân không, hơn nữa tốc độ bốc bay bằng phún xạ cũng thấp hơn tốc độ bốc bay nhiệt.

Năng lượng ngưỡng phún xạ là năng lượng thấp nhất của ion bắn phá mà có thể gây ra phún xạ. Nhìn chung, đối với trường hợp phún xạ bia kim loại thì năng lượng ngưỡng không thấp hơn 25 eV. Đó là năng lượng cần thiết để nguyên tử dao động mạnh đến mức có thể thoát ra khỏi mạng tinh thể của chất rắn.

Hiệu suất bắn phá còn phụ thuộc vào góc bắn phá của ion trên bề mặt bia. Khi góc bắn phá bằng 90° (chùm tia ion vuông góc với bề mặt bia) hiệu suất bắn phá đạt giá trị cao nhất.



Hình 2.6 Hiệu suất bắn phá ion đối với một số bia đơn chất phụ thuộc vào năng lượng của ion trong phún xạ magnetron.

Trong phún xạ nghiêng (đối với ion argon) thì tia tới có góc 70° cho hiệu suất bắn phá đạt giá trị tối ưu.

	Be (9)	Al (27)	Si (28)	Cu (64)	Ag (106)	W (184)	Au (197)
He ⁺ (4 đvnt)	0.24	0.16	0.13	0.24	0.2	0.01	0.07
Ne ⁺ (20 đvnt)	0.42	0.73	0.48	1.8	1.7	0.28	1.08
Ar ⁺ (40 đvnt)	0.51	1.05	0.50	2.35	2.4-	0.57	2.4
Kr ⁺ (84 đvnt)	0.48	0.96	0.50	2.35	3.1	0.9	3.06
Xe ⁺ (131 đvnt)	0.35	0.82	0.42	2.05	3.3	1.0	3.01

Bảng 2-1 Hiệu suất bắn phá magnetron cao áp một chiều bằng ion năng lượng 500 eV đối với bia kim loại

b Xác suất lắng đọng

Xác suất lắng đọng được định nghĩa là tỷ số các nguyên tử mà thực tế đã lắng đọng lên bề mặt trên số nguyên tử thoát (phát xạ) ra khỏi bia. Một cách gần đúng, có thể coi số nguyên tử phát xạ bằng tích của ba đại lượng là dòng phóng điện, hiệu suất bắn phá và thời gian lắng đọng.

Xác suất lắng đọng nhận được trên hệ phún xạ magnetron phẳng với bia có bán kính gần 20 cm được liệt kê trên bảng 2-2. Xác suất lắng đọng của mỗi hệ cũng khác nhau bởi vì chúng có cấu hình khác nhau (về kích thước bia, độ che chắn nguồn phún xạ, kích thước chuồng chân không,...). Từ bảng này có thể nhận thấy rằng, xác suất lắng đọng cao nhất khi áp suất thấp, khoảng cách từ bia đến đế nhỏ, nguyên tử khí sử dụng nhẹ hơn nguyên tử cần phún xạ. Thí dụ, mặc dù hiệu suất bắn phá của ion nặng như K⁺ có cao hơn các ion khác, nhưng xác suất lắng đọng lại giảm đáng kể. Điều này cho thấy, phún xạ tối ưu cần được xem xét cho từng trường hợp cụ thể.

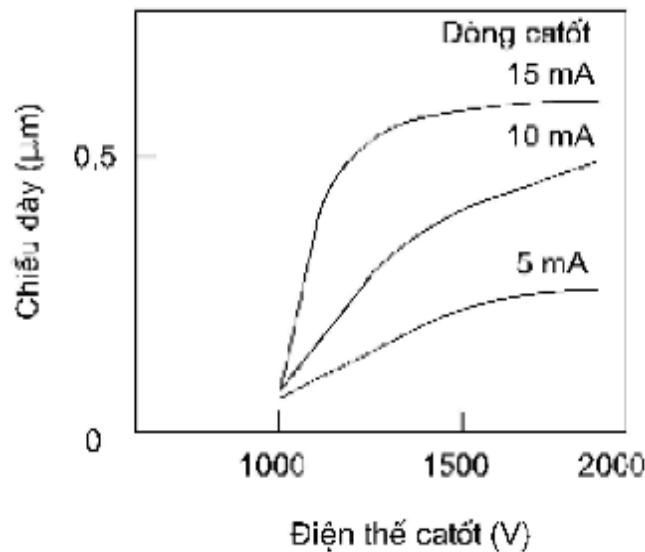
Khoảng cách bia-đế (cm)	Áp suất (mTorr)	Xác suất lắng đọng
Ar, phún xạ bia Cu		
5 cm	5, 20, 30	0.63, 0.49, 0.54
9.5 cm	5, 20, 30	0.48, 0.47, 0.45
14.5 cm	5, 20, 30	0.39, 0.35, 0.31
Ne, phún xạ bia Al		
5 cm	5, 20, 30	0.80, 0.56, 0.52
9.5 cm	5, 20, 30	0.40, 0.42, 0.40
Ar, phún xạ bia Al		
5 cm	5, 20, 30	0.60, 0.46, 0.42
9.5 cm	5, 20, 30	0.44, 0.45, 0.35
Kr, phún xạ bia Al		
5 cm	5, 20, 30	0.52, 0.45, 0.38
9.5 cm	5, 20, 30	0.35, 0.27, 0.22

Bảng 2-2 Hiệu suất bắn phá magnetron cao áp một chiều bằng ion năng lượng 500 eV đối với bia kim loại

2.1.5 Các yếu tố ảnh hưởng lên tốc độ lắng đọng màng

a Dòng và thế

Trong hầu hết các trường hợp phún xạ thì việc tăng công suất phún xạ cũng không ảnh hưởng nhiều đến tốc độ lắng đọng. Mặt khác như chúng ta đã thấy số ion bắn lên catôt tỷ lệ thuận với mật độ dòng. Cho nên, yếu tố ảnh hưởng lớn lên tốc độ lắng đọng chính là dòng, hơn là điện thế đặt trên catôt. Trên hình 2.7 là số liệu thực nghiệm nhận được về sự phụ thuộc chiều dày màng mỏng vào điện thế catôt với thời gian phún xạ là 1 giờ, bia sử dụng là tantan đường kính 76 mm. Chúng ta thấy sau giá trị 1500 V, điện thế có tiếp tục tăng hơn nữa thì tốc độ lắng đọng cũng chỉ tăng không đáng kể (chiều dày của màng nhận được không tăng). Như vậy trong trường hợp công suất của thiết bị hạn chế thì chúng ta nên tăng dòng phún xạ và giảm điện thế trên catôt. Việc tăng dòng phún xạ có thể thực hiện được bằng cách giảm áp suất, tăng phát xạ điện tử, dùng từ trường (magnetron), hay tăng diện tích bia, giảm kích thước bia-đế, ...



Hình 2.7 Tốc độ lắng đọng phụ thuộc vào dòng nhiều hơn là vào điện thế trên bia trong phún xạ magnetron.

b Áp suất

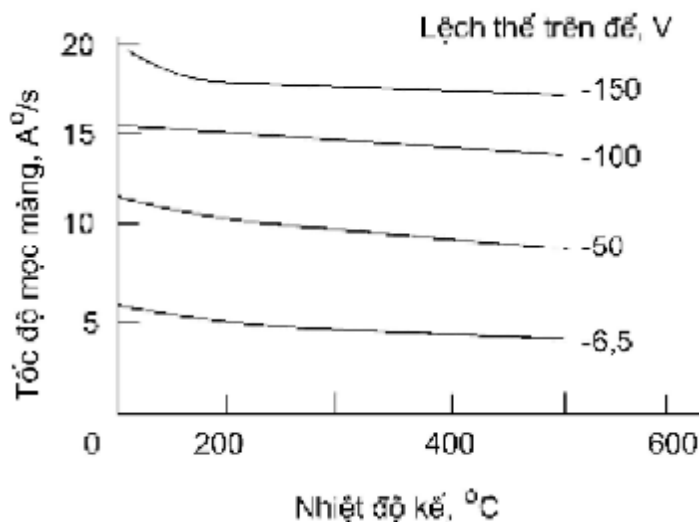
Chúng ta cũng đã biết, trong kỹ thuật phóng điện phún xạ thì khi tăng áp suất, mật độ ion tức là mật độ dòng sẽ tăng lên. Khi công suất phún xạ được giữ không đổi thì tốc độ lắng đọng cũng tăng theo mật độ dòng, có nghĩa là tăng theo áp suất phún xạ.

Trong khoảng áp suất không lớn lắm, tốc độ lắng đọng tăng tuyến tính theo áp suất. Điều này cũng chứng tỏ số lượng ion / nguyên tử được thoát ra khỏi bia mà có thể quay trở lại catốt do hiệu ứng khuếch tán ngược cũng được giảm. Tuy nhiên, hiệu ứng khuếch tán ngược chỉ quan sát thấy khi áp suất vượt một giá trị ngưỡng nhất định. Thực nghiệm cho thấy, dòng catốt và tốc độ lắng đọng màng không còn tăng theo áp suất khi chân không giảm xuống, áp suất vượt giá trị $1,3 \times 10^{-1}$ Torr. Tốc độ lắng đọng tối ưu trong trường hợp phún xạ bằng khí argon nhận được khi áp suất phún xạ bằng $2,5 : 6 \times 10^{-2}$ Torr.

c Nhiệt độ đế

Khác với áp suất, nhiệt độ đế là yếu tố phức tạp, trong một số trường hợp, tốc độ lắng đọng phụ thuộc rất mạnh vào nhiệt độ đế. Thí dụ, khi hợp phún xạ SiO_2 , AsGa, Ge tại nhiệt độ đế thấp, tốc độ lắng đọng nhỏ. Còn đa số các trường hợp khác thì tốc độ lắng đọng tăng

đáng kể khi nhiệt độ để giảm từ cao xuống thấp. Trên hình 2.8 là đồ thị phụ thuộc vào nhiệt độ để của tốc độ lắng đọng đối với một số giá trị phân áp trên để.



Hình 2.8 Vai trò của nhiệt độ để đối với tốc độ lắng đọng thể hiện không rõ rệt trong phún xạ.

2.1.6 Các loại bia phún xạ

a Bia kim loại

Có thể nói trong các loại vật liệu để phún xạ thì vật liệu kim loại đơn chất là dễ gia công bia hơn cả. Thí dụ, bia vàng, đồng, tantan, platin, v.v... có thể chế tạo bằng cách đồ khuôn đúng kích thước của catôt. Do kim loại dẫn điện và dẫn nhiệt rất tốt cho nên dùng magnetron cao áp một chiều để phún xạ các loại bia kim loại này sẽ cho hiệu suất phún xạ cao. Thí dụ, trong phương pháp hiển vi điện tử (SEM và TEM) người ta thường phủ lớp vàng hay platin rất mỏng lên bề mặt mẫu cách điện (để dẫn điện tử xuống catôt). Lớp vàng này được lắng đọng trong buồng phún xạ mà chân không được hút bằng hệ bơm của thiết bị kính hiển vi. Các bia vàng hay platin sử dụng được rất lâu, bởi vì mỗi lần phún xạ chúng chỉ bị tẩy đi một lớp dày vài chục nanômét. Màng mỏng kim loại vàng còn được phủ lên để thủy tinh để làm gương bán phún xạ sử dụng trong các thiết bị quang học và laze. Màng platin hay paladi phân tán bằng phún xạ tạo ra lớp hoạt hóa trên bề mặt các vật liệu silic xốp hay

SnO_2 cấu trúc nanô tinh thể. Nhờ đó mà độ nhạy của các sensor khí chế tạo từ vật liệu kể trên tăng lên đáng kể.

***b* Bia hợp kim**

Các vật liệu hợp kim như CoCrTa, CoNiCrTa, CoCrPt, CoFeTb và CoCrNiPt (ở đây không đưa các chỉ số thành phần vào trong công thức) cũng được phún xạ. Do màng mỏng của các hợp kim đòi hỏi khắt khe về thành phần, hơn nữa, chúng có từ tính làm ảnh hưởng đến hiệu suất magnetron, cho nên việc gia công bề mặt bia cần phải đáp ứng: (i) độ đồng nhất cao về thành phần, (ii) độ hợp thức trong cấu tạo của bia cần được tính đến khả năng hóa hơi khác nhau của các thành phần sao cho khi phún xạ có thể nhận được màng đúng hợp thức mong muốn.

***c* Bia hợp chất chứa ôxy**

Các loại màng có cấu trúc nhiều thành phần như màng sắt từ BaTiO_3 , LiNbO_3 , SrTiO_3 hay màng siêu dẫn nhiệt độ cao $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ cũng được chế tạo bằng phún xạ magnetron. Việc gia công bia cho các vật liệu trên quyết định sự thành công của công nghệ. Có thể chế tạo bia gồm đủ các thành phần cấu tạo kể trên, nhưng hàm lượng của từng nguyên tố thì cần điều chỉnh sao cho hợp thức trong màng phù hợp với cấu trúc của từng chất. Cách thứ hai là chế tạo hai hoặc ba bia là các oxit, sử dụng phương pháp đồng phún xạ từ hai hoặc ba bia đó để nhận màng có hợp thức và cấu trúc mong muốn.

Cuối cùng, có thể nhận thấy rằng, phương pháp phún xạ magnetron còn được ứng dụng để chế tạo nhiều chủng loại vật liệu khác mà phương pháp bốc bay không thực hiện được. Các vật liệu màng mỏng oxit hay nitrua được chế tạo dễ dàng bằng cách phún xạ kim loại tương ứng trong khí argon trộn ôxy hoặc nitơ - gọi là phún xạ phản ứng. Thiết bị phún xạ hiện đại được tự động hóa cao, cho nên quá trình lắng đọng màng mỏng có thể không chế chính xác hơn. Hầu hết các thiết bị đều có từ hai đến ba nguồn phún xạ (hai đến ba bia), nhờ đó có thể thực hiện phún xạ đồng thời nhiều loại vật liệu khác nhau, tạo ra các màng mỏng hợp chất, vật liệu pha tạp, vật liệu cấu trúc nanô phức tạp khác, ... Ở Việt Nam hiện nay

cũng đã có nhiều cơ sở nghiên cứu và đào tạo được trang bị các thiết bị phun xạ hiện đại có đủ các chức năng kể trên.

2.2 Bốc bay bằng laze xung

2.2.1 Nguyên lý hoạt động và quá trình vật lý

Bốc bay bằng laze xung (gọi tắt là bốc bay laze) là một phương pháp bốc bay gián đoạn. Khi có chùm tia laze công suất lớn bắn lên bia (vật liệu cần bốc bay) thì pha hơi của vật liệu được hình thành bốc bay một vùng mỏng của bề mặt bia. Vùng hóa hơi của bia chỉ sâu khoảng vài trăm đến 1000 Å. Khi ấy trên bề mặt hình thành một đám sáng hình khối ellip của pha hơi. Tốc độ đặc trưng của các phần tử bốc bay (bao gồm cả ion và phân tử trung hòa điện tích) đạt giá trị vào khoảng 3×10^5 cm/s, tương ứng với động năng 3 eV. Tốc độ này phụ thuộc vào khối lượng của phân tử hóa hơi. Tốc độ lắng đọng màng đạt giá trị vào khoảng 8 nm/s.

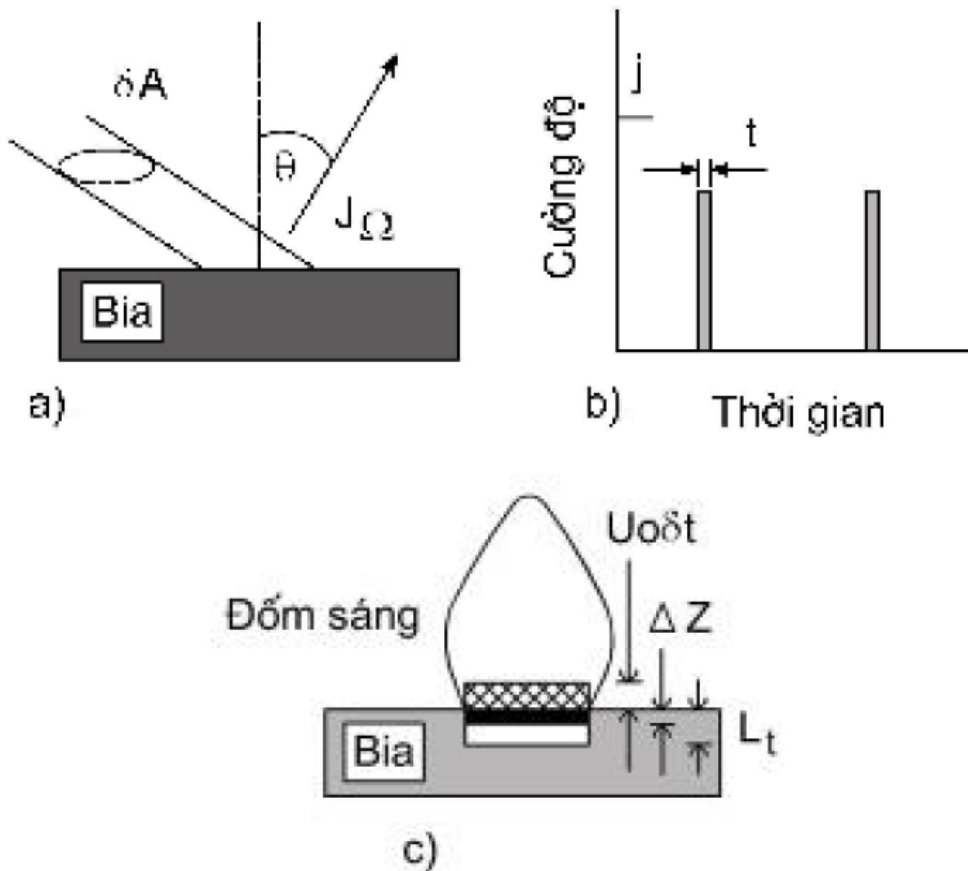
Trên hình 4.1a và 4.1b, minh họa nguyên lý của phương pháp bốc bay laze. Hình ảnh đám sáng được nêu trên hình 6.8c. Một trong các laze được sử dụng để bốc bay phổ biến nhất hiện nay là laze excimer KrF, hoạt động tại bước sóng 248 nm. Dưới đây là các thông số chính của laze này:

- Độ dài xung: 25 ns ($d t$).
- Mật độ công suất: $j \cong 2,4 \times 10^8$ W/cm².
- Vùng diện tích chiếu rọi lên bia ($d A$) \square 0,1 cm².
- Tần số lặp lại (f): 50 Hz.

Như vậy, mật độ năng lượng của laze ($j \cdot d t$) vào khoảng 6J/cm². Năng lượng trên một xung là 0,6 J. Công suất liên tục đạt giá trị $2,4 \times 10^7$ W và công suất trung bình là 30 W.

Có thể mô tả bức tranh vật lý của quá trình bốc bay laze như sau. Khi bắn một xung laze lên bề mặt bia (vật liệu cần bốc bay), một phần năng lượng của nó bị phản xạ ngược lại, một phần được bia hấp thụ. Trong khoảng thời gian của độ dài xung, nhiệt được truyền từ bề mặt vào sâu trong bia, độ sâu được quyết định bởi chiều dài khuếch tán nhiệt L_t . Ngoài trừ các bia hấp

thụ yếu, chiều dài hấp thụ ánh sáng tia laze là một đại lượng đặc trưng, thường nhỏ hơn độ dài khuếch tán. Vì vậy, thể tích được cấp nhiệt trên bề mặt bia, khi mà năng lượng của tia laze bắn vào bia có hiệu suất cao nhất, có hình dạng của một hình khối ellip. Diện tích thiết diện của nó bằng diện tích hình chiếu (dA) của chùm tia laze và bề dày của nó là L_t (hình 4.1). Bên trong thể tích đó, nhiệt độ cao hơn nhiệt độ nóng chảy của chất bốc bay, cho nên vùng này bị hóa lỏng.

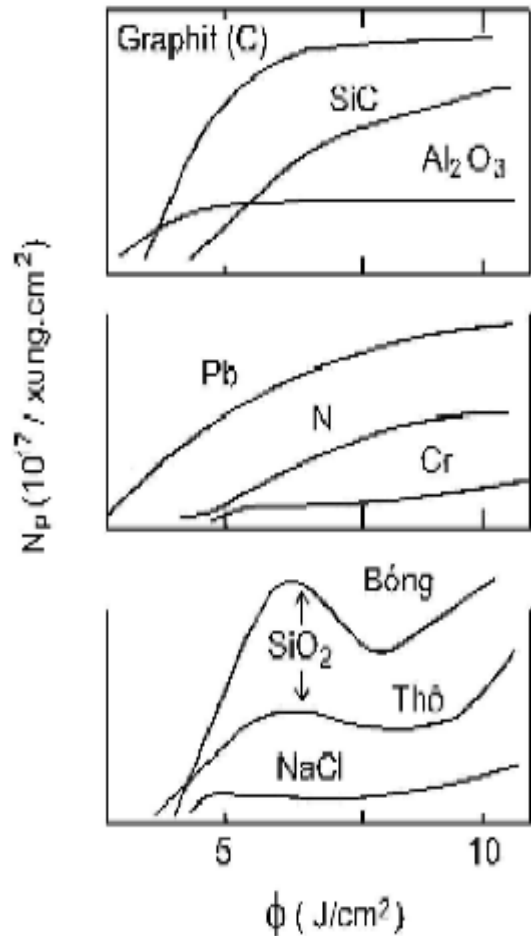


Hình 2.9 Nguyên lý bốc bay bằng laze xung (bốc bay laze) a) Sơ đồ hệ bốc bay; b) Dạng xung laze; c) Hình thành đốm sáng ellip và xuyên sâu vào bia của chùm tia laze.

Nếu như năng lượng vẫn được duy trì thì hiện tượng bốc sẽ xảy ra, vì một phần các nguyên tử bên trong thể tích đó đã nhận được nhiệt lượng bốc bay. Do xuất hiện gradient áp suất rất lớn, lớp Knudsen được mở rộng ra thành một hố nông, hướng theo phương vuông góc với mặt bia. Nhiệt độ ban đầu của lớp Knudsen là điểm nóng chảy của bia; pha hơi

nguội dần trong quá trình giãn nở đoạn nhiệt, trong khi cũng tại thời điểm đó xảy ra sự tích tụ dòng chảy lớn dần theo hướng vuông góc với bề mặt.

Xung laze có thể gây ra hiệu ứng quang-phát xạ điện tử từ bề mặt bia, đồng thời cũng gây ra hiệu ứng quang-ion hóa trong khối ellip giãn nở trước khi xung laze kết thúc, để hình thành trạng thái plasma. Khi mật độ của đám pha hơi giảm nhiều thì sự giãn nở đoạn nhiệt cũng dừng tại tốc độ dòng hơi thoát ra. Các phân tử khí đó tiếp tục lắng đọng trên đế theo cơ chế dòng phân tử tự do. Trong kỹ thuật laze, sự bắn phá hay bóc (ablation) bia đòi hỏi mật độ năng lượng của chùm tia laze phải đạt được giá trị ngưỡng nhất định. Giá trị ngưỡng này là một hàm phụ thuộc mật độ năng lượng toàn phần. Khi chùm tia có năng lượng vượt ngưỡng thì lượng vật chất bốc bay sau đó phụ thuộc gần như tuyến tính vào năng lượng laze và đạt đến giá trị bão hòa, không tăng thêm nữa, mặc dù năng lượng của laze vẫn tăng. Đó là trạng thái bão hòa của quá trình bốc bay. Hình 4.2 là đồ thị mô tả hiện tượng này nhận được từ thực nghiệm chế tạo màng mỏng siêu dẫn nhiệt độ cao. Cho đến nay, có hai loại vật liệu được chế tạo bằng phương pháp bốc bay laze nhiều nhất là màng mỏng siêu dẫn nhiệt độ cao YBCO và màng hữu cơ hydroxyapatite canxi, mô phỏng cấu trúc sinh học .



Hình 2.10 Hàm phụ thuộc năng lượng laze của một số vật liệu bốc bay từ bia: trên cùng loại bia (thạch anh) bề mặt bông hấp thụ năng lượng laze kém hơn.

2.2.2 Chế tạo màng mỏng đúng hợp thức

Phương pháp bốc bay laze có ưu điểm vượt trội so với các phương pháp khác là vật liệu để làm bia rất đa dạng và cấu trúc của bia thì lại rất đơn giản: vật liệu bia có thể là đơn chất

hoặc hợp chất, một hoặc nhiều thành phần; bia có thể là vật liệu bột, vật liệu đa hoặc đơn tinh thể, viên ép sau khi đã tổng hợp thiêu kết, thậm chí “bia” có thể là chất lỏng. Năng suất bốc bay (số nguyên tử lắng đọng trên một photon) là đại lượng rất nhạy với hình thái học bề mặt bia, cái mà luôn thay đổi theo thời gian sử dụng. Bề mặt bia mà thô, xốp thì hạn chế phản xạ tia laze, do đó hấp thụ năng lượng laze tốt hơn bề mặt nhẵn (như đơn tinh thể chẳng hạn). Nhiều công trình nghiên cứu đã chứng tỏ vật liệu làm bia tốt nhất cho phương pháp bốc bay laze là vật liệu cách nhiệt tốt, với độ khuếch tán nhiệt thấp hơn $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ và vật liệu có khả năng hấp thụ ánh sáng mạnh với hệ số hấp thụ trên 10^5 cm^{-1} . Sử dụng chùm tia laze có mật độ dòng càng thấp thì chứng tỏ phương pháp càng ưu việt. Một trong những lợi thế nổi bật của phương pháp bốc bay laze thể hiện ở chỗ, nó tỏ ra có hiệu quả nhất khi chúng ta cần tái hình thành trên màng mỏng các cấu trúc và thành phần hợp thức của vật liệu gốc. Bởi vì, với kỹ thuật laze xung công suất lớn thì quá trình bốc bay xảy ra rất nhanh, nhanh đến mức sự phân hủy thành phần hóa học của vật liệu “không có” thời gian để xảy ra. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, khi mà các hợp chất chứa phân tử ôxy hay các khí nhẹ khác thì hợp thức hóa học của cấu trúc màng cũng cần được cải thiện. Khi đó, chúng ta sẽ thực hiện bốc bay laze trong điều kiện duy trì áp suất riêng phần của khí phản ứng (thí dụ ôxy, nitơ, ...). Phương pháp bốc bay phản ứng dùng laze xung cũng đã được ứng dụng thành công để chế tạo màng mỏng siêu cứng, chất lượng cao như TiN và BN.

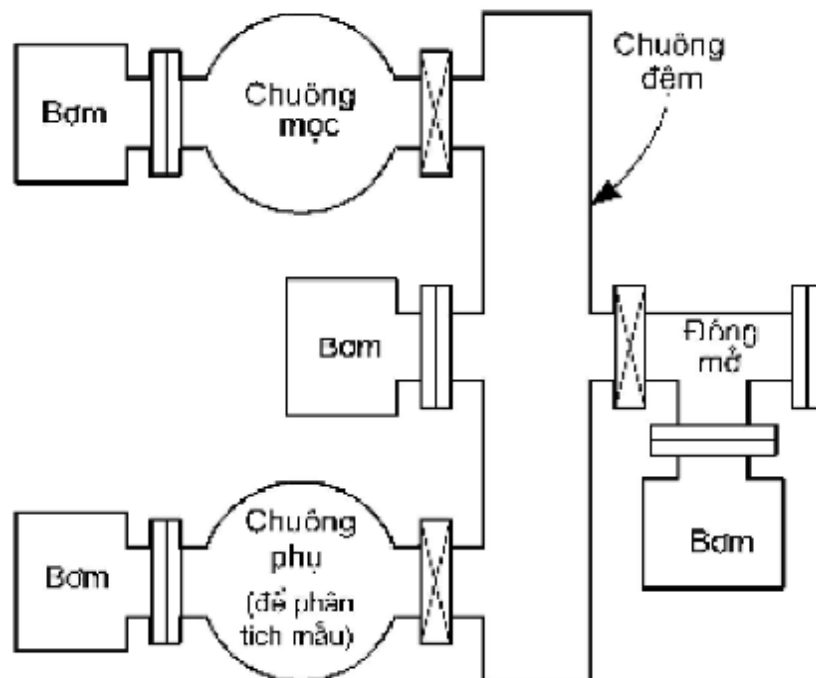
Do khả năng truyền xa và kích thước của chùm tia laze rất bé cho nên phương pháp bốc bay laze còn có thể áp dụng để “mạ” các chi tiết cơ khí tinh vi, thí dụ các thành bên trong ống hay hộp rất nhỏ, hoặc bề mặt của các cấu trúc phức tạp mà bằng các phương pháp khác không thể nào thực hiện được. Gần đây xuất hiện một số laze công suất lớn như laze YAG và ArF với các thông số tương ứng là (20 nm, 5Hz, 1J/xung) và (20 nm, 50Hz, 300 nJ/xung) Với mật độ năng lượng cao đến ($5 \times 10^{10} \text{ W} / \text{cm}$) người ta đã chế tạo được vật liệu cacbon giả kim cương sạch, không còn tạp chất hydro. Vì tia laze truyền qua một số vật liệu trong suốt mà không giảm năng lượng, cho nên sử dụng kỹ thuật laze xung còn có thể làm hóa hơi vật liệu lớp phủ trên đế trong suốt. Đó là kỹ thuật bốc bay ngược. Tia laze được chiếu qua một mặt của đế, năng lượng được tập trung trên lớp phủ của mặt kia và làm bốc hơi lớp phủ này, rồi lại lắng đọng lên trên đế khác đặt đối diện với lớp phủ.

2.3 Epitaxy chùm phân tử (MBE)

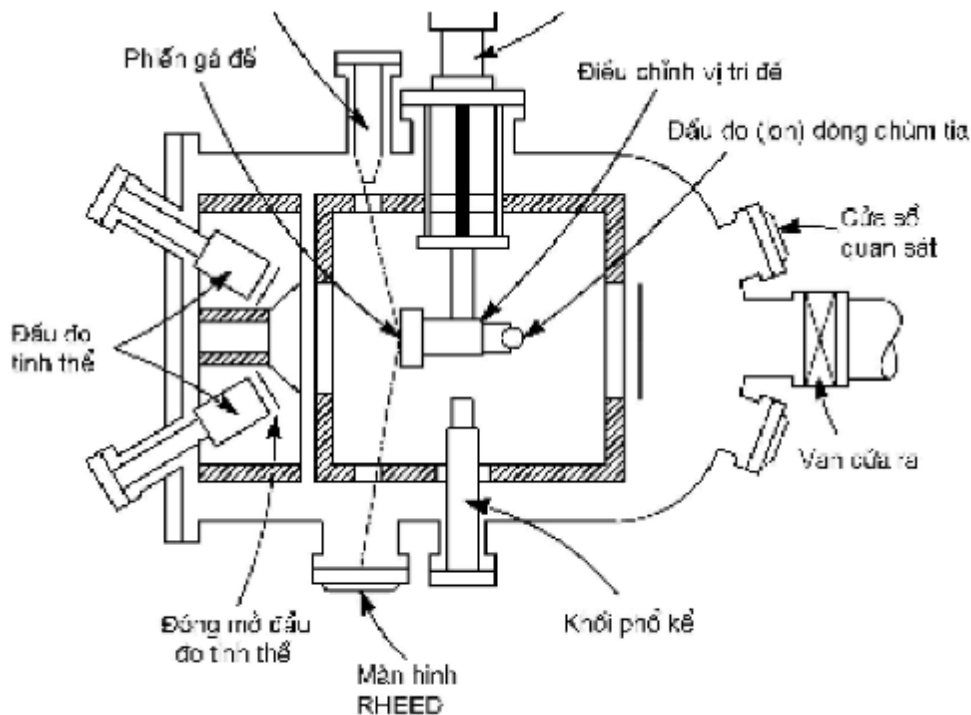
2.3.1 Mô tả thiết bị

BE (viết tắt từ tiếng Anh: Molecular Beam Epitaxy) dùng để chỉ phương pháp mọc màng bằng chùm phân tử. MBE cho đến nay cũng đã trở thành khái niệm rất quen thuộc không những trong ngành vật lý mà cả trong các lĩnh vực công nghệ khác. Thực chất MBE cũng là phương pháp lắng đọng pha hơi vật lý bởi vì để tạo các phân tử ở trạng thái hơi chúng ta cũng dùng phương pháp vật lý. Sau này người ta phát triển phương pháp MBE thành AL-MBE (MBE lớp nguyên tử) để chế tạo vật liệu cấu trúc siêu mạng, vật liệu quang tử cấu trúc nano.

Sơ đồ hệ thực nghiệm MBE được vẽ trên hình 2.11. Hệ này bao gồm hai buồng và hệ van đóng mở. Một buồng để mọc màng (gọi là buồng mọc màng) và một buồng phụ (các thể hệ đầu không có buồng phụ). Cả hai buồng đều được gắn với hệ bơm chân không. Nhờ các van chu trình, có thể đưa vào hoặc lấy ra các mẫu mà hầu như không làm ảnh hưởng đến chân không trong buồng mọc màng.



Hình 2.11 Sơ đồ hệ thực nghiệm MBE.



Hình 2.12 Sơ đồ buồng mọc của hệ MBE.

Chuông phụ có chứa các công cụ để phân tích bề mặt, mà chúng không thể được trong buồng mọc, thiết bị lắng đọng hỗ trợ hay các thiết bị công nghệ khác. Sơ đồ buồng mọc màng được vẽ tách riêng trên hình 2.12. Các bộ phận chính của nó bao gồm nguồn cấp chùm phân tử, bộ đốt đế, bộ quay và dịch chuyển mẫu, bộ che chắn chùm tia, đầu đo áp suất và mật độ của chùm tia, súng nhiễu xạ điện tử phản xạ (RHEED) và màn hình theo dõi, máy phân tích khối lượng các hạt (phân tử, nguyên tử, ion, ...) và thành phần hóa học của chùm tia. Chuông phụ có thể coi là tổ hợp của các phương pháp phân tích như phổ kế điện tử Auger, khối phổ kế ion thứ cấp (SIMS), phổ kế điện tử để phân tích hóa học (ESCA), phổ kế điện tử - quang tia X (XPS). Ngoài ra, còn có các bộ phận ủ mẫu và súng ion để xử lý bề mặt liên quan, thiết bị còn có các nguồn để lắng đọng hoặc ăn mòn bằng chùm tia ion. Nhờ có bộ che chắn và khống chế chính xác nhiệt độ nguồn, liên quan đến việc phải định lượng dòng hơi nguyên tử hoặc phân tử hướng lên đế là đơn tinh thể (có nhiệt độ đốt nóng một cách thích hợp), quá trình mọc màng bằng MBE có thể thực hiện theo đúng nguyên lý trải từng lớp nguyên tử. Khí làm việc trong hệ thực nghiệm MBE phải có độ tinh khiết rất cao, chân không cũng cần đạt mức siêu cao, đến 10^{-11} Torr. Trong chân không này quãng đường tự do

của phân tử trong chuồng cũng như trong bản thân chùm tia phân tử có giá trị rất lớn, gấp vài bậc lũy thừa khoảng cách từ nguồn tới đế (thí dụ khoảng cách nguồn-đế là 20 cm, quãng đường tự do có giá trị lớn trong khoảng từ 200 m đến 20 km).

2.3.2 Chế tạo màng mỏng tinh thể chất lượng cao

Để có thể so sánh các phương pháp hiện đại dùng để chế tạo màng mỏng tinh thể GaAs chất lượng cao, chúng ta xem xét các thông số kỹ thuật của chúng trong bảng 2-3. Trong phương pháp MBE, tốc độ mọc màng có thể khống chế rất chính xác, vì thế đạt giá trị nhỏ đến 0,6 *mm*/giờ (nhỏ hơn 2 \AA /s). Việc khống chế quá trình mọc được thực hiện chính xác đến từng lớp nguyên tử. Vì thế, bằng phương pháp MBE có thể chế tạo màng mỏng đơn tinh thể, trong khi các phương pháp khác chỉ có thể chế tạo màng với sự kiểm soát bề dày chính xác, còn cấu trúc của vật liệu thì thường là vô định hình hoặc đa tinh thể với nhiều biên hạt.

	Epitaxy pha lỏng (LPE)	Epitaxy pha hơi		Epitaxy chùm phân tử (MBE)
		CVD	MO-CVD	
Tốc độ mọc (μm /phút)	~ 1	~ 0.1	~ 0.1	~ 0.01
Nhiệt độ mọc ($^{\circ}\text{C}$)	850	750	750	550
Khống chế bề dày (\AA)	500	250	25	5
Độ rộng biên phân cách (\AA)	≥ 50	~ 65	< 10	<5
Mật độ tạp chất (cm^{-3})	10^{13} - 10^{19}	10^{13} - 10^{19}	10^{14} - 10^{19}	10^{14} - 10^{19}

Bảng 2-3 So sánh thông số công nghệ trong các phương pháp epitaxy.

Hầu hết các vật liệu siêu mạng từ các nguyên tố nhóm III và V (ví dụ Al, Ga, In, As, P và Sb), hay với Si, Ge, các hợp chất nhóm II-VI, nhóm phụ IV-VI và nhiều kim loại khác đã

được thực hiện bằng phương pháp MBE. Cũng bằng phương pháp MBE, người ta đã chế tạo thành công các linh kiện tinh vi dùng trong kỹ thuật vi sóng, thông tin quang điện tử, linh kiện tương tự và số hoạt động với tốc độ cao, các vi mạch mật độ lớn, ... Có thể thấy trên bảng 2-4 số lượng các hợp chất cấu trúc tinh thể được chế tạo bằng phương pháp MBE là rất lớn. Nó bao gồm hầu hết các cấu trúc từ kim loại, bán dẫn, chất cách điện đến hợp chất hai, ba thành phần, sử dụng các loại đế khác nhau.

Hầu hết các vật liệu siêu mạng từ các nguyên tố nhóm III và V (ví dụ Al, Ga, In, As, P và Sb), hay với Si, Ge, các hợp chất nhóm II-VI, nhóm phụ IV-VI và nhiều kim loại khác đã được thực hiện bằng phương pháp MBE. Cũng bằng phương pháp MBE, người ta đã chế tạo thành công các linh kiện tinh vi dùng trong kỹ thuật vi sóng, thông tin quang điện tử, linh kiện tương tự và số hoạt động với tốc độ cao, các vi mạch mật độ lớn, ... Có thể thấy trên bảng 6.8 số lượng các hợp chất cấu trúc tinh thể được chế tạo bằng phương pháp MBE là rất lớn. Nó bao gồm hầu hết các cấu trúc từ kim loại, bán dẫn, chất cách điện đến hợp chất hai, ba thành phần, sử dụng các loại đế khác nhau.

Ngày nay, công nghệ MBE được phát triển rất nhanh để đáp ứng nhu cầu chế tạo các linh kiện, mạch tổ hợp IC, các hệ thống điều khiển, mà trong đó vật liệu đều có kích thước nhỏ từ vài đến vài chục nanômét. Công nghệ như vậy gọi là MINATECH (công nghệ micro-nanô).

Bảng 2-4 Các loại màng mỏng tinh thể chế tạo bằng phương pháp MBE

<p>III-V (Màng : đế)</p> <p>AlGaAs: GaAs</p> <p>AlGaAs: GaAs, Si</p> <p>AlGaSb: GaAs</p> <p>AlSb: GaSb</p> <p>GaAs: GaAs, Ge, Si</p> <p>GaAsSb: GaAs, InP, InAs, GaSb</p> <p>GaP: Si, GaP</p> <p>GaSb: GaAs, GaSb</p> <p>InAlAs: InP</p> <p>InAlP: InGaP</p> <p>InAs: GaAs, GaSb</p> <p>InAsSb: GaSb, InSb, GaAs</p> <p>InGaAlAs: InP</p> <p>InGaAlP: GaAs</p> <p>InGaAsP: InP</p> <p>InGaAsSb: GaSb, GaAs</p> <p>InGaP: InAlP</p> <p>InP: InP</p> <p>InSb: GaAs</p> <p>IV (Màng : đế)</p> <p>Si: Si</p> <p>Ge: Si</p> <p>GeSi: Si</p> <p>II-VI (Màng : đế)</p> <p>CdMnTe: CdTe, GaAs</p> <p>CdS: InP</p> <p>CdTe: GaAs, InP, InSb</p> <p>CdZnS: GaAs</p> <p>CdZnTe: GaAs</p> <p>HgMnTe: GaAs</p>	<p>HgTe: CdTe</p> <p>HgZnTe: GaAs</p> <p>ZnMnSe: ZnSe, GaAs</p> <p>ZnS: GaP</p> <p>ZnSe: GaAs, InP, Si</p> <p>ZnSeTe: GaAs</p> <p>ZnTe: InP</p> <p>Cách điện (Màng: đế)</p> <p>BN: Si</p> <p>BaF2: InP, CdTe</p> <p>CaF2: Si, GaAs, InP</p> <p>CaSrF2: GaAs</p> <p>LaF3: Si</p> <p>SrBaF2: InAs, InP</p> <p>SrF2: GaAs</p> <p>Metals (Màng : đế)</p> <p>Al: GaAs, InP</p> <p>IV-VI (Màng : đế)</p> <p>PbEuSeTe: PbTe</p> <p>PbSnSe: BaF2, PbSe, CaF2</p> <p>PbS: BaF2, PbSe</p> <p>PbSe: BaF2, PbSe</p> <p>PbTe: BaF2</p> <p>PbYbSnTe: BaF2, PbTe</p> <p>Ag: InP</p> <p>Au: GaAs</p> <p>CoSi2: Si</p> <p>Fe: GaAs</p> <p>Mo: GaAs</p> <p>NiSi2: Si</p> <p>Sn: GaAs</p>
--	---

3 CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO TÍNH CHẤT CỦA MÀNG TỪ

3.1 Từ kế mẫu rung

Từ kế mẫu rung, (vibrating sample magnetometer, viết tắt là VSM) là một dụng cụ đo các tính chất từ của vật liệu từ, hoạt động trên nguyên tắc thu tín hiệu cảm ứng điện từ khi rung mẫu đo trong từ trường.

3.1.1 Lịch sử

Từ kế mẫu rung lần đầu tiên được phát minh vào giữa những năm 50 của thế kỷ 20, bởi tiến sĩ Simon Foner, một nhà nghiên cứu của Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), Mỹ. Simon Foner đã nhận giải thưởng Joseph F. Keithley cho phát minh này vào năm 1999 và VSM đã là một trong những thiết bị phổ thông nhất trong nghiên cứu vật liệu từ.

3.1.2 Sơ lược

a Sơ đồ khối của từ kế mẫu rung

Như đã nói, từ kế mẫu rung hoạt động theo nguyên tắc cảm ứng điện từ. Nó đo mômen từ của mẫu cần đo trong từ trường ngoài.

Mẫu đo được gắn vào một thanh rung không có từ tính, và được đặt vào một vùng từ trường đều tạo bởi 2 cực của nam châm điện. Mẫu là vật liệu từ nên trong từ trường thì nó được từ hóa và tạo ra từ trường. Khi ta rung mẫu với một tần số nhất định, từ thông do mẫu tạo ra xuyên qua cuộn dây thu tín hiệu sẽ biến thiên và sinh ra suất điện động cảm ứng V . Hiệu điện thế sinh ra do hiện tượng cảm ứng được cho bởi biểu thức:

$$V = -na \frac{dB}{dt}$$

Từ trường xuyên qua cuộn dây trước khi có mẫu đặt vào là:

$$B = \mu_0 H$$

Từ trường xuyên qua cuộn dây sau khi có mẫu đặt vào là:

$$B = m_0(H + M)$$

Vậy:

$$\Delta B = m_0 M$$

Suy ra:

$$Vdt = -n a m_0 M$$

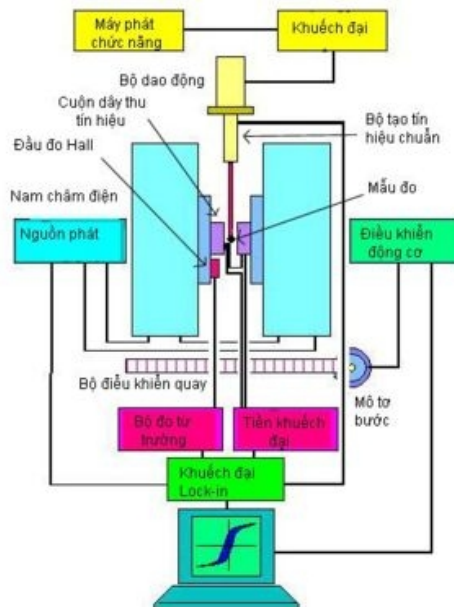
Trong đó:

a: tiết diện của vòng dây thu tín hiệu.

n: Số vòng dây thu tín hiệu.

M: Độ từ hóa của mẫu

với M là mômen từ của mẫu đo, S_m là tiết diện vòng dây, n là số vòng dây của cuộn dây thu tín hiệu.

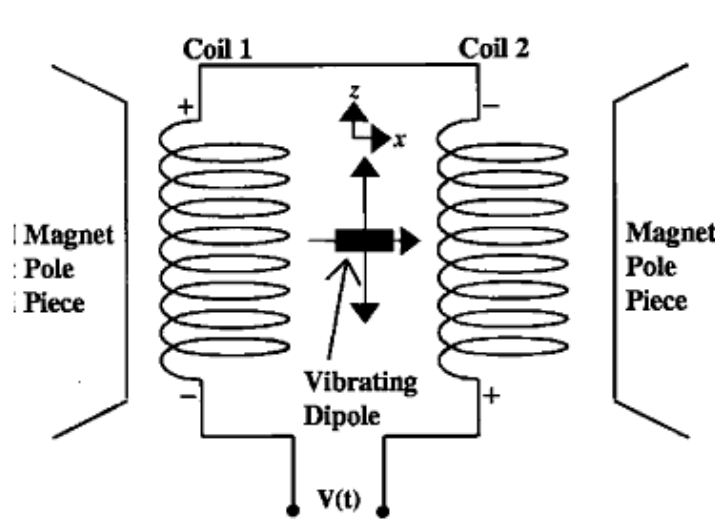


Hình 3.1 Sơ đồ khối của từ kế mẫu rung

b Cuộn dây thu tín hiệu

Trong các từ kế phổ thông, người ta sử dụng 2 cuộn dây thu tín hiệu đối xứng nhau, gọi là cặp cuộn dây pick-up (pick-up coil), là hệ 2 cuộn dây đối xứng nhau, cuốn ngược chiều trên lõi là một vật liệu từ mềm.

Ngoài ra, để tăng độ nhạy cho từ kế, người ta có thể thay cuộn dây thu tín hiệu bằng thiết bị giao thoa kế lượng tử siêu dẫn (superconducting quantum interference device - SQUID), là một tiếp xúc chui hầm Josephson có thể đo các lượng tử từ thông, do đó độ nhạy của thiết bị được tăng lên rất nhiều. Với cuộn dây thu này, ta có từ kế SQUID, thường hoạt động ở nhiệt độ thấp (vì hiện nay chỉ có các vật liệu siêu dẫn đạt trạng thái siêu dẫn ở nhiệt độ thấp).



Hình 3.2 Sơ đồ cuộn dây thu tín hiệu

c Nam châm điện

Trong từ kế cũng là một bộ phận rất quan trọng để tạo ra từ trường từ hóa vật liệu cần đo. Nếu nam châm điện là cuộn dây tạo từ trường bằng dòng điện một chiều ổn định, thì từ trường tạo ra là một chiều ổn định, nhưng thường không lớn, do bị hạn chế bởi từ độ bão hòa của lõi thép và cuộn dây một chiều không thể cho dòng điện lớn chạy qua (sẽ tỏa rất nhiều nhiệt). Loại nam châm kiểu này chỉ sử dụng từ trường cực đại cỡ xung quanh 3 T.

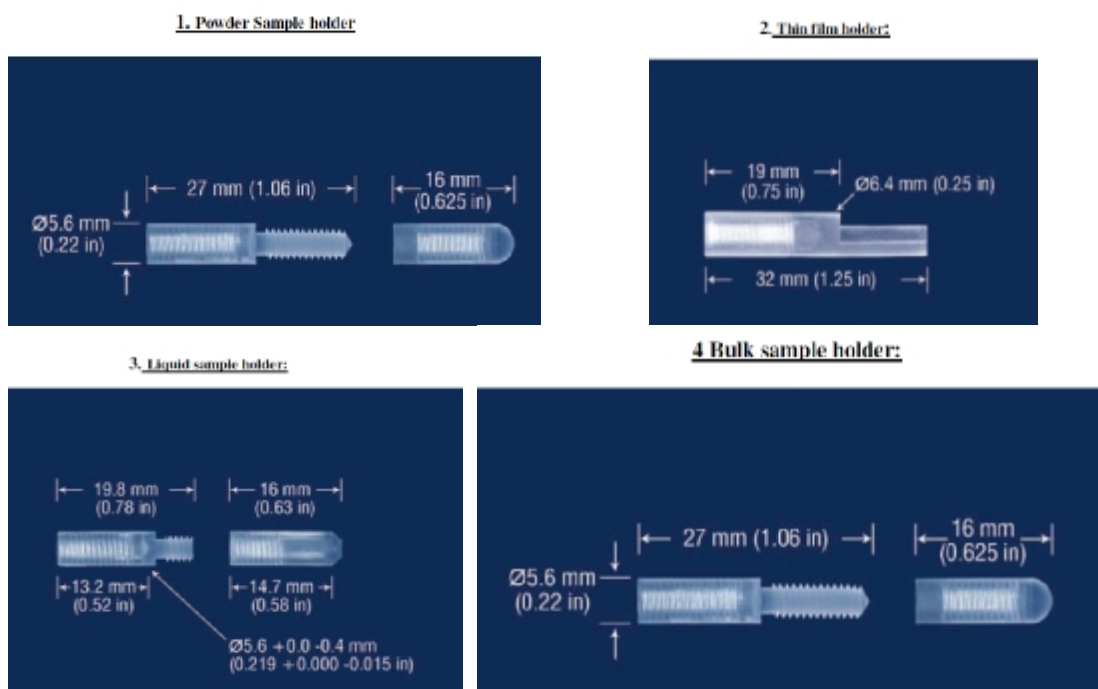
Người ta có thể tạo ra từ trường lớn bằng cách sử dụng từ trường xung. Tức là dùng một dòng điện cực lớn dạng xung phóng qua cuộn dây, để tạo ra từ trường lớn (có thể tới hàng chục Tesla) trong một thời gian cực ngắn. Tuy vậy, hạn chế của cách này là vì thời gian của từ trường ngắn, nên phải có cách ghi tín hiệu khác (vì từ trường quá ngắn có thể ảnh hưởng đến khả năng cảm ứng của vật liệu trong từ trường ngoài).

Cuộn dây siêu dẫn cũng là một cách tạo từ trường một chiều lớn và ổn định. Người ta sử dụng những cuộn dây siêu dẫn (hoạt động ở nhiệt độ thấp) để tạo ra từ trường cực lớn ổn định. Hạn chế của cách này là cuộn dây phải hoạt động ở nhiệt độ thấp nên chi phí hoạt động thường cao. Cuộn dây siêu dẫn thường sử dụng trong từ kế SQUID

d Bộ phận đặt mẫu

Bộ phận đặt mẫu phải được làm từ chất cách điện, không bị nhiễm từ để không làm ảnh hưởng đến phép đo tính chất từ của mẫu.

Dưới đây là hình ảnh của bộ phận để mẫu được thiết kế với những hình dạng khác nhau để có thể đặt các mẫu khác nhau.



Hình 3.3 bộ phận để mẫu được thiết kế với những hình dạng khác nhau để có thể đặt các mẫu khác nhau

3.1.3 Các phép đo đặc sử dụng từ kế mẫu rung

Như đã nói, từ kế mẫu rung đo mômen từ của vật từ. Đơn vị của mômen từ thường sử dụng trong từ kế mẫu rung là emu (electromagnetic unit), $1emu = 10^{-3}.A.m^2$, và tùy theo việc đo mômen từ theo đại lượng nào sẽ có tương ứng phép đo đó:

Phép đo từ hóa, từ trễ: đo sự biến đổi của mômen từ theo từ trường ngoài

Phép đo mômen từ theo sự thay đổi của nhiệt độ dưới tác dụng của một từ trường ngoài: phép đo từ nhiệt. Dựa vào phép đo từ nhiệt, có thể thực hiện các phép đo động học từ tính, hay động học kết tinh của vật liệu từ.

Đo thay đổi mômen từ theo thời gian: đo phục hồi

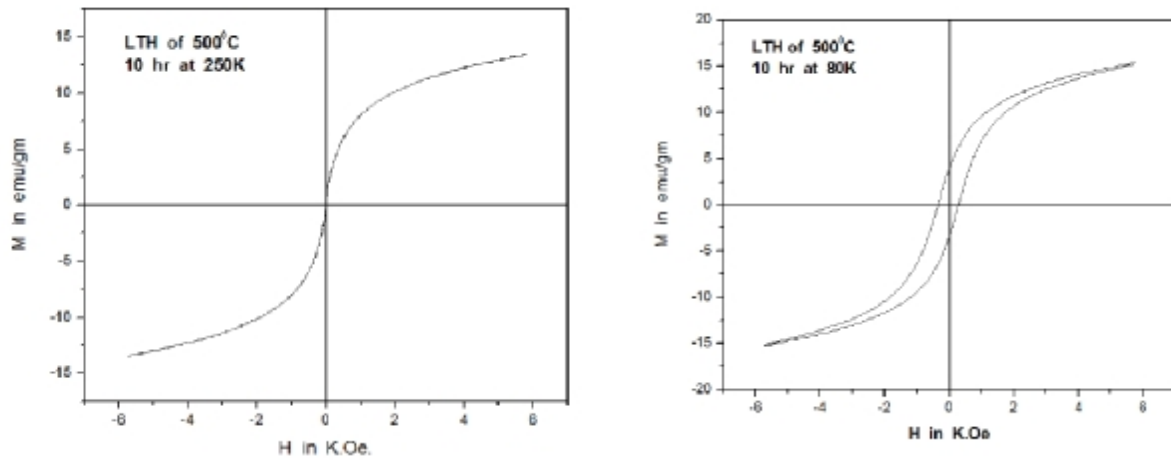
Xác định các tính chất dị hướng dựa vào việc quay vật liệu (bộ phận quay của VSM)

...

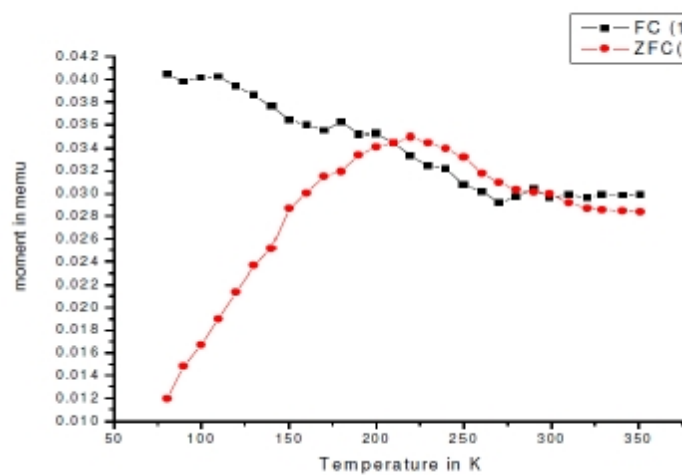
và nhiều phép đo khác tùy thuộc vào độ mạnh yếu của mỗi thiết bị



Hình 3.4 Ảnh chụp từ kế mẫu rung DMS 880 ở Trung tâm Khoa học Vật liệu, Đại học Quốc gia Hà Nội



Hình 3.5
ZFC & FC Measurement of NiFe



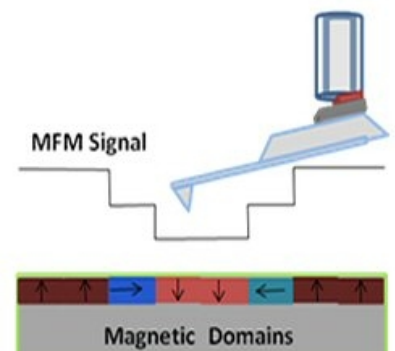
Hình 3.6

3.2 Kính hiển vi lực từ

Kính hiển vi lực từ (Magnetic Force Microscope, thường viết tắt là MFM) là một loại kính hiển vi thuộc nhóm kính hiển vi quét đầu dò (SPM), được sử dụng để xây dựng hình ảnh sự phân bố của tính chất từ trên bề mặt vật rắn dựa trên việc ghi nhận lực tương tác (lực từ) giữa mũi dò từ tính với bề mặt của mẫu.

3.2.1 Nguyên lý hoạt động

Về mặt nguyên lý, MFM hoạt động tương tự như AFM.



Mũi dò quét trên bề mặt mẫu được sử dụng là vật liệu từ tính khi quét trên bề mặt mẫu sẽ có sự tương tác với các thành phần từ tính trên bề mặt, qua đó vẽ bản đồ phân bố các thành phần từ tính bề mặt, mà cụ thể ở đây là cấu trúc đômen của vật rắn.

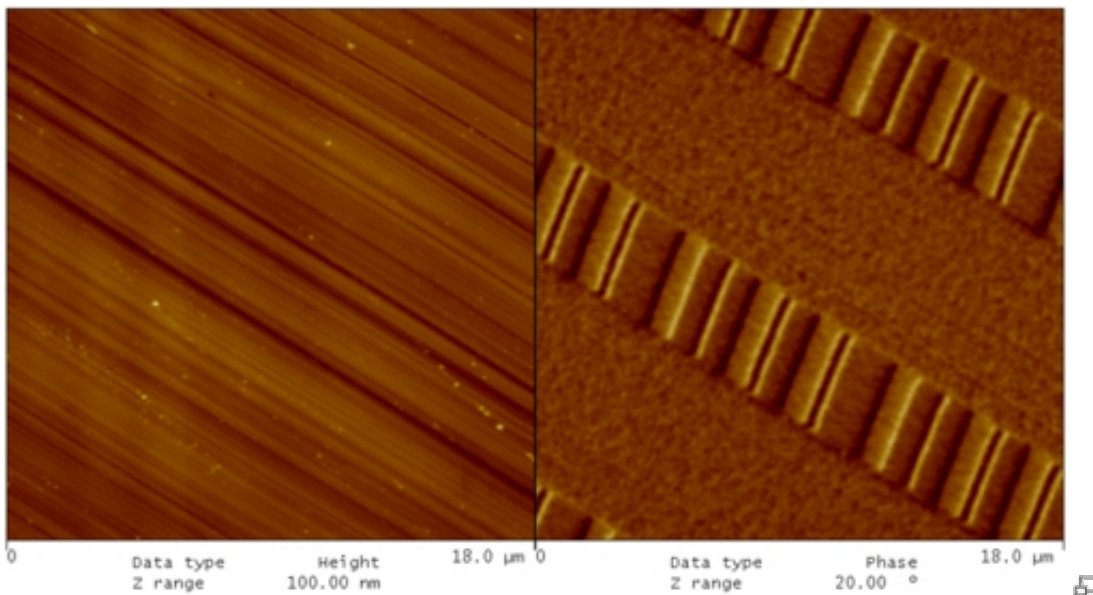
Lực tương tác từ giữa mũi dò và bề mặt vật rắn được xác định bởi:

$$F_z = -\mu_0 \int M_{z\text{tip}} \frac{\partial H_{z\text{sample}}}{\partial z} dV$$

hoặc trong chế độ hoạt động tiếp xúc, người ta có thể ghi lại gradient lực từ được xác định bởi:

$$F'_z = -\mu_0 \int M_{z\text{tip}} \frac{\partial^2 H_{z\text{sample}}}{\partial z^2} dV$$

với $M_{z\text{tip}}$, $H_{z\text{sample}}$ lần lượt là thành phần theo trục z của độ từ hóa của mũi dò, và cường độ từ trường tại bề mặt mẫu vật.



Hình 3.7 Ảnh chụp phân bố đômen từ của bề mặt ổ cứng, sự tương phản ở đây là tương phản về tính chất từ

3.2.2 Ưu điểm và hạn chế

a Ưu điểm của MFM:

+ MFM là thiết bị dùng để phân tích cấu trúc từ của vật rắn có nhiều ưu điểm. Ưu điểm đầu tiên là có khả năng phân tích cấu trúc từ mà không đòi hỏi sự phá hủy hay xử lý mẫu

như kính hiển vi Lorentz, đồng thời độ phân giải không bị giới hạn bởi hiện tượng nhiễu xạ, mà chỉ phụ thuộc vào kích thước và bước quét của mũi dò trên bề mặt mẫu vật.

- + Mẫu không nhất thiết phải là chất dẫn điện.
- + Có khả năng phân tích cấu trúc từ mà không đòi hỏi sự phá hủy hay xử lý mẫu
- + Không đòi hỏi phải kỹ thuật xử lý mẫu hay bao phủ gì đặc biệt.
- + MFM có thể dùng như máy STM hay AFM

b Điểm yếu của MFM:

+ MFM ghi ảnh dựa vào hiện tượng quét nên độ phân giải thời gian thấp, khả năng ghi ảnh chậm. Đồng thời, việc ghi ảnh tức thời trong quá trình từ hóa của MFM kém hơn rất nhiều so với kính hiển vi Lorentz. Việc ghi lại cấu trúc từ của các vật liệu từ mềm khó hơn do trường phân tán trên mũi ảnh hưởng đến đômên từ của mẫu vật.

+ Nếu từ trường của mũi dò quá mạnh nó có thể làm thay đổi đômên từ trên bề mặt mẫu.

+ MFM ghi ảnh dựa vào hiện tượng quét nên khả năng ghi ảnh chậm. Đồng thời, việc ghi ảnh tức thời trong quá trình từ hóa của MFM kém .

4 ỨNG DỤNG CỦA MÀNG TỪ

Màng mỏng và cấu trúc đa tầng đã thu hút được rất nhiều sự quan tâm do khả năng về các tính chất từ độc đáo và đáng mong ước. Hiện nay, màng từ đã được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực như trong nanochip, trong MEMS, trong HDD. Trong phần báo cáo này, xin trình bày về ứng dụng màng mỏng từ trong HDD.

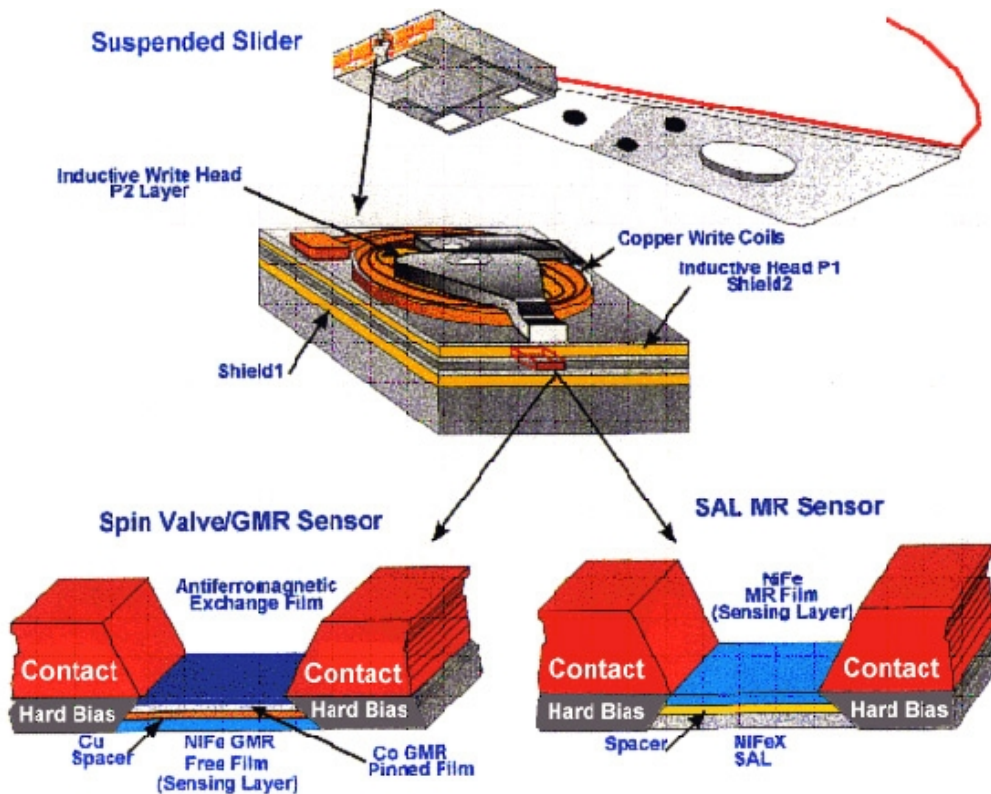
Ngày nay ổ đĩa cứng sử dụng màng mỏng từ ở rất nhiều bộ phận: màng mỏng phủ trên đĩa từ (platter), trên các đầu đọc/ghi. Các màng mỏng từ dùng ở đây chủ yếu là màng mỏng từ như màng FePt và màng CoPt với tính từ cứng rất cao, độ bền và khả năng chống mài mòn, chống ôxi hóa tốt. Hiện nay, xu thế đang tập trung là nâng cao mật độ ghi từ (phổ biến đang là 100 Gb/in²) nâng đến Tb/in² bằng cách ghi vuông góc với bề mặt màng và giảm kích thước các bit từ.

4.1 Ứng dụng trong cảm biến (sensors) và bộ dẫn động (actuators)

Material	Layer thickness [μm]	Deposition rate [μm/h]	Deposition type	Other properties
Soft magnetic materials:				
NiFe 81/19	max. 15/75	2/7	PVD/electroplating	$B_s=0.9T, H_c=400A/m, \mu\mu_{r,max}=1000-200$
NiFe 45/55	max. 15	2/7	PVD/electroplating	$B_s=1.6T, H_c=650A/m, \mu\mu_{r,max}=1600-200$
Hard magnetic materials:				
SmCo 83/17	max. 50	5-10	PVD	$B_r=0.72T, H_c=1,140kA/m, BH_{max}=85[kJ/m^3]$
CoP	max. 40	10	Electroplating	$B_r=0.3T, H_c=160kA/m, BH _{max}=5[kJ/m^3]$
Antiferromagnetic materials:				
CrMn Pt	-	0.93	PVD	-

Bảng 4-1 Phân loại tính chất của màng mỏng từ

Nhờ vào những tính chất đặc biệt, màng từ được ứng dụng trong các cảm biến và cả bộ dẫn động. Các màng mỏng từ dùng trong cảm biến thường là màng mỏng mềm (soft) được làm từ các vật liệu như NiFe81/19. Các cảm biến từ trường cũng có thể ứng dụng hiệu ứng GMR. Trong trường hợp đó, yêu cầu các cái chuyển mạch (sandwiches) mỏng chứa cả các vật liệu sắt từ (NiFe81/19, Co) và vật liệu phản sắt từ (CoCrPt). Độ dày của màng thường là vài chục nanometre.



Hình 4.1 Cấu tạo đầu đọc MR và GMR

Hình 4.1 là cấu tạo của một cảm biến sử dụng hiệu ứng GMR. Hai đầu cảm biến là hai lớp chắn từ, không cho từ trường bên ngoài làm ảnh hưởng đến lớp ở giữa. Ở giữa là màng đa lớp gồm 4 lớp màng mỏng: lớp sensing (làm từ NiFe), lớp spacer (vật liệu đồng), lớp pinned (làm từ Co) và lớp exchange. Ba lớp đầu rất mỏng, cho phép các electron dẫn có thể di chuyển tự do từ lớp sensing sang lớp pinned và ngược lại thông qua lớp spacer. Hướng từ hóa của lớp pinned là cố định, trong khi hướng từ hóa của của lớp sensing có thể thay đổi theo từ trường ngoài.

Nguyên lý của cảm biến GMR là dựa trên hiệu ứng lượng tử của electron. Mỗi electron thường có spin theo một trong hai hướng: spin hướng lên hoặc spin hướng xuống. Các electron dẫn với hướng spin song song với hướng từ hóa của vật liệu di chuyển tự do và dễ dàng, tạo ra điện trở nhỏ. Ngược lại, các electron dẫn với hướng từ hóa ngược với hướng từ hóa của vật liệu sẽ bị cản trở do va chạm với các nguyên tử trong vật liệu, tạo ra điện trở cao.

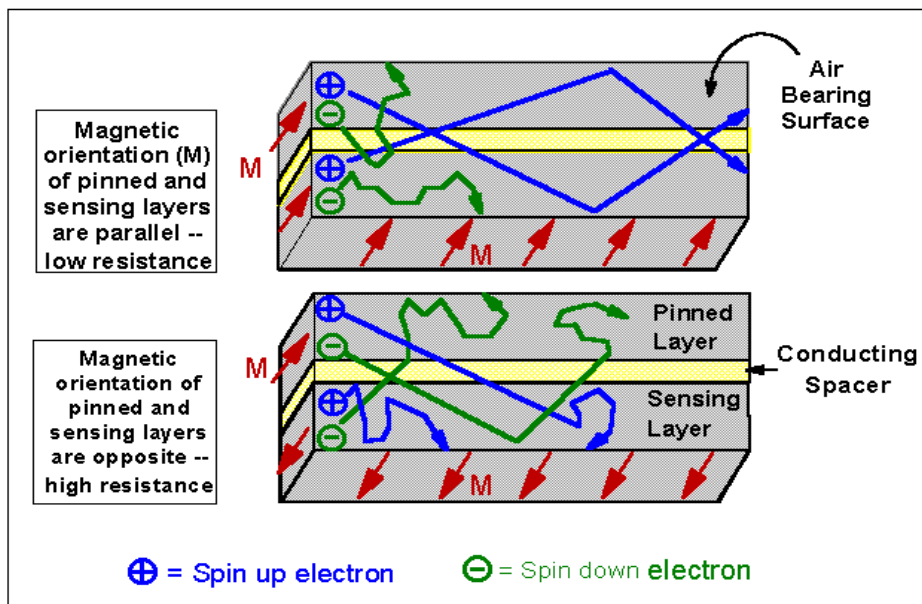
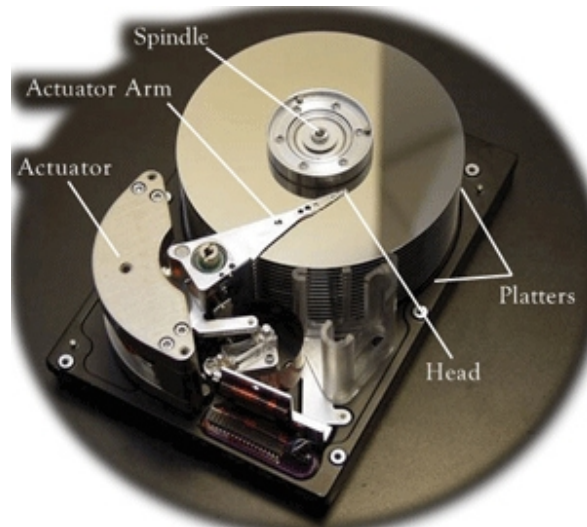


Figure 8. GMR sensor basics

Hình 4.2 Nguyên lý của cảm biến GMR

Ứng dụng tính chất này vào hoạt động của cảm biến như ở hình 4.2: Khi lớp pinned và lớp sensing có cùng hướng moment từ, các electron có spin song song với moment từ này sẽ di chuyển tự do trong cả hai lớp màng mỏng, và điện trở thu được là nhỏ. Khi ta đổi hướng từ hóa lớp sensing, lớp pinned và lớp sensing có moment từ ngược hướng nhau, thì khi đó electron có spin hướng lên bị cản trở bởi một lớp màng từ, và electron có spin hướng xuống sẽ bị cản trở bởi lớp màng từ còn lại, kết quả là điện trở thu được rất lớn.

Trong khi đó, các màng mỏng từ dùng trong bộ dẫn động gồm cả màng mỏng từ cứng và màng mỏng từ mềm. Các vật liệu thường dùng là SmCo83/17, CoP.



Hình 4.3 Bộ dẫn động trong HDD

4.2 Ứng dụng trong đĩa từ (platter)

Như tên cho thấy, phương tiện màng mỏng bao gồm một lớp rất mỏng của vật liệu từ tính được áp dụng cho bề mặt của đĩa từ (platter) trong HDD. Các kỹ thuật sản xuất đặc biệt được tuyển chọn để lắng đọng vật liệu truyền thông trên đĩa từ. Một phương pháp là mạ điện (electroplating), phương pháp này lắng đọng các vật liệu trên đĩa từ bằng cách sử dụng một quá trình tương tự như được sử dụng trong mạ đồ trang sức. Một phương pháp khác là phún xạ (sputtering), sử dụng một quá trình hơi-lắng đọng để lắng đọng một lớp cực mỏng các vật liệu từ tính trên bề mặt. Phún xạ lên đĩa từ có lợi thế là có một bề mặt phẳng hơn và đồng nhất hơn mạ. Do nhu cầu gia tăng về chất lượng cao trên ổ đĩa mới hơn, phún xạ là phương pháp chủ yếu được sử dụng trên ổ đĩa mới, mặc dù chi phí cao hơn của nó.

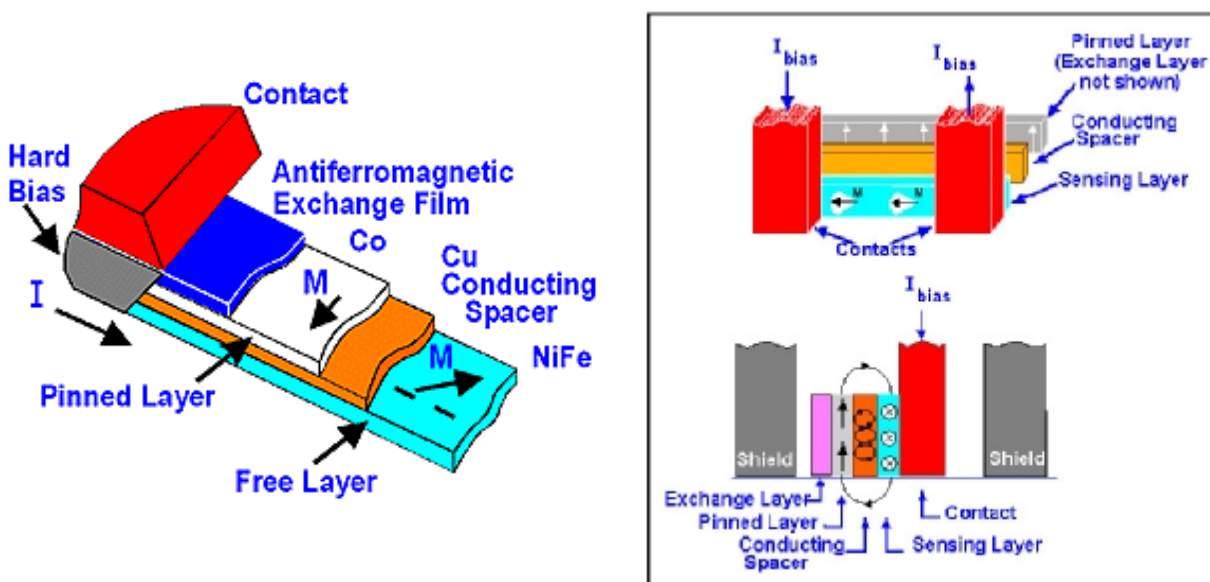
Hình 4.4 là một đĩa từ phủ màng mỏng 5.25" (phía trên) cạnh một đĩa từ phủ oxide 5.25" (phía dưới). Đĩa từ phủ màng mỏng phản xạ thật sự mạnh, chụp hình chúng giống như chụp hình của một tấm gương. Đây là lí do tại sao các công ty luôn thể hiện các ảnh đĩa cứng ở một góc.



Hình 4.4 đĩa từ phủ màng mỏng 5.25”

4.3 Ứng dụng trong đầu đọc / ghi

Màng mỏng vật liệu từ tính có thể được sử dụng cho đầu đọc/ ghi tốc độ cao trong HDD. Hiện nay các đầu đọc/ ghi chủ yếu là loại đầu đọc/ ghi sử dụng hiệu ứng GMR, trong đó cũng sử dụng một cảm biến GMR ở giữa.



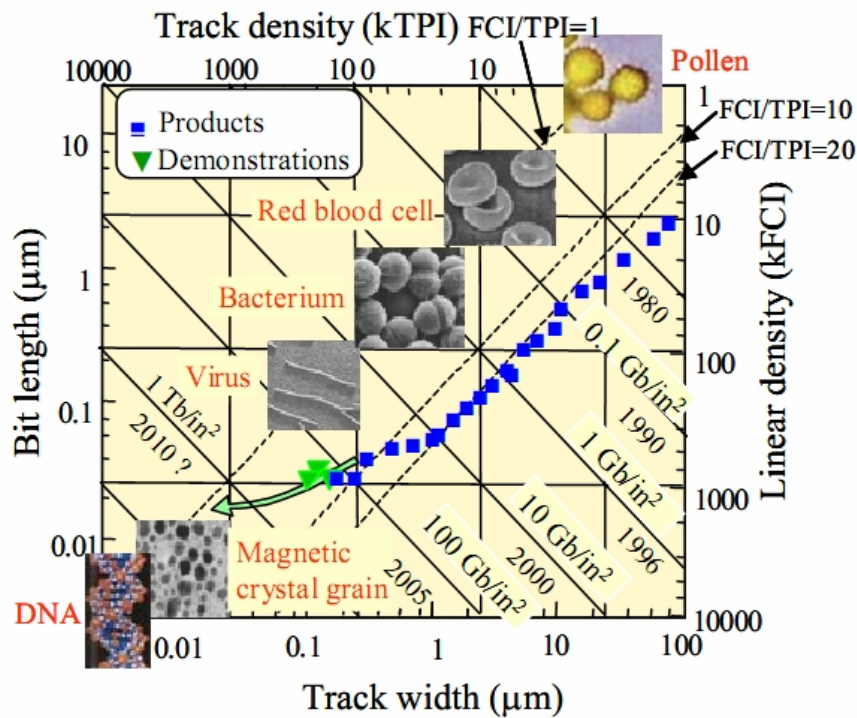
Hình 4.5 Đầu học GMR

4.4 Xu hướng phát triển

4.4.1 Phát triển các màng mỏng từ ứng dụng trong PMR

Sự ghi âm từ vuông góc (PMR) đã được sử dụng trong HDD từ 2005. Việc sử dụng HDD cho phép tăng mật độ bề mặt ghi nhiều lần so với việc ghi từ dọc. Mật độ bề mặt lên đến 230Gb/in² đã được chứng minh và tính khả thi về mật độ lên đến hàng trăm Gb/in² với PMR đang được thử nghiệm.

Lý thuyết về PMR đã được giới thiệu đầu tiên năm 1976 và từ đó kỹ thuật PMR đã được nghiên cứu trong gần 30 năm cho đến khi cuối cùng nó cũng được ứng dụng thương mại trong HDD. Một trong những then chốt trong kỹ thuật PMR, môi trường màng mỏng ghi vuông góc đã được cải tiến trong suốt thời gian qua nhằm gia tăng mật độ bề mặt.



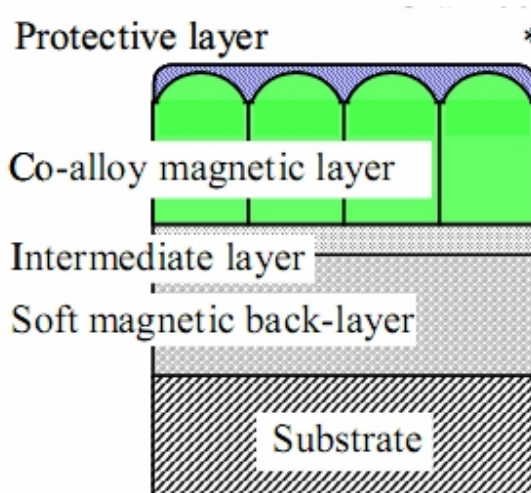
Hình 4.6 Xu hướng về kích cỡ bit từ trong HDD

4.4.2 Môi trường ghi vuông góc

Có hai loại môi trường ghi vuông góc: Một loại là môi trường vuông góc đơn lớp từ, loại này được phủ trên bề mặt, chủ yếu là qua một lớp dưới để gia tăng sự phát triển của lớp từ theo hướng dễ từ hóa vuông góc với bề mặt. Loại thứ hai là môi trường vuông góc

hai lớp từ, với loại này một lớp từ mềm được đặt dưới lớp từ ghi và nó đóng vai trò như một phần của đầu ghi trong quá trình ghi. Do đó, hiệu suất ghi được tăng lên và loại môi trường này thích hợp hơn với các ứng dụng ghi từ mật độ cao. Trong HDD thương mại, người ta sử dụng loại môi trường này.

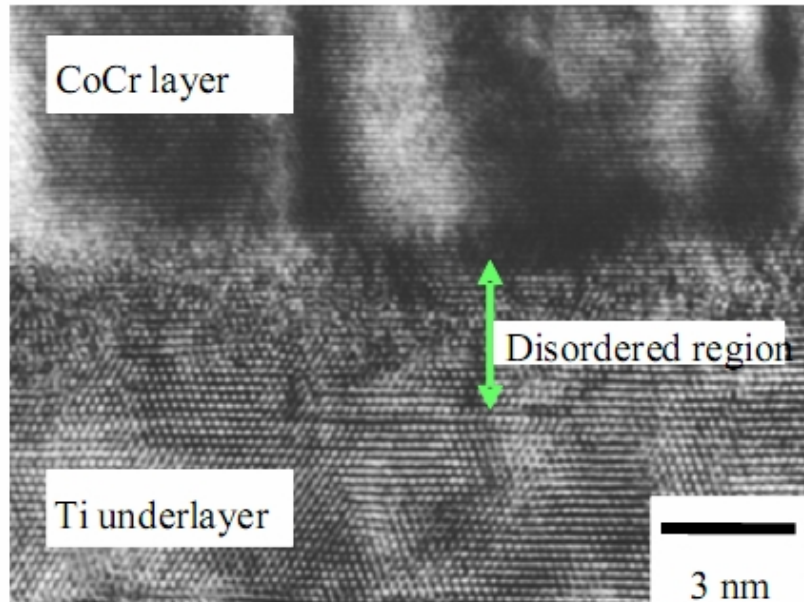
Hình bên cho thấy kỹ thuật của loại môi trường ghi vuông hai lớp từ. Hai lớp từ có tính chất từ khác nhau. Lớp ghi có tính chất từ cứng trong khi lớp dưới có tính chất từ mềm. Vì cấu trúc và tính chất từ của hai lớp này cần được tối ưu hóa cho việc ghi từ mật độ cao và cần kết hợp lại. Nói chung, một lớp trung gian sẽ được đưa vào hai lớp này và nó đóng vai trò điều khiển trực tiếp từ hóa, đường kính hạt, tính chất tinh thể của lớp ghi và đồng thời điều khiển tương tác từ giữa hai lớp từ. Sự điều khiển tương tác từ là rất quan trọng để có được môi trường ghi với đặc tính nhiễu thấp.



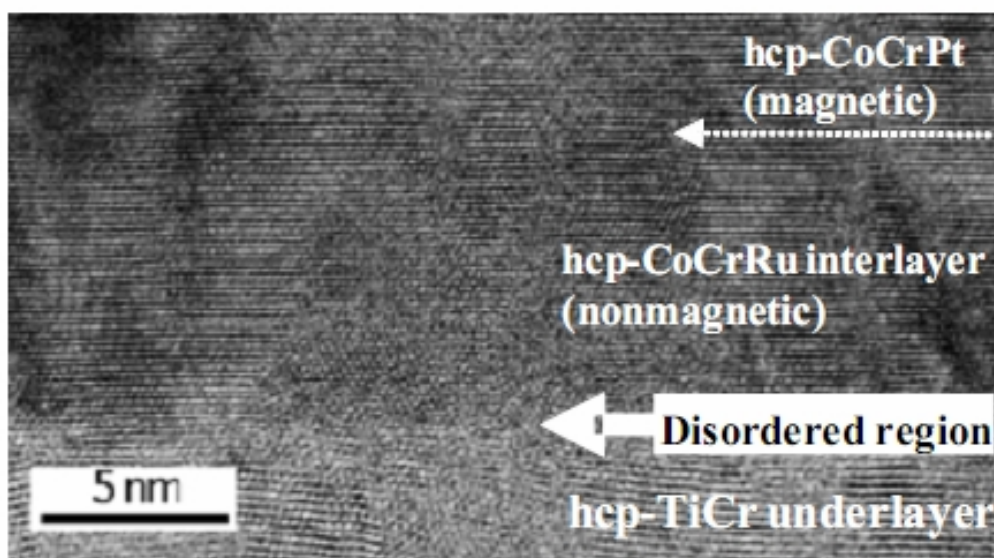
Hình 4.7 Môi trường ghi vuông góc bằng hợp chất Co

Trong loại môi trường ghi từ vuông, lớp từ trên thường là màng mỏng từ được chế tạo bởi các vật liệu từ cứng (ví dụ hợp chất của Co), còn lớp từ bên dưới là màng mỏng từ mềm. Khi tăng mật độ ghi tuyến tính, độ từ kháng vuông cần phải được tăng lên trong khi độ dày lớp ghi cần phải được làm giảm xuống để tăng cường hiệu suất ghi của đầu ghi. Khi độ dày lớp ghi giảm xuống nhỏ hơn 30 nm, độ kháng từ vuông bắt đầu giảm. Các nghiên cứu cho thấy có một vùng không trật tự rất mỏng (vài nm) ở vùng tiếp giáp giữa hai lớp. Điều này là do sự không hợp mạng giữa lớp từ ghi ở trên và lớp từ bên dưới. Để khắc phục người ta sử dụng

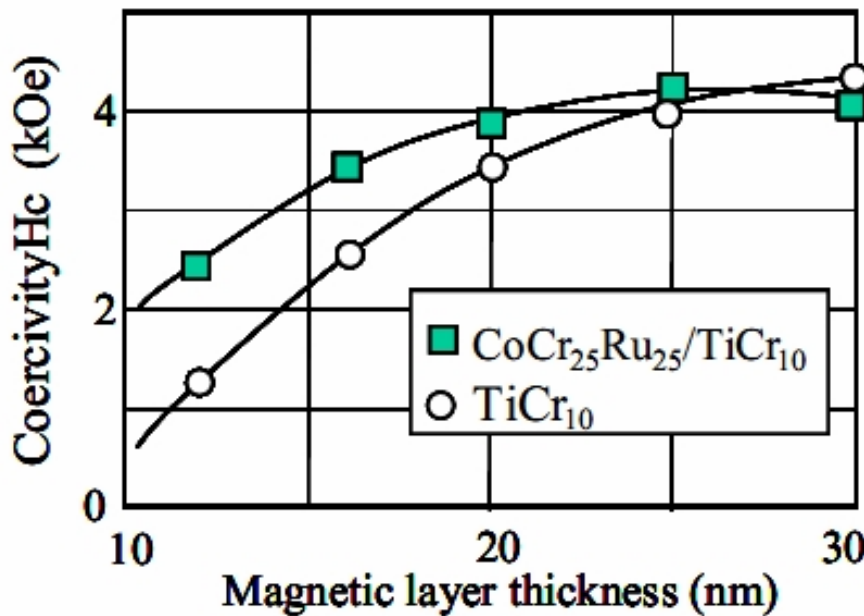
dụng các lớp trung gian không có tính chất từ để tạo thành các vùng tiếp giáp mượt hơn. Khi đó tính chất từ vuông được cải thiện, khi độ dày của lớp màng mỏng từ giảm thì độ kháng từ giảm chậm hơn so với khi chưa có lớp trung gian.



Hình 4.8 Ảnh chụp cắt ngang TEM của lớp tiếp giáp CoCr/Ti



Hình 4.9 Ảnh chụp cắt ngang TEM của lớp tiếp giáp giữa lớp dưới và lớp từ. Một lớp trung gian hợp chất CoCr hcp không có tính chất từ được thêm vào giữa lớp hợp chất Ti bên dưới và lớp màng từ hợp chất CoCr hcp ở trên.



Hình 4.10 Sự cải tiến tính chất từ vuông của lớp màng mỏng từ bằng cách thêm lớp trung gian không từ tính CoCrRu

Sự cách ly từ (magnetic isolation) và điều khiển đường kính của các hạt tinh thể của lớp ghi là cần thiết cho việc ghi từ mật độ cao nhằm tăng độ kháng từ và giảm sự nhiễu của môi trường. sự cách ly từ thu được bằng cách tách riêng các yếu tố phi từ tính ở biên tinh thể. Sự cách ly các yếu tố phi từ tính Cr dọc theo biên hạt được nhận thấy đối với các môi trường ghi phủ trên bề mặt ở nhiệt độ 230 0C. Việc thêm oxy hoặc oxide vào các lớp CoPt hoặc CoCrPt đã cho thấy là có hiệu quả trong việc tăng cường sự cách ly hạt tinh thể từ tính. Các tính chất từ vuông bao gồm tính kháng từ và tính vuông góc được cải thiện đáng kể bằng cách thêm vào các oxide như SiOx. Việc thêm SiOx vào màng CoCrPt làm tăng năng lượng tinh thể từ không đẳng hướng (magneto – crystalline anisotropy) Ku trong màng từ.

Trong các nghiên cứu gần đây, Shen và cộng sự [1] đã sử dụng màng cứng [Co/PdSi]_n màng từ mềm FeSi/O, màng trung gian PdSi => có thể tạo môi trường ghi từ với Ku cao với tính ổn định nhiệt thấp . Hoặc một nghiên cứu khác của Das và cộng sự sử dụng Ru/RuTa làm màng trung gian giữa màng từ cứng CoCrPt-SiO₂ [2] có thể làm giảm độ dày lớp màng trung gian từ đó làm giảm sự không hợp mạng giữa hai lớp.

5 KẾT LUẬN

Như vậy, xu hướng hiện nay trong phát triển màng mỏng từ là phát triển các loại vật liệu từ cứng và vật liệu từ mềm mới, cũng như tìm cách giảm kích thước của các màng mỏng mà không làm giảm đi các tính chất từ đặc biệt của màng như tính siêu từ, tính trễ từ, độ từ kháng... nhằm phát triển các ứng dụng của nó trong các lĩnh vực ghi dữ liệu từ, các cảm biến, đầu đọc/ghi...

Một vấn đề đang được tập trung nghiên cứu mạnh mẽ chính là giảm bit lưu trữ thông tin từ đôment từ xuống còn spin điện tử. Nếu thành công, khả năng lưu trữ cũng như xử lý thông tin của con người sẽ tiến một bước rất xa

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] W.K.Shen, J.M.Bai, H.Victoria, J.H.Judy, J.Wang, *Composite media for perpendicular magnetic recording, Thin Film Materials Magazine (vol 6)*, 2005.
- [2] A.Das, M.Racine, *PMR: New Alloy Designs and Layer Engineering, Thin Film Materials Magazine (vol 9)*, 2006.
- [3] M.Futamono, *Development of thin film media for high-density perpendicular magnetic recording, Journal of Optoelectronics and advanced materials (vol 8)*, 2006
- [4] H.H.Gatzen, *Magnetic material in thin films sensors and actuator, Garbsen*, 2004
- [5] D.Sellmyer, R.Skomsky, *Advanced Magnetic Nanostructure, Springer, USA*, 2006
- [6] E.Grochowski, *Emerging trends in data storage on magnetic hard disk drive*, 2006
- [7] Nguyễn Năng Định, *Vật lý và kỹ thuật màng mỏng*, ĐH công nghệ, ĐHQG Hà Nội
- [8] Fujun Yang · Hao Wang · Baoyuan Wang · Haoshuang Gu · Mingjie Zhou · Quan Li · Yong Jiang, *Thickness dependence of microstructure and magnetic properties in FePt/B4C multilayer thin films*, 2008
- [9] Jian-ping zhou, Hong-cai he, Yi zhang, Chao-yong deng, Zhan shi, Ce-wen nan, *Electric and magnetic properties of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ bilayer thin films prepared by pulsed-laser deposition*, 2007
- [10] G.H. Aydogdu, Y. Kuru, and H.-U. Habermeier, *Tuning the Magnetic and Electronic Properties of Manganite Thin Films by Epitaxial Strain*, 2005
- [11] Nguyễn Hữu Chí, *Giáo trình vật lý màng mỏng*
- [12] ROSTISLAV GRECHISHKIN, SERGEY CHIGIRINSKY, MIKHAIL GUSEV, ORPHÉE CUGAT, NORA M. DEMPSEY, *magnetic imaging films*, 2008
- [13] Gerhard Jakob, Wilhelm Westerburg, Frank Martin, aniel Reisinger, and Nicole Auth, *Magnetotransport Properties of Thin Films of Magnetic Perovskites*, 2001
- [14] Gustav Bihlmayer, Paolo Ferriani, Stephanie Baud, Marjana Lezaic, Stefan Heinze, and Stefan Blugel, *Ultra-Thin Magnetic Films and Magnetic Nanostructures on Surfaces*, 2006
- [16] PRASHANT KUMAR, M GHANASHYAM KRISHNA and A K BHATTACHARYA, *Effect of microstructural evolution on magnetic properties of Ni thin films*, 2009