

[www.mientayvn.com](http://www.mientayvn.com)

Th c m c v n i dung: thanhlam1910\_2006@yahoo.com

TÀI LIỆU ÔN THI

# PHÁT XẠ ĐIỆN TỬ

CÁC ỨNG DỤNG CỦA PHÁT XẠ ĐIỆN TỬ

BIÊN SOẠN: Phạm Thanh Tâm

TP HCM 05-2010

# MỤC LỤC

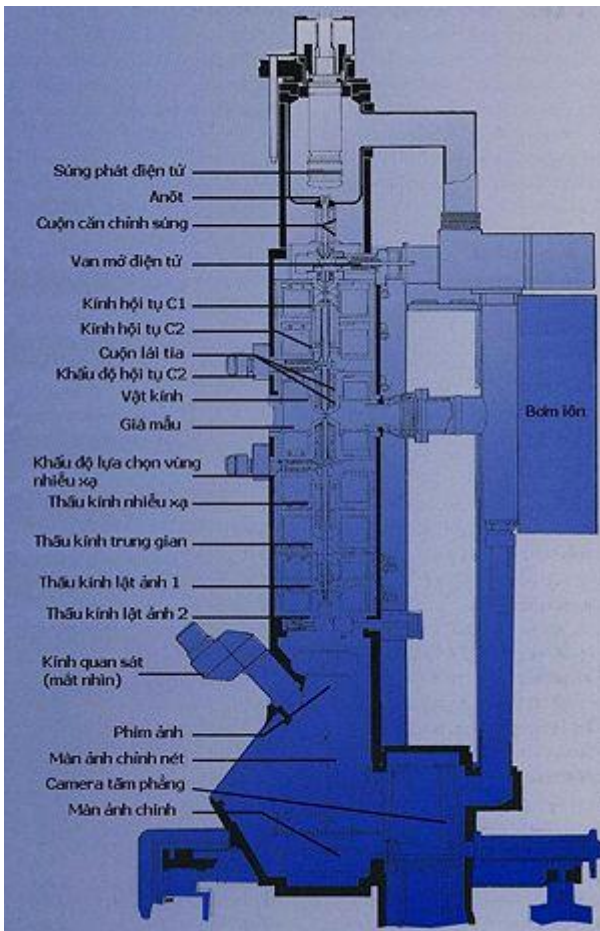
<b>1. Kính hiển vi điện tử truyền qua TEM</b>	<b>1</b>
1.1 Giới Thiệu	1
1.2 Lịch sử	1
1.3 Cấu tạo và nguyên lý làm việc của kính hiển vi điện tử truyền qua	2
1.3.1 Súng phóng điện tử	2
1.3.2 Các hệ thấu kính và lăng kính	4
1.3.3 Các khẩu độ	5
1.4 Sự tạo ảnh trong TEM	6
1.4.1 Bộ phận ghi nhận và quan sát ảnh	6
1.4.2 Điều kiện tương điểm	7
1.4.3 Ảnh trường sáng, trường tối	8
1.4.4 Ảnh hiển vi điện tử truyền qua độ phân giải cao	8
1.4.5 Ảnh cấu trúc từ	9
1.5 Xử lý mẫu và các phép phân tích trong TEM	9
1.5.1 Nhiễu xạ điện tử	10
1.5.2 Các phép phân tích tia X	10
1.5.3 Phân tích năng lượng điện tử	10
1.5.4 Xử lý mẫu cho phép đo TEM	10
1.6 Các loại kính hiển vi điện tử truyền qua hiện đại	11
1.6.1 Kính hiển vi điện tử truyền qua truyền thống (Conventional TEM - CTEM)	11
1.6.2 Kính hiển vi điện tử truyền qua quét (Scanning TEM - STEM)	11
1.6.3 Toàn ảnh điện tử	12
1.7 Ưu điểm và hạn chế của TEM	12
<b>2. Kính hiển vi điện tử quét SEM</b>	<b>13</b>
2.1 Giới Thiệu	13
2.2 Lược sử về kính hiển vi điện tử quét	13
2.3 Nguyên lý hoạt động và sự tạo ảnh trong SEM	14
2.4 Một số phép phân tích trong SEM	14
2.5 Ưu điểm của kính hiển vi điện tử quét	15
<b>3. Kính hiển vi lực nguyên tử AFM</b>	<b>16</b>
3.1 Giới Thiệu	19
3.2 Nguyên lý của AFM	19
3.3 Các chế độ ghi ảnh	20
3.3.1 Chế độ tiếp xúc (chế độ tĩnh)	20
3.3.2 Chế độ không tiếp xúc (chế độ động)	20
3.3.3 Tapping mode	20
3.4 Phân tích phổ AFM	20
3.5 Lịch sử, ưu điểm và nhược điểm của AFM	21
3.5.1 Ưu điểm của AFM	21
3.5.2 Nhược điểm của AFM	21
<b>4. Kính hiển vi quét chui hầm STM</b>	<b>22</b>
4.1 Bách khoa toàn thư mở Wikipedia	Error! Bookmark not defined.
4.2 Nguyên lý hoạt động của STM	22
4.3 Lịch sử và các dạng khác của STM	24

<b>4.4</b>	<b>Ưu điểm và nhược điểm</b>	<b>25</b>
4.4.1	Ưu điểm của STM	25
4.4.2	Nhược điểm của STM	25
<b>5.</b>	<b>Màn Hình phát xạ trường FED</b>	<b>26</b>
<b>5.1</b>	<b>Giới thiệu chung:</b>	<b>26</b>
<b>5.2</b>	<b>Cấu trúc FED và cơ chế hiển thị:</b>	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Cực phát:</b>	<b>28</b>
<b>5.4</b>	<b>Cực phát Spindt:</b>	<b>28</b>
<b>5.5</b>	<b>Cực phát CNT:</b>	<b>29</b>
<b>5.6</b>	<b>Cực phát dẫn bề mặt (SCE):</b>	<b>32</b>
<b>6.</b>	<b>Ứng Dụng phát xạ Quang Điện Tử</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Photocathode:</b>	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>Quang trở(LDR)</b>	<b>34</b>
<b>6.3</b>	<b>Pinquang điện</b>	<b>35</b>

# 1. Kính hiển vi điện tử truyền qua TEM

## 1.1 Giới Thiệu

**Kính hiển vi điện tử truyền qua** (tiếng Anh: *transmission electron microscopy*, viết tắt: TEM) là một thiết bị nghiên cứu vi cấu trúc vật rắn, sử dụng chùm điện tử có năng lượng cao chiếu xuyên qua mẫu vật rắn mỏng và sử dụng các thấu kính từ để tạo ảnh với độ phóng đại lớn (có thể tới hàng triệu lần), ảnh có thể tạo ra trên màn huỳnh quang, hay trên film quang học, hay ghi nhận bằng các máy chụp kỹ thuật số.



Sơ đồ nguyên lý của kính hiển vi điện tử truyền qua

## 1.2 Lịch sử

Kính hiển vi điện tử truyền qua TECNAI T20 ở Khoa Vật lý và Thiên văn, Đại học Glasgow

Ta biết rằng kính hiển vi quang học sử dụng ánh sáng khả kiến để quan sát các vật nhỏ, do đó độ phân giải của kính hiển vi quang học bị giới hạn bởi bước sóng ánh sáng khả kiến, và không thể cho phép nhìn thấy các vật có kích thước nhỏ hơn.

Một điện tử chuyển động với vận tốc  $v$ , sẽ có xung lượng  $p = m_0.v$ , và nó tương ứng với một sóng có bước sóng cho bởi hệ thức de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

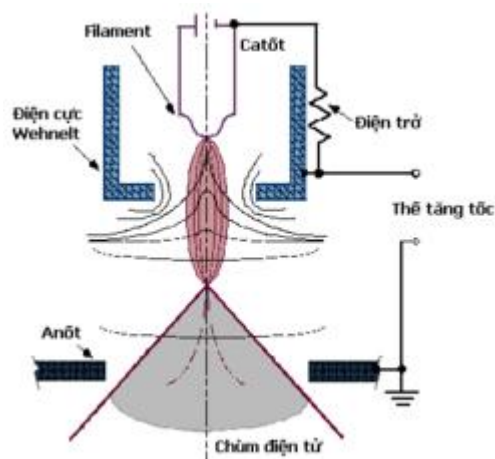
Ta thấy rằng bước sóng của điện tử nhỏ hơn rất nhiều so với bước sóng ánh sáng khả kiến nên việc sử dụng sóng điện tử thay cho sóng ánh sáng sẽ tạo ra thiết bị có độ phân giải tốt hơn nhiều kính hiển vi quang học.

Năm 1931, lần đầu tiên Ernst August Friedrich Ruska cùng với một kỹ sư điện là Max Knoll lần đầu tiên dựng nên mô hình kính hiển vi điện tử truyền qua sơ khai, sử dụng các thấu kính từ để tạo ảnh của các sóng điện tử. Thiết bị thực sự đầu tiên được xây dựng vào năm 1938 bởi Albert Presbus và James Hillier (1915-2007) ở Đại học Toronto (Canada) là một thiết bị hoàn chỉnh thực sự. Nguyên tắc tạo ảnh của TEM gần giống với kính hiển vi quang học, điểm khác quan trọng là sử dụng sóng điện tử thay cho sóng ánh sáng và thấu kính từ thay cho thấu kính thủy tinh<sup>[1], [2]</sup>.

### 1.3 Cấu tạo và nguyên lý làm việc của kính hiển vi điện tử truyền qua

Đối tượng sử dụng của TEM là chùm điện tử có năng lượng cao, vì thế các cấu kiện chính của TEM được đặt trong cột chân không siêu cao được tạo ra nhờ các hệ bơm chân không (bơm turbo, bơm iôn..).

#### 1.3.1 Súng phóng điện tử



Cấu tạo của súng phóng điện tử.

Trong TEM, điện tử được sử dụng thay cho ánh sáng (trong kính hiển vi quang học). Điện tử được phát ra từ súng phóng điện tử. Có hai cách để tạo ra chùm điện tử:

- Sử dụng nguồn phát xạ nhiệt điện tử: Điện tử được phát ra từ một catốt được đốt nóng (năng lượng nhiệt do đốt nóng sẽ cung cấp cho điện tử động năng để thoát ra khỏi liên kết với kim loại. Do bị đốt nóng nên súng phát xạ nhiệt thường có tuổi thọ không cao và độ đơn sắc của chùm điện tử thường kém. Nhưng ưu điểm của nó là rất

rẻ tiền và không đòi hỏi chân không siêu cao. Các chất phổ biến dùng làm catốt là W, Pt, LaB<sub>6</sub>...

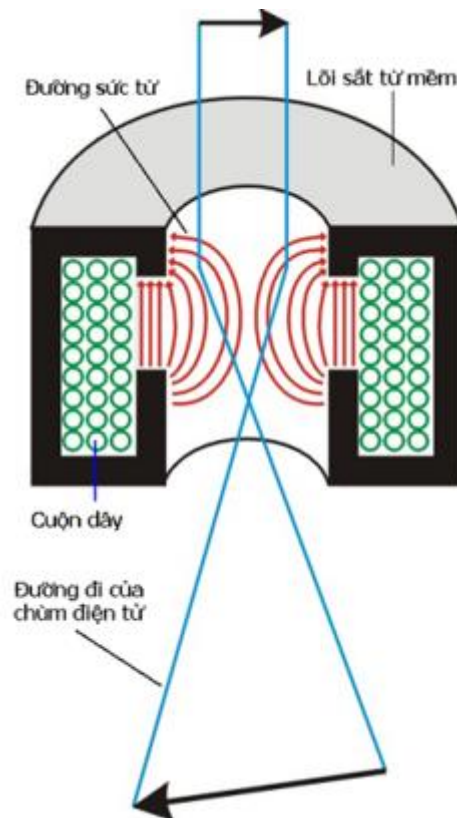
- Sử dụng súng phát xạ trường (Field Emission Gun, các TEM sử dụng nguyên lý này thường được viết là *FEG TEM*): Điện tử phát ra từ catốt nhờ một điện thế lớn đặt vào vì thế nguồn phát điện tử có tuổi thọ rất cao, cường độ chùm điện tử lớn và độ đơn sắc rất cao, nhưng có nhược điểm là rất đắt tiền và đòi hỏi môi trường chân không siêu cao.

Sau khi thoát ra khỏi catốt, điện tử di chuyển đến anốt rỗng và được tăng tốc dưới thế tăng tốc  $V$  (một thông số quan trọng của TEM). Lúc đó, điện tử sẽ thu được một động năng:

$$\frac{m.v^2}{2} = eV$$

Và xung lượng  $p$  sẽ được cho bởi công thức:

$$p = m_0.v = \sqrt{2m_0.e.V}$$



Nguyên lý hoạt động của một thấu kính từ trong TEM

Như vậy, bước sóng của điện tử quan hệ với thế tăng tốc  $V$  theo công thức:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0.e.V}}$$

Với thế tăng tốc  $V = 100 \text{ kV}$ , ta có bước sóng điện tử là  $0,00386 \text{ nm}$ . Nhưng với thế tăng tốc cỡ  $200 \text{ kV}$  trở nên, vận tốc của điện tử trở nên đáng kể so với vận tốc ánh sáng, và khối lượng của điện tử thay đổi đáng kể, do đó phải tính theo công thức tổng quát (có hiệu ứng tương đối tính):

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \cdot e \cdot V}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{eV}{2 \cdot m_0 \cdot c^2}}}$$

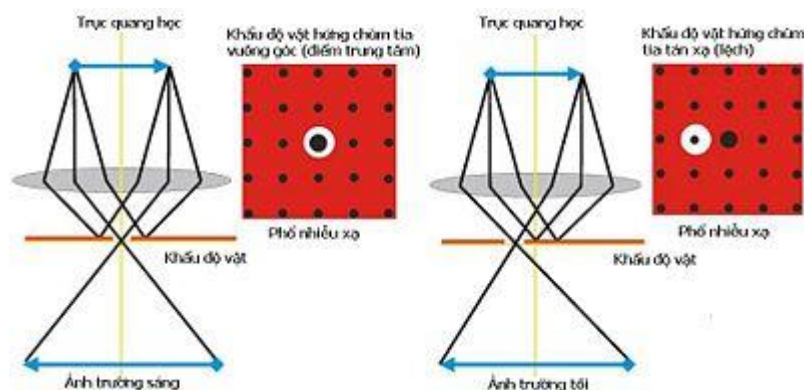
### 1.3.2 Các hệ thấu kính và lăng kính

Vì trong TEM sử dụng chùm tia điện tử thay cho ánh sáng khả kiến nên việc điều khiển sự tạo ảnh không còn là thấu kính thủy tinh nữa mà thay vào đó là các thấu kính từ. Thấu kính từ thực chất là một nam châm điện có cấu trúc là một cuộn dây cuốn trên lõi làm bằng vật liệu từ mềm. Từ trường sinh ra ở khe từ sẽ được tính toán để có sự phân bố sao cho chùm tia điện tử truyền qua sẽ có độ lệch thích hợp với từng loại thấu kính. Tiêu cự của thấu kính được điều chỉnh thông qua từ trường ở khe từ, có nghĩa là điều khiển cường độ dòng điện chạy qua cuộn dây. Vì có dòng điện chạy qua, cuộn dây sẽ bị nóng lên do đó cần được làm lạnh bằng nước hoặc nitơ lỏng. Trong TEM, có nhiều thấu kính có vai trò khác nhau:

- **Hệ kính hội tụ và tạo chùm tia song song** (*Condensed lens*)

Đây là hệ thấu kính có tác dụng tập trung chùm điện tử vừa phát ra khỏi súng phóng và điều khiển kích thước cũng như độ hội tụ của chùm tia. Hệ hội tụ C1 có vai trò điều khiển chùm tia vừa phát ra khỏi hệ phát điện tử được tập trung vào quỹ đạo của trục quang học. Khi truyền đến hệ C2, chùm tia sẽ được điều khiển sao cho tạo thành chùm song song (cho các CTEM) hoặc thành chùm hội tụ hẹp (cho các STEM, hoặc nhiều xạ điện tử chùm tia hội tụ) nhờ việc điều khiển dòng qua thấu kính hoặc điều khiển độ lớn của khẩu độ hội tụ C2.

- **Vật kính** (*Objective lens*)



Nguyên lý ghi ảnh trường sáng và trường tối trong TEM

Là thấu kính ghi nhận chùm điện tử đầu tiên từ mẫu vật và luôn được điều khiển sao cho vật sẽ ở vị trí có khả năng lấy nét khi độ phóng đại của hệ được thay đổi. Vật kính có vai trò tạo ảnh, việc điều chỉnh lấy nét được thực hiện bằng cách thay đổi dòng điện chạy qua cuộn dây, qua đó làm thay đổi tiêu cự của thấu kính.



- **Thấu kính nhiễu xạ** (*Diffraction lens*)

Có vai trò hội tụ chùm tia nhiễu xạ từ các góc khác nhau và tạo ra ảnh nhiễu xạ điện tử trên mặt phẳng tiêu của thấu kính.

- **Thấu kính Lorentz** (*Lorentz lens, twin lens*)

Được sử dụng trong kính hiển vi Lorentz để ghi ảnh cấu trúc từ của vật rắn. Thấu kính Lorentz khác vật kính thông thường ở việc nó có tiêu cự lớn hơn và vị trí lấy nét (*in focus*) là vị trí mà các chùm tia điện tử truyền qua hội tụ tại mặt phẳng tiêu sau, trùng với mặt phẳng khẩu độ vật kính. Thấu kính Lorentz thường bị đặt xa để đủ khả năng ghi góc lệch do từ tính (vốn rất nhỏ).

- **Thấu kính phóng đại** (*Magnifying lens, intermediate lens*)

Là hệ thấu kính sau vật kính, và độ phóng đại của hệ được thay đổi bằng cách thay đổi tiêu cự của thấu kính.

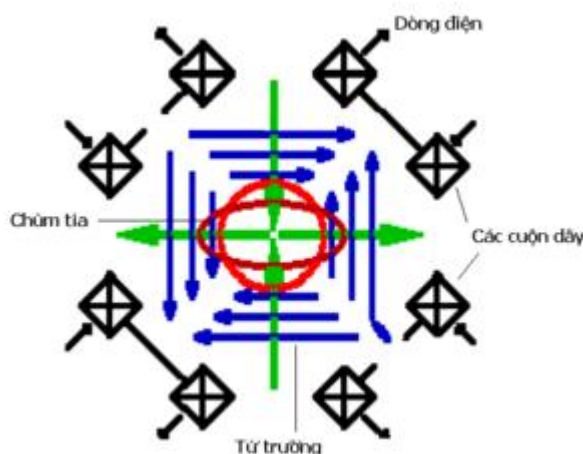
Ngoài ra, trong TEM còn có các hệ lăng kính có tác dụng bẻ đường đi của điện tử để lật ảnh hoặc điều khiển việc ghi nhận điện tử trong các phép phân tích khác nhau.

### 1.3.3 Các khẩu độ

Là hệ thống các màn chắn có lỗ với độ rộng có thể thay đổi nhằm thay đổi các tính chất của chùm điện tử như khả năng hội tụ, độ rộng, lựa chọn các vùng nhiễu xạ của điện tử...

- **Khẩu độ hội tụ** (*Condenser Aperture*)

Là hệ khẩu độ được dùng cùng với hệ thấu kính hội tụ, có tác dụng điều khiển sự hội tụ của chùm tia điện tử, thay đổi kích thước chùm tia và góc hội tụ của chùm tia, thường mang ký hiệu C1 và C2.



Nguyên lý của điều chỉnh điều kiện tương đối.

- **Khẩu độ vật** (*Objective Aperture*)

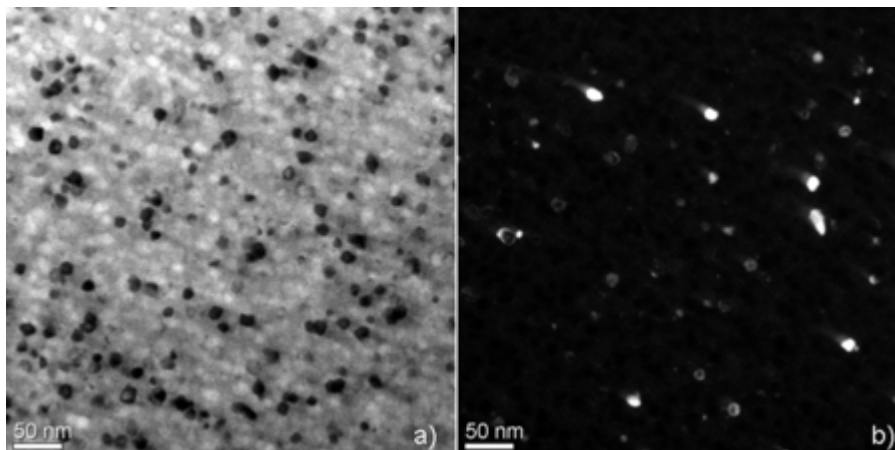
Được đặt phía bên dưới vật có tác dụng hứng chùm tia điện tử vừa xuyên qua mẫu vật nhằm: thay đổi độ tương phản của ảnh, hoặc lựa chọn chùm tia ở các góc lệch khác nhau (khi điện tử bị tán xạ khi truyền qua vật).


- **Khẩu độ lựa chọn vùng**(*Selected Area Aperture*)

Được dùng để lựa chọn diện tích vùng mẫu vật sẽ ghi ảnh nhiều xạ điện tử, được dùng khi sử dụng kỹ thuật nhiều xạ điện tử lựa chọn vùng.

## 1.4 Sự tạo ảnh trong TEM

Xét trên nguyên lý, ảnh của TEM vẫn được tạo theo các cơ chế quang học, nhưng tính chất ảnh tùy thuộc vào từng chế độ ghi ảnh. Điểm khác cơ bản của ảnh TEM so với ảnh quang học là độ tương phản khác so với ảnh trong kính hiển vi quang học và các loại kính hiển vi khác. Nếu như ảnh trong kính hiển vi quang học có độ tương phản chủ yếu đem lại do hiệu ứng hấp thụ ánh sáng thì độ tương phản của ảnh TEM lại chủ yếu xuất phát từ khả năng tán xạ điện tử. Các chế độ tương phản trong TEM:



 Ảnh trường sáng (a) và trường tối mẫu hợp kim FeSiBNbCu.

- **Tương phản biên độ:** Đem lại do hiệu ứng hấp thụ điện tử (do độ dày, do thành phần hóa học) của mẫu vật.
- **Tương phản pha:** Có nguồn gốc từ việc các điện tử bị tán xạ dưới các góc khác nhau.
- **Tương phản nhiều xạ:** Liên quan đến việc các điện tử bị tán xạ theo các hướng khác nhau do tính chất của vật rắn tinh thể.

### 1.4.1 Bộ phận ghi nhận và quan sát ảnh

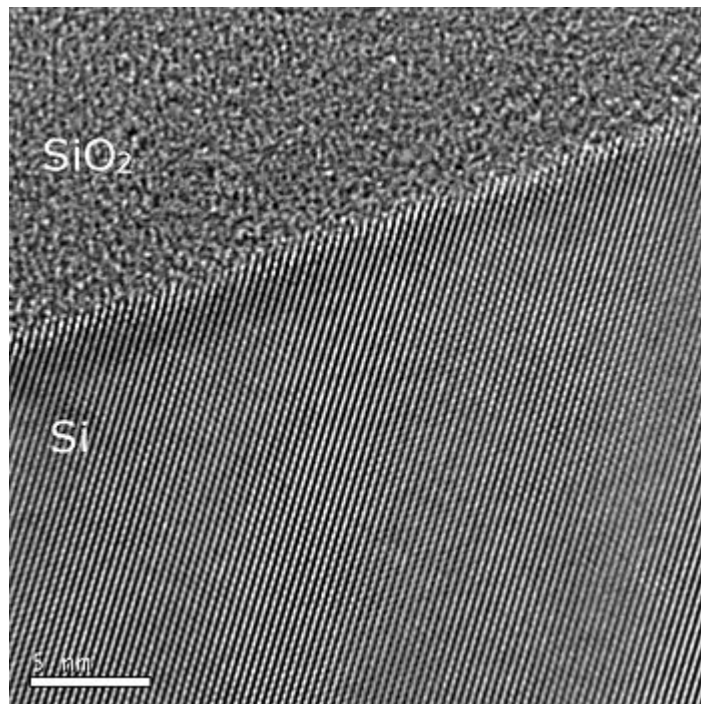
Khác với kính hiển vi quang học, TEM sử dụng chùm điện tử thay cho nguồn sáng khả kiến nên cách quan sát ghi nhận cũng khác. Để quan sát ảnh, các dụng cụ ghi nhận phải là các thiết bị chuyên đổi tín hiệu, hoạt động dựa trên nguyên lý ghi nhận sự tương tác của điện tử với chất rắn.


- **Màn huỳnh quang và phim quang học**

Là dụng cụ ghi nhận điện tử dựa trên nguyên lý phát quang của chất phủ trên bề mặt. Trên bề mặt của màn hình, người ta phủ một lớp vật liệu huỳnh quang. Khi điện tử va đập vào màn hình, vật liệu sẽ phát quang và ảnh được ghi nhận thông qua ánh sáng phát quang này. Cũng tương tự nguyên lý này, người ta có thể sử dụng phim ảnh để ghi lại ảnh và ảnh ban đầu được lưu dưới dạng phim âm bản và sẽ được tráng rửa sau khi sử dụng.

- **CCD Camera (*Charge-couple Device Camera*)**

### 1.4.2 Điều kiện tương điểm



 Ảnh hiển vi điện tử độ phân giải cao chụp lớp phân cách Si/SiO<sub>2</sub>, có thể thấy các lớp nguyên tử Si

Điều kiện tương điểm có nguyên lý giống như điều kiện tương điểm trong quang học, tức là điều kiện để ảnh của một vật phẳng nằm trên một mặt phẳng. Trong TEM, điều kiện tương điểm liên quan đến việc điều chỉnh cân bằng các chùm tia và các hệ thấu kính.

- **Điều kiện tương điểm hệ hội tụ (*Condenser Astigmatism*)**

Là việc điều chỉnh hệ thấu kính hội tụ sao cho chùm tia có tính chất đối xứng trục quang học. Khi quang sát trên màn ảnh, chùm tia phải có hình tròn và hội tụ đồng tâm tại một điểm (khi mở rộng và thu hẹp). Nguyên lý của việc điều chỉnh này là điều chỉnh sự cân bằng của từ trường sinh ra trong các cuộn dây của thấu kính hội tụ.

- **Điều kiện tương điểm vật (*Objective Astigmatism*)**

Là việc điều chỉnh vật kính sao cho mặt phẳng của mẫu vật song song với mặt phẳng quang học của vật kính, sao cho các chùm tia xuất phát từ các điểm trên cùng một mặt phẳng sẽ hội tụ tại một mặt phẳng song song với vật.

- **Điều kiện tương điểm nhiễu xạ** (*Diffraction Astigmatism*)

Tương điểm nhiễu xạ là điều chỉnh cho trục quang học của chùm tia trùng với trục quang học của quang hệ. Khi đó, vân nhiễu xạ trung tâm trên mặt phẳng tiêu của vật kính sẽ phải đối xứng đồng tâm qua trục quang học, và sẽ nằm đúng trên mặt phẳng của khẩu độ vật kính.

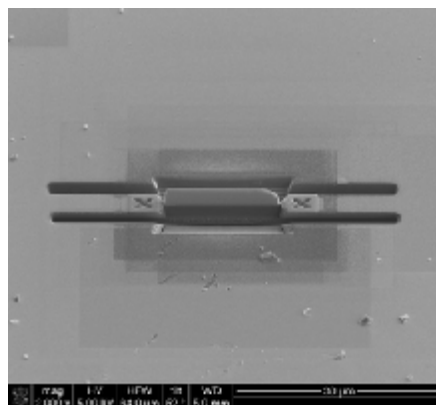
Ảnh hưởng của tính tương điểm lên chất lượng ảnh ở điều kiện độ phóng đại thấp là rất nhỏ, nhưng khi tăng độ phóng đại đến cỡ lớn (cỡ trên 50 ngàn lần) thì ảnh hưởng của tính tương điểm trở nên rõ rệt. Khi đó, nếu quang hệ không thỏa mãn tính chất tương điểm sẽ có thể dẫn đến việc ảnh có thể bị bóp méo, không thể lấy nét hoặc độ phân giải rất kém. Đặc biệt ở chế độ ghi ảnh có độ phân giải cao, yêu cầu về độ tương điểm càng lớn.

### 1.4.3 Ảnh trường sáng, trường tối

Là chế độ ghi ảnh phổ thông của các TEM dựa trên nguyên lý ghi nhận các chùm tia bị lệch đi với các góc (nhỏ) khác nhau sau khi truyền qua mẫu vật.

- **Ảnh trường sáng** (*Bright-field imaging*): Là chế độ ghi ảnh mà khẩu độ vật kính sẽ được đưa vào để hứng chùm tia truyền theo hướng thẳng góc. Như vậy, các vùng mẫu cho phép chùm tia truyền thẳng góc sẽ sáng và các vùng gây ra sự lệch tia sẽ bị sáng. Ảnh trường sáng về mặt cơ bản có độ sáng lớn.
- **Ảnh trường tối** (*Dark-field imaging*): Là chế độ ghi ảnh mà chùm tia sẽ bị chiếu lệch góc sao cho khẩu độ vật kính sẽ hứng chùm tia bị lệch một góc nhỏ (việc này được thực hiện nhờ việc tạo phổ nhiễu xạ trước đó, mỗi vạch nhiễu xạ sẽ tương ứng với một góc lệch). Ảnh thu được sẽ là các các đốm sáng trắng trên nền tối. Nền sáng tương ứng với các vùng mẫu có góc lệch được chọn, nền tối là từ các vùng khác. Ảnh trường tối rất nhạy với cấu trúc tinh thể và cho độ sắc nét từ các hạt tinh thể cao.

### 1.4.4 Ảnh hiển vi điện tử truyền qua độ phân giải cao



Xử lý mẫu màng mỏng chụp cắt ngang bằng chùm ion hội tụ

Là một trong những tính năng mạnh của kính hiển vi điện tử truyền qua, cho phép quan độ phân giải từ các lớp tinh thể của chất rắn. Trong thuật ngữ khoa học, ảnh hiển vi điện tử độ phân giải cao thường được viết tắt là HRTEM (là chữ viết tắt *High-Resolution Transmission Electron Microscopy*). Chế độ HRTEM chỉ có thể thực hiện được khi:

- Kính hiển vi có khả năng thực hiện việc ghi ảnh ở độ phóng đại lớn.
- Quang sai của hệ đồ nhỏ cho phép (liên quan đến độ đơn sắc của chùm tia điện tử và sự hoàn hảo của các hệ thấu kính).
- Việc điều chỉnh tương điểm phải đạt mức tối ưu.
- Độ dày của mẫu phải đủ mỏng (thường dưới 70 nm).

HRTEM là một công cụ mạnh để nghiên cứu cấu trúc tinh thể của các vật liệu rắn.

*Xem bài chi tiết: Hiển vi điện tử truyền qua độ phân giải cao*

#### 1.4.5 Ảnh cấu trúc từ

Đối với các mẫu có từ tính, khi điện tử truyền qua sẽ bị lệch đi do tác dụng của lực Lorentz và việc ghi lại ảnh theo cơ chế này sẽ cung cấp các thông tin liên quan đến cấu trúc từ và cho phép nghiên cứu các tính chất từ vi mô của vật liệu. Chế độ ghi ảnh này đã phát triển thành hai kiểu:

- Kính hiển vi Lorentz.
- Toàn ảnh điện tử

Ưu điểm của TEM là cho phép ghi ảnh với độ phân giải cao và có độ nhạy cao với sự thay đổi cấu trúc nên các chế độ ghi ảnh từ tính cũng là các công cụ mạnh trong các nghiên cứu về vi từ.

### 1.5 Xử lý mẫu và các phép phân tích trong TEM



Ảnh chụp kính hiển vi điện tử truyền qua đầu tiên xây dựng bởi Ernst Ruska lưu giữ trong bảo tàng [Đức](#).

### 1.5.1 Nhiễu xạ điện tử

Nhiễu xạ điện tử là một phép phân tích mạnh của TEM. Khi điện tử truyền qua mẫu vật, các lớp tinh thể trong vật rắn đóng vai trò như các cách tử nhiễu xạ và tạo ra hiện tượng nhiễu xạ trên tinh thể. Đây là một phép phân tích cấu trúc tinh thể rất mạnh.

*Xem bài chi tiết: Nhiễu xạ điện tử*

### 1.5.2 Các phép phân tích tia X

Nguyên lý của các phép phân tích tia X là dựa trên hiện tượng chùm điện tử có năng lượng cao tương tác với các lớp điện tử bên trong của vật rắn dẫn đến việc phát ra các tia X đặc trưng liên quan đến thành phần hóa học của chất rắn. Do đó, các phép phân tích này rất hữu ích để xác định thành phần hóa học của chất rắn. Có một số phép phân tích như:

- Phổ tán sắc năng lượng tia X (*Energy Dispersive Spectroscopy - EDS, hay EDX*)
- Phổ huỳnh quang tia X (*X-ray Luminescent Spectroscopy*)
- ...

### 1.5.3 Phân tích năng lượng điện tử

Các phép phân tích này liên quan đến việc chùm điện tử sau khi tương tác với mẫu truyền qua sẽ bị tổn hao năng lượng (Phổ tổn hao năng lượng điện tử - Electron Energy Loss Spectroscopy, EELS), hoặc phát ra các điện tử thứ cấp (Phổ Auger) hoặc bị tán xạ ngược. Các phổ này cho phép nghiên cứu phân bố các nguyên tố hóa học, các liên kết hóa học hoặc các cấu trúc điện tử...

### 1.5.4 Xử lý mẫu cho phép đo TEM

Vì sử dụng chế độ điện tử đâm xuyên qua mẫu vật nên mẫu vật quan sát trong TEM luôn phải đủ mỏng. Xét trên nguyên tắc, TEM bắt đầu ghi nhận được ảnh với các mẫu có chiều dày dưới 500 nm, tuy nhiên, ảnh chỉ trở nên có chất lượng tốt khi mẫu mỏng dưới 150 nm. Vì thế, việc xử lý (tạo mẫu mỏng) cho phép đo TEM là cực kỳ quan trọng.

- **Phương pháp truyền thống**

Phương pháp truyền thống là sử dụng hệ thống mài cắt cơ học. Mẫu vật liệu được cắt ra thành các đĩa tròn (có kích thước đủ với giá mẫu) và ban đầu được mài mỏng đến độ dày dưới 10  $\mu\text{m}$  (cho phép ánh sáng khả kiến truyền qua). Tiếp đó, việc mài đến độ dày thích hợp được thực hiện nhờ thiết bị mài bằng chùm iôn, sử dụng các iôn khí hiếm (được gia tốc với năng lượng dưới 10 kV) bắn phá đến độ dày thích hợp. Cách thức xử lý này tốn nhiều thời gian và đòi hỏi mức độ tỉ mỉ rất cao.

- **Sử dụng kỹ thuật chùm iôn hội tụ**

Kỹ thuật chùm iôn hội tụ là thực hiện việc xử lý mẫu trên thiết bị cùng tên. Người ta dùng một chùm iôn (của kim loại lỏng, thường là Ga), được gia tốc tới năng lượng cao (cỡ 30 - 50 kV) được hội tụ thành một chùm rất nhỏ và được điều khiển nhờ hệ thấu kính điện từ để cắt ra các lát mỏng, hàn gắn trên giá mẫu và mài mỏng đến mức

độ đủ mỏng. Các công việc được tiến hành nhờ điều khiển bằng máy tính và trong chân không cao. Phép xử lý này tiến hành rất nhanh và có thể cho mẫu rất mỏng, nhưng đôi khi mẫu bị nhiễm bẩn từ các iôn Ga.

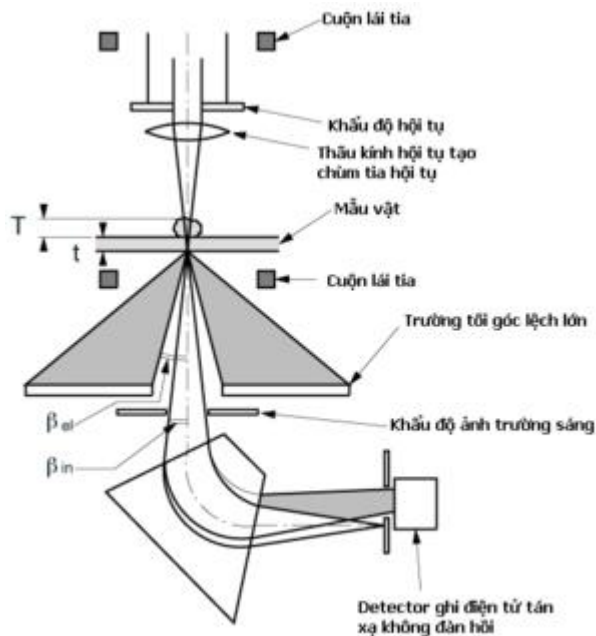
Xem bài chi tiết: Chùm iôn hội tụ

## 1.6 Các loại kính hiển vi điện tử truyền qua hiện đại

### 1.6.1 Kính hiển vi điện tử truyền qua truyền thống (Conventional TEM - CTEM)

Kính hiển vi điện tử truyền qua truyền thống (thường được viết tắt là **CTEM**, từ tên gọi *Conventional Transmission Electron Microscope*) là kính hiển vi điện tử truyền qua thông thường, sử dụng chùm điện tử song song chiếu xuyên qua mẫu vật. Vì chùm điện tử là song song nên góc tán xạ của điện tử khi truyền qua mẫu là nhỏ do đó các phép phân tích bị hạn chế.

### 1.6.2 Kính hiển vi điện tử truyền qua quét (Scanning TEM - STEM)



Nguyên lý của STEM: Sử dụng một chùm điện tử hẹp quét trên mẫu.

Kính hiển vi điện tử truyền qua quét là một loại kính hiển vi điện tử truyền qua nhưng khác với CTEM là chùm điện tử truyền qua mẫu là một chùm điện tử được hội tụ thành một chùm hẹp và được quét trên mẫu. Nhờ việc điều khiển khẩu độ và thấu kính hội tụ, chùm điện tử có thể hội tụ thành một chùm tia có kích thước rất hẹp (các STEM mạnh hiện nay có thể cho kích thước tới dưới 1 nm) do đó cho phép ghi ảnh với độ phân giải rất cao. Hơn nữa, vì chùm điện tử là hội tụ, nên góc tán xạ của điện tử sau khi truyền qua mẫu sẽ rất lớn và tạo ra nhiều phép phân tích mạnh, ví dụ như phép ghi ảnh trường tối với góc lệch vành khuyên lớn (*High-annular dark-field imaging - HAADF*), khả năng phân tích phân bố các nguyên tố với độ phân giải cực cao nhờ phép phân tích phổ tổn hao năng lượng điện tử (EELS) thực hiện đồng thời với quá trình ghi ảnh. Hơn nữa, ảnh độ phân giải cao trực tiếp liên quan đến nguyên tử khối của các nguyên tố, do đó rất hữu ích cho việc phân tích sự phân bố của các nguyên tố hóa học<sup>[3]</sup>. (xem bài chi tiết Kính hiển vi điện tử truyền qua quét)

STEM lần đầu được xây dựng năm 1938 bởi Manfred von Ardenne của công ty Siemens (Berlin, Đức) chỉ sau một thời gian TEM xuất hiện, nhưng hầu như không thể phát triển do việc khó khăn trong việc hội tụ chùm điện tử có tính đơn sắc kém vào điểm nhỏ. Tuy nhiên, phải đến năm 1970 STEM mới thực sự phát triển nhờ việc tạo ra chùm điện tử có độ đơn sắc cao nhờ súng phát xạ trường (FEG). Cho đến hiện nay, STEM là công cụ mạnh để ghi ảnh với độ phân giải tới cấp nguyên tử<sup>[4]</sup>. Trong những nghiên cứu phát triển STEM hiện nay, mục tiêu loại trừ quang sai (do tính không hoàn toàn đơn sắc của chùm điện tử) đang là vấn đề cấp bách để đạt được các STEM có độ phân giải cực lớn. Nhiều dự án xây dựng các STEM mạnh đang được phát triển dựa trên mục tiêu này và người ta đang xây dựng những STEM có khả năng phân giải cao, gọi là SuperSTEM<sup>[5]</sup>.

### 1.6.3 Toàn ảnh điện tử

*Xem bài chi tiết: Toàn ảnh điện tử*

Là một thiết bị nghiên cứu cấu trúc điện tử của vật rắn dựa trên cấu trúc của kính hiển vi điện tử truyền qua. Toàn ảnh điện tử dựa trên việc ghi lại ảnh toàn ký của chùm điện tử truyền qua vật được giao thoa với chùm điện tử mẫu, đưa đến các thông tin về cấu trúc từ với độ phân giải không gian rất cao.

## 1.7 Ưu điểm và hạn chế của TEM

Dù được phát triển từ rất lâu, nhưng đến thời điểm hiện tại, TEM vẫn là một công cụ nghiên cứu mạnh và hiện đại trong nghiên cứu về cấu trúc vật rắn, được sử dụng rộng rãi trong vật lý chất rắn, khoa học vật liệu, công nghệ nano, hóa học, sinh học, y học... và vẫn đang trong quá trình phát triển với nhiều tính năng và độ mạnh mới.

### • Điểm mạnh của TEM

- Có thể tạo ra ảnh cấu trúc vật rắn với độ tương phản, độ phân giải (kể cả không gian và thời gian) rất cao đồng thời dễ dàng thông dịch các thông tin về cấu trúc. Khác với dòng kính hiển vi quét đầu dò, TEM cho ảnh thật của cấu trúc bên trong vật rắn nên đem lại nhiều thông tin hơn, đồng thời rất dễ dàng tạo ra các hình ảnh này ở độ phân giải tới cấp độ nguyên tử.

- Đi kèm với các hình ảnh chất lượng cao là nhiều phép phân tích rất hữu ích đem lại nhiều thông tin cho nghiên cứu vật liệu.

### • Điểm yếu của TEM

- Đắt tiền: TEM có nhiều tính năng mạnh và là thiết bị rất hiện đại do đó giá thành của nó rất cao, đồng thời đòi hỏi các điều kiện làm việc cao ví dụ chân không siêu cao, sự ổn định về điện và nhiều phụ kiện đi kèm.

- Đòi hỏi nhiều phép xử lý mẫu phức tạp cần phải phá hủy mẫu (điều này không thích hợp với nhiều tiêu bản sinh học).

- Việc điều khiển TEM rất phức tạp và đòi hỏi nhiều bước thực hiện chính xác cao<sup>[6]</sup>.



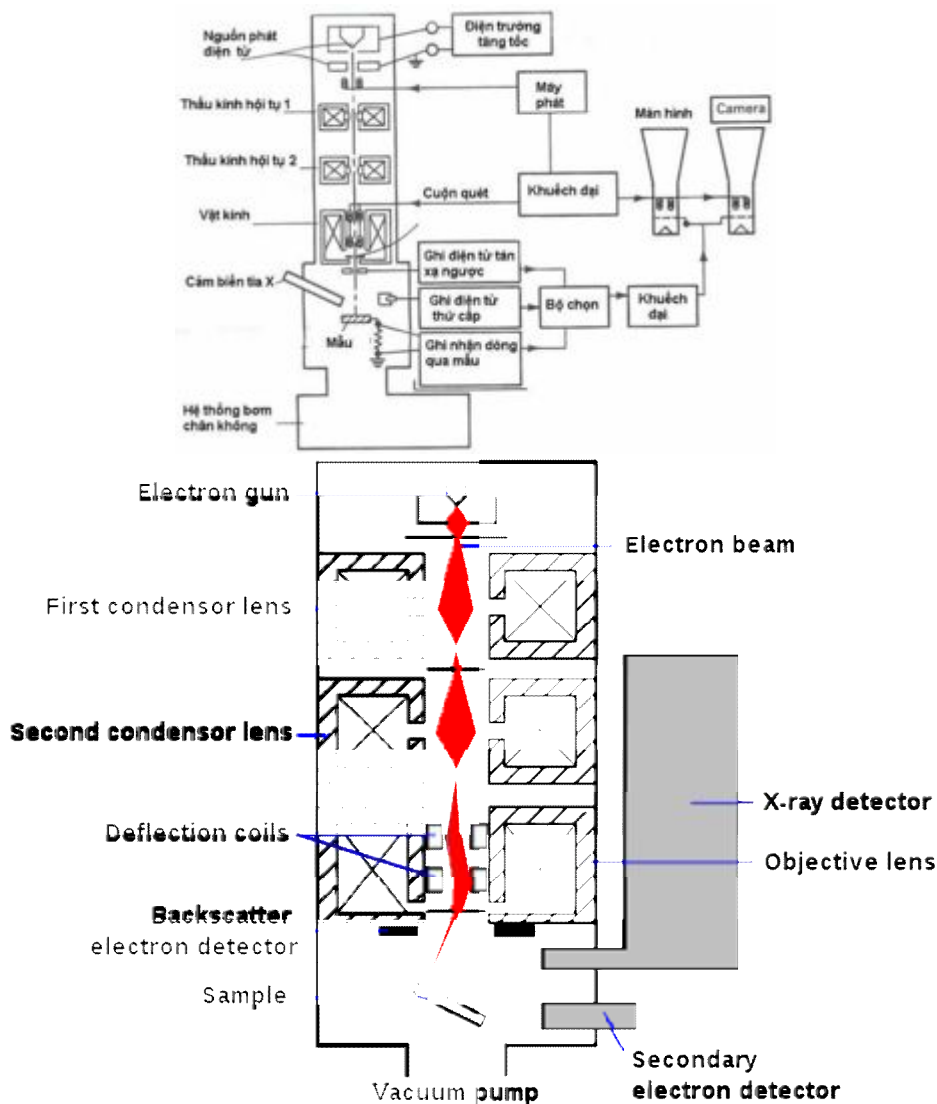
## 2. Kính hiển vi điện tử quét SEM

### 2.1 Giới Thiệu

**Kính hiển vi điện tử quét** (tiếng Anh: *Scanning Electron Microscope*, thường viết tắt là *SEM*), là một loại kính hiển vi điện tử có thể tạo ra ảnh với độ phân giải cao của bề mặt mẫu vật bằng cách sử dụng một chùm điện tử (chùm các electron) hẹp quét trên bề mặt mẫu. Việc tạo ảnh của mẫu vật được thực hiện thông qua việc ghi nhận và phân tích các bức xạ phát ra từ tương tác của chùm điện tử với bề mặt mẫu vật.

### 2.2 Lược sử về kính hiển vi điện tử quét

Kính hiển vi điện tử quét lần đầu tiên được phát triển bởi Zworykin vào năm 1942 là một thiết bị gồm một súng phóng điện tử theo chiều từ dưới lên, ba thấu kính tĩnh điện và hệ thống các cuộn quét điện tử đặt giữa thấu kính thứ hai và thứ ba, và ghi nhận chùm điện tử thứ cấp bằng một ống nhân quang điện.



Sơ đồ khối kính hiển vi điện tử quét

Năm 1948, C. W. Oatley ở Đại học Cambridge (Vương quốc Anh) phát triển kính hiển vi điện tử quét trên mô hình này và công bố trong luận án tiến sĩ của D. McMullan với chùm điện tử hẹp có độ phân giải đến 500 Angstrom. Trên thực tế, kính hiển vi điện tử quét thương phẩm đầu tiên được sản xuất vào năm 1965 bởi Cambridge Scientific Instruments Mark I.

## 2.3 Nguyên lý hoạt động và sự tạo ảnh trong SEM

Việc phát các chùm điện tử trong SEM cũng giống như việc tạo ra chùm điện tử trong kính hiển vi điện tử truyền qua, tức là điện tử được phát ra từ súng phóng điện tử (có thể là phát xạ nhiệt, hay phát xạ trường...), sau đó được tăng tốc. Tuy nhiên, thế tăng tốc của SEM thường chỉ từ 10 kV đến 50 kV vì sự hạn chế của thấu kính từ, việc hội tụ các chùm điện tử có bước sóng quá nhỏ vào một điểm kích thước nhỏ sẽ rất khó khăn. Điện tử được phát ra, tăng tốc và hội tụ thành một chùm điện tử hẹp (cỡ vài trăm Angstrom đến vài nanomet) nhờ hệ thống thấu kính từ, sau đó quét trên bề mặt mẫu nhờ các cuộn quét tĩnh điện. Độ phân giải của SEM được xác định từ kích thước chùm điện tử hội tụ, mà kích thước của chùm điện tử này bị hạn chế bởi quang sai, chính vì thế mà SEM không thể đạt được độ phân giải tốt như TEM. Ngoài ra, độ phân giải của SEM còn phụ thuộc vào tương tác giữa vật liệu tại bề mặt mẫu vật và điện tử. Khi điện tử tương tác với bề mặt mẫu vật, sẽ có các bức xạ phát ra, sự tạo ảnh trong SEM và các phép phân tích được thực hiện thông qua việc phân tích các bức xạ này. Các bức xạ chủ yếu gồm:

- Điện tử thứ cấp (Secondary electrons): Đây là chế độ ghi ảnh thông dụng nhất của kính hiển vi điện tử quét, chùm điện tử thứ cấp có năng lượng thấp (thường nhỏ hơn 50 eV) được ghi nhận bằng ống nhân quang nhấp nháy. Vì chúng có năng lượng thấp nên chủ yếu là các điện tử phát ra từ bề mặt mẫu với độ sâu chỉ vài nanomet, do vậy chúng tạo ra ảnh hai chiều của bề mặt mẫu.
- Điện tử tán xạ ngược (Backscattered electrons): Điện tử tán xạ ngược là chùm điện tử ban đầu khi tương tác với bề mặt mẫu bị bật ngược trở lại, do đó chúng thường có năng lượng cao. Sự tán xạ này phụ thuộc rất nhiều vào thành phần hóa học ở bề mặt mẫu, do đó ảnh điện tử tán xạ ngược rất hữu ích cho phân tích về độ tương phản thành phần hóa học. Ngoài ra, điện tử tán xạ ngược có thể dùng để ghi nhận ảnh nhiều xạ điện tử tán xạ ngược, giúp cho việc phân tích cấu trúc tinh thể (chế độ phân cực điện tử). Ngoài ra, điện tử tán xạ ngược phụ thuộc vào các liên kết điện tại bề mặt mẫu nên có thể đem lại thông tin về các đômên sắt điện.

## 2.4 Một số phép phân tích trong SEM

- Huỳnh quang catốt (Cathodoluminescence): Là các ánh sáng phát ra do tương tác của chùm điện tử với bề mặt mẫu. Phép phân tích này rất phổ biến và rất hữu ích cho việc phân tích các tính chất quang, điện của vật liệu.
- Phân tích phổ tia X (X-ray microanalysis): Tương tác giữa điện tử với vật chất có thể sản sinh phổ tia X đặc trưng, rất hữu ích cho phân tích thành phần hóa học của vật liệu. Các phép phân tích có thể là phổ tán sắc năng lượng tia X (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy - EDXS) hay phổ tán sắc bước sóng tia X (Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy - WDXS)...
- Một số kính hiển vi điện tử quét hoạt động ở chân không siêu cao có thể phân tích phổ điện tử Auger, rất hữu ích cho các phân tích tinh tế bề mặt.

- **SEMPA** (*Kính hiển vi điện tử quét có phân tích phân cực* tiếng Anh: *Scanning Electron Microscopy with Polarisation Analysis*) là một chế độ ghi ảnh của SEM mà ở đó, các điện tử thứ cấp phát ra từ mẫu sẽ được ghi nhận nhờ một detector đặc biệt có thể tách các điện tử phân cực spin từ mẫu, do đó cho phép chụp lại ảnh cấu trúc từ của mẫu.



Thiết bị kính hiển vi điện tử quét Jeol 5410 LV tại Trung tâm Khoa học Vật liệu, Đại học Quốc gia Hà Nội

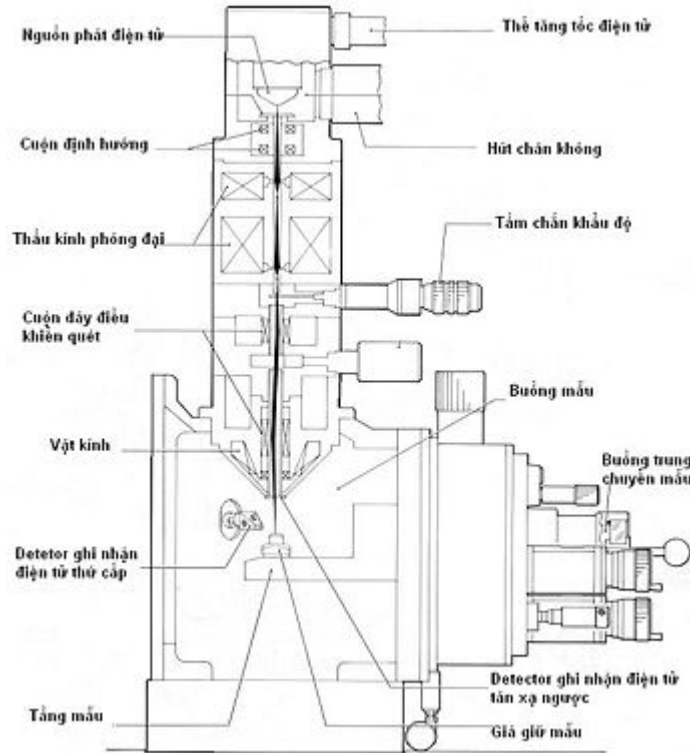
•

## 2.5 Ưu điểm của kính hiển vi điện tử quét

Mặc dù không thể có độ phân giải tốt như kính hiển vi điện tử truyền qua nhưng kính hiển vi điện tử quét lại có điểm mạnh là phân tích mà không cần phá hủy mẫu vật và có thể hoạt động ở chân không thấp. Một điểm mạnh khác của SEM là các thao tác điều khiển đơn giản hơn rất nhiều so với TEM khiến cho nó rất dễ sử dụng. Một điều khác là giá thành của SEM thấp hơn rất nhiều so với TEM, vì thế SEM phổ biến hơn rất nhiều so với TEM.

# 3. Quang khắc chùm điện tử - Electron beam lithography (EBL)

## 3.1 Giới Thiệu



Sơ đồ nguyên lý thiết bị EBL

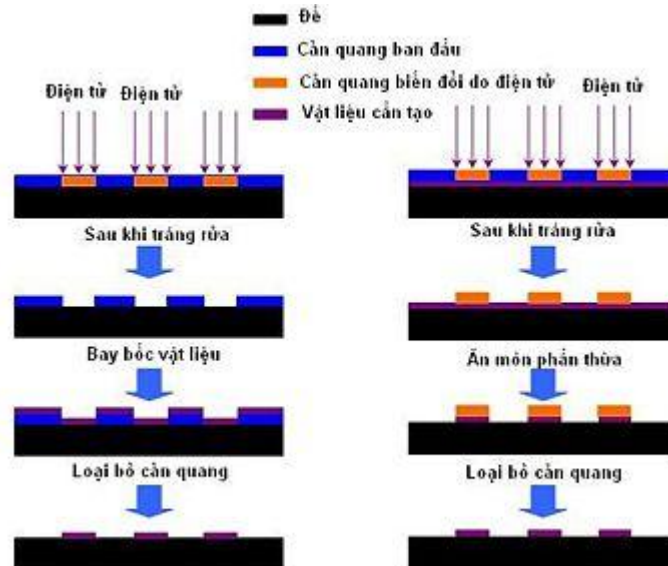
**Electron beam lithography (EBL)** là thuật ngữ tiếng Anh của công nghệ tạo các chi tiết trên bề mặt (các phiên Si...) có kích thước và hình dạng giống như thiết kế bằng cách sử dụng chùm điện tử có năng lượng cao làm biến đổi các chất cản quang phủ trên bề mặt phiên. Phương pháp này được dịch ra tiếng Việt với tên gọi không chính xác là quang khắc bằng chùm điện tử (tương tự như phương pháp quang khắc truyền thống - photolithography sử dụng ánh sáng tử ngoại để chế tạo). EBL là một công cụ phổ biến trong công nghệ nano để tạo ra các chi tiết, các linh kiện có kích thước nhỏ với độ chính xác cực cao.

## 3.2 Lịch sử của EBL

Năm 1959, Richard Feynman có bài phát biểu nổi tiếng "There is a plenty room at the bottom" tại Caltech (California Institute of Technology - Học viện Công nghệ California), được coi là mở đầu cho kỷ nguyên công nghệ nano, và chỉ hai tháng sau đó, Monllenstedt và Spiedel đã công bố công nghệ chế tạo các cấu trúc có đường kính nhỏ tới 100 nm sử dụng công nghệ khắc chùm điện tử - electron beam lithography bắt đầu bước vào cuộc chiến khoa học và công nghệ. Thực chất, công nghệ electron beam lithography chỉ phát triển thực sự từ những năm 60 của thế kỷ 20, với việc phát triển các kỹ thuật về tạo chùm điện tử hẹp, chế tạo ra các chất làm resist có tính chất biến đổi mạnh dưới tác dụng của chùm điện tử (mà phổ biến là PMMA - PolyMethylMethAcrylat hay "thủy tinh hữu cơ").

### 3.3 Nguyên lý của EBL

Bề mặt của phiến được phủ một hợp chất hữu cơ gọi là chất cản quang (*resist*), chất này nhạy cảm với điện tử chiếu vào, và bị thay đổi tính chất dưới tác dụng của chùm điện tử. Sự thay đổi có thể là nó sẽ bị hòa tan trong dung dịch tráng rửa (*developer*) hoặc không bị hòa tan trong dung dịch tráng rửa.



Nguyên lý 2 phương pháp trong EBL: kỹ thuật lift-off (trái) và kỹ thuật ăn mòn (phải)

Cấu tạo của thiết bị EBL gần giống như một kính hiển vi điện tử quét, có nghĩa là tạo chùm điện tử có năng lượng cao, sau đó khuếch đại và thu hẹp nhờ hệ thấu kính từ, rồi chiếu chùm điện tử trực tiếp lên mẫu cản tạo. Khác với quang khắc truyền thống (*photolithography*), EBL sử dụng chùm điện tử nên không cần mặt nạ tạo hình mà chiếu trực tiếp chùm điện tử lên bề mặt mẫu, và dùng các cuộn dây để quét điện tử nhằm vẽ ra các chi tiết cần tạo. Chùm điện tử của các EBL mạnh có thể có kích thước từ vài nanomet đến hàng trăm nanomet.

#### 3.3.1 Kỹ thuật lift-off

Từ *lift-off* có nghĩa là "loại bỏ". Phương pháp này tạo ra phần vật liệu sau khi được tạo hình. Có nghĩa là người ta phủ trực tiếp cản quang dương lên đế, sau đó chiếu điện tử, cản quang này bị biến đổi tính chất, và phần bị chiếu điện tử sẽ bị hòa tan trong dung dịch tráng rửa (*developer*), giống như quá trình tráng phim ảnh. Sau khi tráng rửa, ta sẽ có các khe có hình dạng của chi tiết muốn tạo. Các vật liệu cần tạo sẽ được bay bốc lên đế bằng các kỹ thuật tạo màng mỏng khác nhau, một phần nằm trong các khe đã tạo hình và một phần nằm trên bề mặt cản quang. Dùng dung môi hữu cơ, hòa tan phần cản quang dư, sẽ loại bỏ cả vật liệu thừa bám trên bề mặt cản quang, chỉ còn lại phần vật liệu có hình dạng như đã tạo.

#### 3.3.2 Kỹ thuật ăn mòn

Trong kỹ thuật ăn mòn (*etching*), cản quang sẽ có tác dụng bảo vệ phần vật liệu muốn tạo hình. Người ta phủ vật liệu cần tạo lên đế, sau đó phủ chất cản quang rồi đem chiếu điện tử. Cản quang sử dụng là cản quang âm, tức là thay đổi tính chất sao cho không bị rửa trôi sau khi qua dung dịch tráng rửa, có tác dụng bảo vệ phần vật liệu bên dưới. Sau đó cả mẫu sẽ được đưa vào buồng ăn mòn, phần vật liệu không có cản quang sẽ bị ăn mòn và giữ lại phần được bảo vệ, có hình dạng của cản quang. Cuối cùng là rửa cản quang bằng dung môi hữu cơ. Các kỹ thuật ăn mòn thường dùng là

ăn mòn khô (dry etching), sử dụng các plasma hoặc hỗn hợp khí có tính phá hủy mạnh ( $\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{H}_2$ ,  $\text{F}_2\dots$ ); hay ăn mòn hóa ướt (dùng các dung dịch hóa chất để hòa tan vật liệu...

### 3.4 Cản quang

Cản quang (*resist*) là một phần cực kỳ quan trọng của các công nghệ lithography. Cản quang là các chất hữu cơ có tác dụng bao phủ và bảo vệ vật liệu muốn tạo, là các chất không bị rửa trôi hoặc ăn mòn dưới các dung môi như kiềm, axit ... nhưng lại có thể bị rửa trôi trong các dung môi hữu cơ, các dung dịch tráng rửa. Có 2 loại cản quang được chia theo sự biến đổi về tính chất:

- Cản quang dương (*positive resist*): Cản quang dương là chất sau khi bị chiếu bởi chùm điện tử sẽ bị hòa tan trong các dung môi rửa. Cản quang này thường dùng cho kỹ thuật lift-off. Các cản quang dương điển hình là PMMA (PolyMethylMethAcrylat - Thủy tinh hữu cơ), hay EBR-9, PBS (Poly Butene-1 Sulphone), ZEP (copolymer of a -chloromethacrylate and a -methylstyrene).
- Cản quang âm (*negative resist*): Là loại cản quang sau khi chiếu điện tử sẽ không bị hòa tan dưới các dung dịch tráng rửa. Một số loại cản quang âm như COP (epoxy copolymer of glycidyl methacrylate and ethyl acrylate), Shipley Sal ... Cản quang âm có vai trò bảo vệ phần vật liệu bên dưới không bị phá hủy bởi quá trình ăn mòn.

### 3.5 Ưu điểm và nhược điểm của EBL so với photolithography

- Vì dùng chùm điện tử nên có khả năng tạo chùm tia hẹp hơn rất nhiều so với ánh sáng, do đó có thể tạo các chi tiết có độ phân giải cao và kích thước nhỏ hơn rất nhiều so với photolithography, đồng thời dễ dàng tạo các chi tiết phức tạp.
- Chùm điện tử có thể điều khiển quét trên bề mặt mẫu bằng cách cuộn dây nên có thể vẽ trực tiếp chi tiết mà không cần mặt nạ như photolithography.
- Phương pháp EBL chậm hơn nhiều so với photolithography.

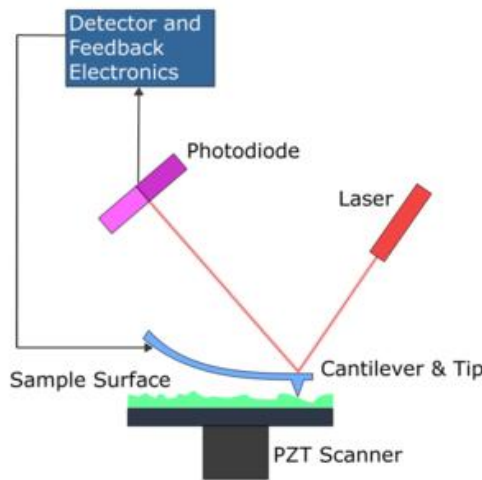
# 4. Kính hiển vi lực nguyên tử AFM

## 4.1 Giới Thiệu

**Kính hiển vi lực nguyên tử** hay **kính hiển vi nguyên tử lực** (tiếng Anh: *Atomic force microscope*, viết tắt là *AFM*) là một thiết bị quan sát cấu trúc vi mô bề mặt của vật rắn dựa trên nguyên tắc xác định lực tương tác nguyên tử giữa một đầu mũi dò nhọn với bề mặt của mẫu, có thể quan sát ở độ phân giải nanômét, được sáng chế bởi Gerd Binnig, Calvin Quate và Christoph Gerber vào năm 1986. AFM thuộc nhóm kính hiển vi quét đầu dò hoạt động trên nguyên tắc quét đầu dò trên bề mặt.

## 4.2 Nguyên lý của AFM

Bộ phận chính của AFM là một mũi nhọn được gắn trên một thanh rung (*cantilever*). Mũi nhọn thường được làm bằng Si hoặc SiN và kích thước của đầu mũi nhọn là một nguyên tử. Khi mũi nhọn quét gần bề mặt mẫu vật, sẽ xuất hiện lực Van der Waals giữa các nguyên tử tại bề mặt mẫu và nguyên tử tại đầu mũi nhọn (lực nguyên tử) làm rung thanh cantilever. Lực này phụ thuộc vào khoảng cách giữa đầu mũi dò và bề mặt của mẫu. Dao động của thanh rung do lực tương tác được ghi lại nhờ một tia laser chiếu qua bề mặt của thanh rung, dao động của thanh rung làm thay đổi góc lệch của tia lase và được detector ghi lại. Việc ghi lại lực tương tác trong quá trình thanh rung quét trên bề mặt sẽ cho hình ảnh cấu trúc bề mặt của mẫu vật.



Sơ đồ giải thích cơ chế làm việc của kính hiển vi lực nguyên tử



Sự biến đổi của lực tương tác giữa mũi dò và bề mặt mẫu theo khoảng cách.



Trên thực tế, tùy vào chế độ và loại đầu dò mà có thể tạo ra các lực khác nhau và hình ảnh cấu trúc khác nhau. Ví dụ như lực Van der Waals cho hình ảnh hình thái học bề mặt, lực điện từ có thể cho cấu trúc điện từ (kính hiển vi lực từ), hay lực Casimir, lực liên kết hóa học, và dẫn đến việc có thể ghi lại nhiều thông tin khác nhau trên bề mặt mẫu.

### 4.3 Các chế độ ghi ảnh

AFM có thể hoạt động ở nhiều chế độ khác nhau, nhưng có thể chia thành các nhóm chế độ <sup>[11]</sup>: Chế độ tĩnh (*Contact mode*), chế độ động (*Non-contact mode*) hoặc chế độ đánh dấu (*Tapping mode*)

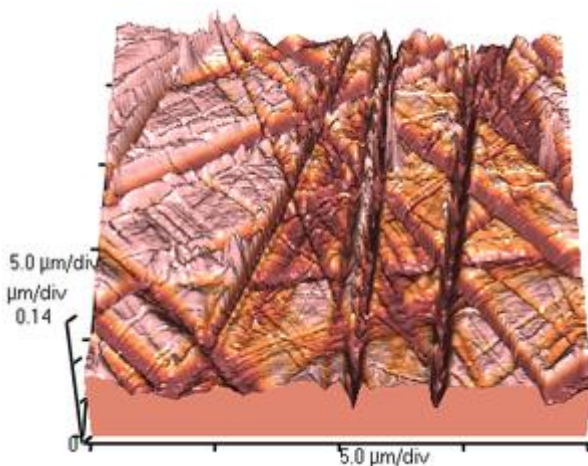
#### 4.3.1 Chế độ tiếp xúc (chế độ tĩnh)

Chế độ contact là chế độ mà khoảng cách giữa đầu mũi dò và bề mặt mẫu được giữ không đổi trong quá trình quét, và tín hiệu phản hồi từ tia laser sẽ là tín hiệu tĩnh. Ở khoảng cách này, lực hút sẽ trở nên mạnh và cantilever bị kéo lại rất gần bề mặt (gần như tiếp xúc). Tuy nhiên, bộ điều khiển phản hồi sẽ điều chỉnh để khoảng cách giữa mũi và bề mặt là không đổi trong suốt quá trình quét.

#### 4.3.2 Chế độ không tiếp xúc (chế độ động)

Chế độ động (hay chế độ không tiếp xúc) là chế độ mà cantilever bị kích thích bởi ngoại lực, dao động với tần số gần với tần số dao động riêng của nó. Tần số, biên độ và pha của dao động sẽ bị ảnh hưởng bởi tương tác giữa mẫu và mũi dò, do đó sẽ có thêm nhiều thông tin về mẫu được biến điệu trong tín hiệu. Chế độ không tiếp xúc là kỹ thuật tạo ảnh độ phân giải cao đầu tiên được thực hiện trên AFM trong môi trường chân không cao.

#### 4.3.3 Tapping mode



Ảnh chụp AFM bề mặt một tấm thủy tinh.

Tapping mode thực chất là một cải tiến của chế độ động không tiếp xúc. Trong chế độ này, cantilever được rung trực tiếp bằng bộ dao động áp điện gắn trên cantilever với biên độ lớn tới 100-200 nm, và tần số rất gần với tần số dao động riêng.

### 4.4 Phân tích phổ AFM

Vì AFM hoạt động dựa trên việc đo lực tác dụng nên nó có một chế độ phân tích phổ, gọi là phổ lực AFM (*force spectroscopy*), là phổ phân bố lực theo khoảng cách <sup>[21]</sup>: lực Van der Waals, lực Casimir,

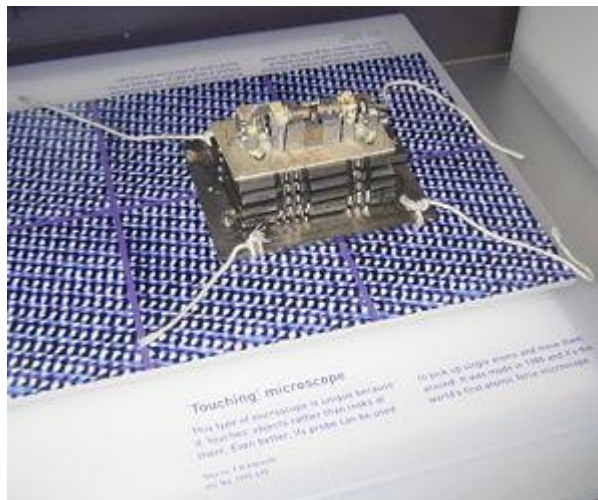


lực liên kết nguyên tử... với thời gian hồi đáp nhanh cỡ ps ( $10^{12}$  giây), độ chính xác tới pN ( $10^{12}$  Newton) và độ phân giải về khoảng cách có thể tới 0,1 nm. Các phổ này có thể cung cấp nhiều thông tin về cấu trúc nguyên tử của bề mặt cũng như các liên kết hóa học <sup>[31]</sup>.

## 4.5 Lịch sử, ưu điểm và nhược điểm của AFM

AFM lần đầu tiên được phát triển vào năm 1985 để khắc phục nhược điểm của STM chỉ có thể thực hiện được trên mẫu dẫn điện, bởi G. Binnig, C. F. Quate và Ch. Gerber <sup>[41]</sup>, và đến năm 1987, T. Albrecht đã lần đầu tiên phát triển AFM đạt độ phân giải cấp độ nguyên tử <sup>[51]</sup>, cũng trong năm đó MFM được phát triển từ AFM. Năm 1988, AFM chính thức được thương mại hóa bởi Park Scientific (Stanford, Mỹ).

### 4.5.1 Ưu điểm của AFM



Ảnh chụp chiếc AFM đầu tiên lưu giữ tại bảo tàng khoa học Luân Đôn.

- AFM khắc phục nhược điểm của STM, có thể chụp ảnh bề mặt của tất cả các loại mẫu kể cả mẫu không dẫn điện.
- AFM không đòi hỏi môi trường chân không cao, có thể hoạt động ngay trong môi trường bình thường.
- AFM cũng có thể tiến hành các thao tác di chuyển và xây dựng ở cấp độ từng nguyên tử, một tính năng mạnh cho công nghệ nano. Đồng thời AFM cũng hoạt động mà không đòi hỏi sự phá hủy hay có dòng điện nên còn rất hữu ích cho các tiêu bản sinh học <sup>[61]</sup>, <sup>[71]</sup>.

### 4.5.2 Nhược điểm của AFM

- AFM quét ảnh trên một diện tích hẹp (tối đa đến 150 micromet).
- Tốc độ ghi ảnh chậm do hoạt động ở chế độ quét.
- Chất lượng ảnh bị ảnh hưởng bởi quá trình trễ của bộ quét áp điện.
- Đầu dò rung trên bề mặt nên kém an toàn, đồng thời đòi hỏi mẫu có bề mặt sạch và sự chống rung.

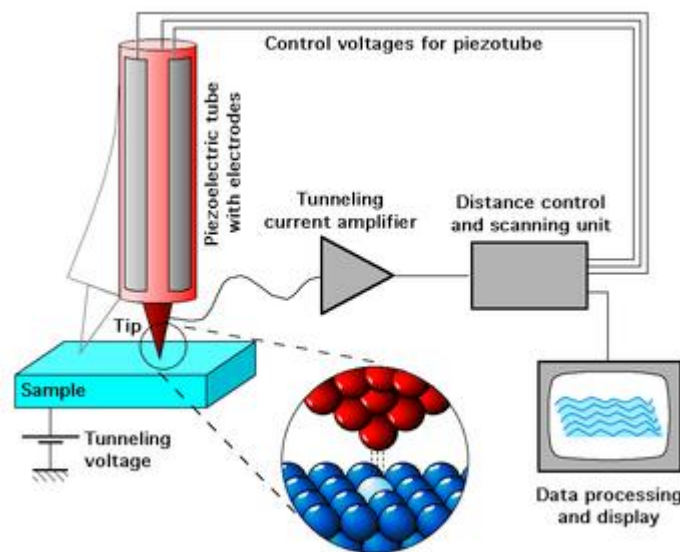
## 5. Kính hiển vi quét chui hầm STM

### 5.1 Giới Thiệu

**Kính hiển vi quét chui hầm** (tiếng Anh: *Scanning tunneling microscope*, viết tắt là *STM*) là một loại kính hiển vi phi quang học, được sử dụng để quan sát hình thái học bề mặt của vật rắn hoạt động dựa trên việc ghi lại dòng chui hầm của điện tử khi sử dụng một mũi dò quét trên bề mặt mẫu. STM là một công cụ mạnh để quan sát cấu trúc bề mặt của vật rắn với độ phân giải tới cấp độ nguyên tử. STM lần đầu được phát minh năm 1981 và hai nhà phát minh ra thiết bị này là Gerd Binnig và Heinrich Rohrer (IBM, Zürich) đã giành giải Nobel Vật lý năm 1986 cho phát minh này.

### 5.2 Nguyên lý hoạt động của STM

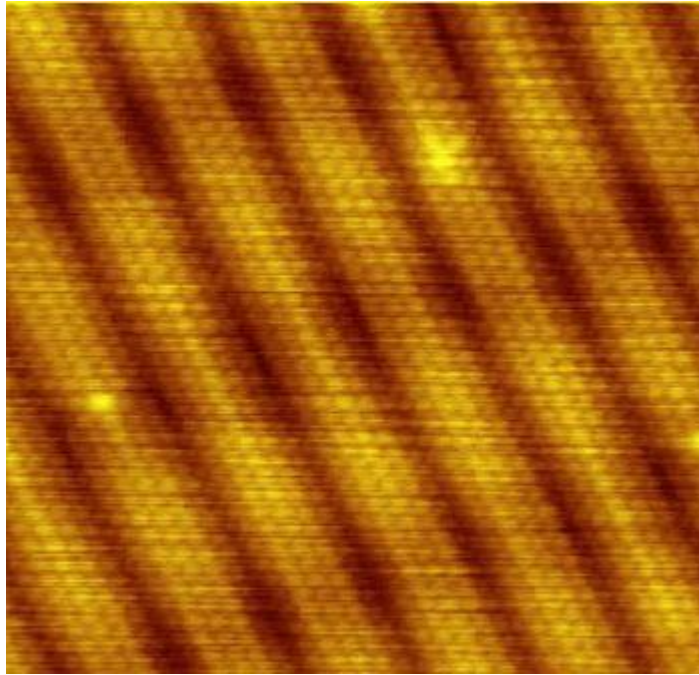
STM là thiết bị quan sát vi cấu trúc bề mặt thuộc về nhóm thiết bị kính hiển vi quét đầu dò, tức là việc ghi ảnh dựa trên nguyên tắc quét đầu dò trên bề mặt. STM sử dụng một mũi dò nhọn mà đầu của mũi dò có kích thước là một nguyên tử, quét rất gần bề mặt mẫu. Khi đầu dò được quét trên bề mặt mẫu, sẽ xuất hiện các điện tử di chuyển từ bề mặt mẫu sang mũi dò do hiệu ứng chui hầm lượng tử và việc ghi lại dòng chui hầm (do một hiệu điện thế đặt giữa mũi dò và mẫu) này sẽ cho các thông tin về cấu trúc bề mặt.



Nguyên lý hoạt động của kính hiển vi quét chui hầm

Tại mỗi vị trí mũi dò quét trên mẫu, có thể coi điện tử chuyển động theo dạng một chiều và tuân theo phương trình Schrödinger

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi_n(z)}{\partial z^2} + U(z)\psi_n(z) = E\psi_n(z),$$



Ảnh chụp bề mặt mẫu tinh thể vàng bởi STM.

với  $\hbar$  is hằng số Planck,  $z$  là vị trí,  $m$  là khối lượng của điện tử. Nếu một điện tử có năng lượng  $E$  gặp hàng rào năng lượng  $U$  thì hàm sóng sẽ là nghiệm của phương trình Schrödinger:

$$\psi_n(z) = \psi_n(0)e^{\pm ikz},$$

với

$$k = \frac{\sqrt{2m(E - U)}}{\hbar}$$

Nếu năng lượng  $E$  của điện tử thấp hơn rào thế thì theo quan niệm cổ điển, điện tử sẽ không thể có mặt ở phía bên kia rào thế (đi tới mũi dò). Tuy nhiên, theo quan điểm cơ học lượng tử, vẫn tồn tại giá trị hàm sóng của điện tử ở bên kia rào thế, tức là có xác suất tìm thấy điện tử bên ngoài rào thế. Đây chính là hiệu ứng chui hầm lượng tử, và xác suất này cho bởi:

$$P \propto |\psi_n(0)|^2 e^{-2\kappa W}$$

Và như vậy, nếu đặt một hiệu điện thế giữa mũi dò và mẫu thì sẽ xuất hiện một dòng chui hầm cho bởi:

$$I \propto \sum_{E_f - eV}^{E_f} |\psi_n(0)|^2 e^{-2\kappa W}$$

Tính toán đã xác định dòng chui hầm tỉ lệ với thế hiệu dịch theo công thức:

$$I \propto V \rho_s(0, E_f) e^{-2\kappa W}$$


với:

$$\rho_s(z, E) = \frac{1}{\epsilon} \sum_{E-\epsilon}^E |\psi_n(z)|^2, E_f \text{ là mức năng lượng Fermi.}$$

$$I = \frac{4\pi e}{\hbar} \int_{-\infty}^{+\infty} [f(E_f - eV) - f(E_f + \epsilon)] \rho_s(E_f - eV + \epsilon) \rho_T(E_f + \epsilon) |M|^2 d\epsilon$$

Với  $f$  là hàm Fermi,  $\rho_s$  và  $\rho_T$  là mật độ trạng thái ở mẫu và mũi dò [11].



 Ảnh chụp gần mẫu đang được quét đầu dò trong thiết bị STM tại Đại học St Andrews, Scotland.

Việc quét mũi dò trên bề mặt tạo ra dòng chui hầm, và tín hiệu này được khuếch đại. Tín hiệu này sẽ cho thông tin về hình thái học bề mặt với độ phân giải ở cấp độ nguyên tử. Độ phân giải của thiết bị phụ thuộc vào khả năng quét (bước quét) và tiết diện ngang của mũi dò tạo dòng chui hầm. Trong thực tế, để tạo bước quét tinh tế, người ta gắn mẫu vào một bộ dao động là vật liệu áp điện. Khi có các tín hiệu điện điều khiển đặt vào bộ áp điện này, khối áp điện sẽ bị giãn nở do hiệu ứng áp điện làm dịch chuyển mũi dò. Đồng thời, để tăng khả năng chui hầm của điện tử, hệ được đặt trong chân không cao.

### 5.3 Lịch sử và các dạng khác của STM

Lịch sử của STM bắt đầu từ năm 1981 với các thí nghiệm về quá trình chui hầm trong môi trường không khí thực hiện bởi Gerd Binnig và Heinrich Rohrer (IBM, Zürich) và nâng cấp các hiệu ứng này trong chân không, kết hợp với quá trình quét để tạo ra STM vào năm 1982 [12]. STM được hoàn chỉnh vào cuối năm 1982 và bắt đầu được thương mại hóa [13], [14]. Lý thuyết về quá trình chui hầm trong STM được phát triển bởi N. García, C. Ocal, và F. Flores (Đại học Autónoma, Madrid, Tây Ban Nha) từ năm 1983 [15] và bởi nhóm J. Tersoff và D. R. Hamann (AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey) vào năm 1984 [16]. Năm 1986, G. Binnig và H. Rohrer hoàn thiện thế hệ STM thứ 4 và giành giải Nobel Vật lý cho phát minh này.

Ngoài việc phân tích hình thái học bề mặt, STM còn được cải tiến để tạo thành nhiều tính năng khác. Trong kỹ thuật chụp ảnh từ, người ta cải tiến STM bằng cách phủ các vật liệu từ trên mũi dò để ghi nhận dòng điện tử chui hầm bị phân cực spin, cho phép ghi nhận cấu trúc từ bề mặt với độ phân giải rất cao [17]. Thiết bị này được gọi là Kính hiển vi quét chui hầm phân cực spin (*Spin-polarized scanning tunnelling microscope*). Ngoài ra, người ta còn có thể tạo ra các tính năng chui

hầm khác ví dụ như chui hầm với photon hoặc ghi nhận hiệu điện thế để có các phân tích bổ sung khác...

Một trong những tính năng khác đang được phát triển gần đây của STM là việc thao tác các nguyên tử với độ chính xác cao trên bề mặt vật rắn, cho phép tạo các chi tiết siêu nhỏ với độ chính xác cao và đang trở thành một phép chế tạo quan trọng trong công nghệ nano<sup>[81]</sup>.

## **5.4 Ưu điểm và nhược điểm**

### **5.4.1 Ưu điểm của STM**

- STM là một kỹ thuật ghi ảnh hình thái học và cấu trúc (cấu trúc vật lý, cấu trúc điện tử...) bề mặt với độ phân giải rất cao và cho ảnh chất lượng cao.
- STM không đòi hỏi việc phá hủy mẫu như kính hiển vi điện tử truyền qua (thiết bị chụp ảnh với độ phân giải tương đương).
- STM còn cho phép tạo ra các phép thao tác trên bề mặt cho quá trình chế tạo.

### **5.4.2 Nhược điểm của STM**

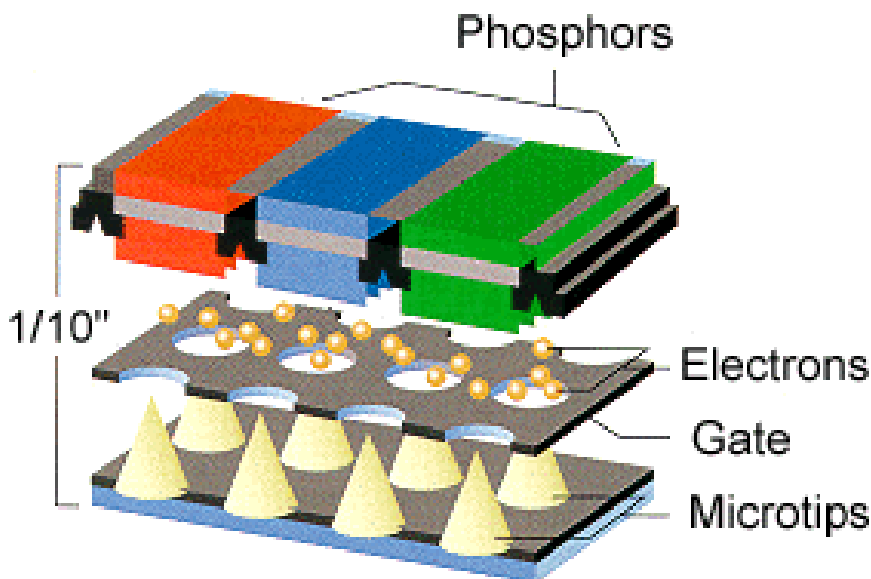
- Mẫu sử dụng trong STM phải là mẫu dẫn điện hoặc bán dẫn.
- Việc đo đạc STM đòi hỏi bề mặt mẫu siêu sạch và việc chống rung là một đòi hỏi lớn.
- Tốc độ ghi ảnh trong STM thấp.
- STM chỉ giới hạn cho cấu trúc bề mặt

## 6. Màn Hình phát xạ trường FED

### 6.1 Giới thiệu chung:

Hiện thị là công nghệ chìa khóa của thời đại thông tin đang hoạt động như giao diện cuối cùng giữa người cung cấp thông tin như máy tính, internet hay các trạm phát thanh và các hệ thống nhìn bằng mắt của con người. Nếu ta nhìn vào cửa hàng điện tử ngày nay, có thể là các máy thu hình dựa trên CRT (đèn tia âm cực) và monitor của máy tính thông thường. Thứ hai, ta có lẽ sẽ thấy vô số LCD nhỏ được hiện thực trong điện thoại di động, đồng hồ và các dụng cụ khác. Tuy nhiên, ta cũng sẽ thấy các màn hình với đường chéo rất lớn cỡ 100 cm hoặc hơn được gọi là panen hiển thị plasma (Plasma Display Panel – PDP). Với PDP, ước mơ về Tivi treo tường đã trở thành hiện thực. Các nhà phân tích đang tiên đoán sự phát triển đến kinh ngạc đối với PDP trong một số năm tới. Các công nghệ hiển thị panen khác như hiển thị phát xạ trường (Field Emission Display – FED) và hiển thị phát xạ quang điện (electro Luminescence – EL) ngày nay có thể được tìm thấy hơn hẳn trên thị trường như trong công nghiệp ô tô và y học.

Chúng ta sẽ tập trung nghiên cứu vào FED với vai trò như mô hình cho công nghệ hiển thị phát xạ phẳng, mới. Nguyên tắc hiển thị dựa trên mảng ma trận được địa chỉ của yếu tố ảnh và ngược với LCD, phôtpho bị kích thích bằng điện tử (FED).



Một màn hình phát xạ trường (FED) có một cấu trúc đơn giản và một cấu trúc phát quang cao. Loại màn hình này không cần ánh sáng để cung cấp, bộ lọc màu, kính phân cực hoặc các màng mỏng quang học khác mà những thứ này thì cần trong một màn hình tinh thể lỏng (LCD). Do đó cấu trúc của một FED thì đơn giản hơn một LCD. Thêm vào đó, các FED có thời gian đáp ứng ngắn hơn, một góc nhìn rộng hơn và vùng nhiệt độ làm việc rộng hơn các LCD. Chúng có thể hiển thị ảnh tĩnh và ảnh động, nhiệt độ xung quang nóng và lạnh, mục đích sử dụng cá nhân hoặc công cộng. Cấu trúc của một FED tương tự như một màn hình ống tia catôt (CRT). Cả FED và CRT đều sử dụng phosphor để tạo độ sáng và phụ thuộc vào một chân không để duy trì thời gian sống của electron phát xạ. Cơ chế hoạt động của FED liên quan đến electron phát xạ trường để kích thích phosphor và tạo sự phát sáng. Phát xạ xạ trường sử dụng một điện trường cao hơn trong phát xạ nhiệt để giải phóng electron vào chân không.



## 6.2 Cấu trúc FED và cơ chế hiển thị:

Một panel FED bao gồm mảng phát xạ trường (field emission array-FEA) và một tấm phosphor. Tấm FEA là một cấu trúc tạo ra sự phát xạ trường. Ngoài ra, phát xạ qua cực cổng là thường cần thiết để điều biến các electron phát xạ ra. Việc thêm điện cực thứ ba (cực cổng) giữa catot và anot tạo ra sự phát xạ qua cổng. Cực phát được đặt ở đỉnh của catot. Cổng thường gần với cực phát hơn anot để điều khiển electron phát xạ. Dòng phát xạ này được giải phóng từ cực phát và là một hàm của điện thế giữa cổng và catot. Điện thế giữa anot và cổng điều chỉnh biên độ dòng phát xạ chảy đến cổng và anot. Một cấu trúc mà trong đó cổng được đặt trên catot được gọi là cấu trúc dọc.

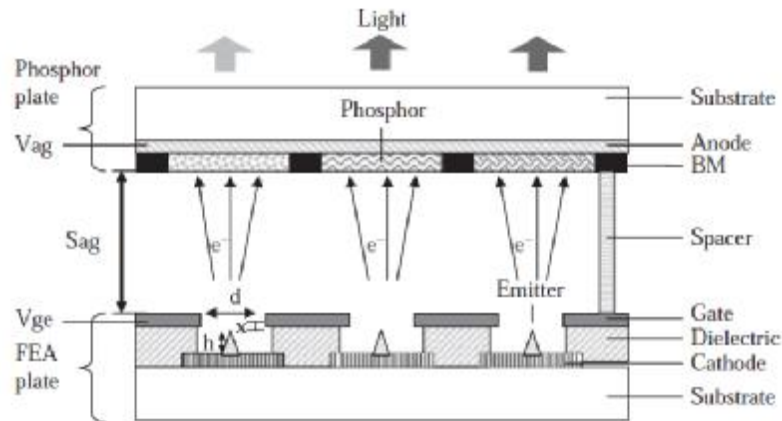


Figure 8.5 Vertical structure of gated conic emitter in a FED.

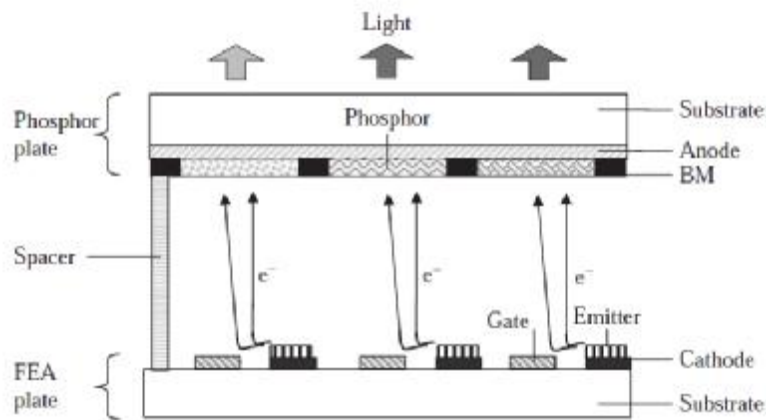


Figure 8.6 Horizontal gated emitter in a FED.

Hình 8.5 chỉ ra cấu trúc dọc của một cực phát hình nón trong FED. Trong cấu hình này,  $r$  là bán kính của cực phát (khoảng vài trăm Å<sup>0</sup>),  $d$  là đường kính của cổng mở khoảng vài chục μm,  $x$  là độ cao từ đỉnh nhọn đến cạnh trên của cực cổng (ít hơn 1 μm),  $S_{ag}$  là khoảng cách giữa anot và cổng khoảng vài chục μm đến vài mm,  $V_{ge}$  là điện thế giữa cổng và cực phát,  $V_{ag}$  là điện thế anot và cổng. Chú ý điện trường  $F=f(r,d,h,s,V_{ge})$  và mật độ dòng phát xạ  $J=f(F)$ . Trong hình 8.5, electron được phát ra từ cực phát và kích thích 3 phosphor màu đỏ, xanh lá, xanh dương (RGB) theo chiều dọc. Phosphor được sử dụng trong linh kiện phát xạ trường là kiểu electron kích thích. Tuy nhiên, cổng và catot có thể được sắp xếp theo cấu hình ngang được thể hiện trong hình 8.6. cổng được đặt tại cùng một độ cao như catot. Vì electron được phát ra từ cực phát phải bay qua cổng và tiến đến anot, cổng cần nhận dòng nhiều hơn anot. Mô hình thực nghiệm chỉ ra rằng anot của cấu trúc dọc thu nhận nhiều dòng hơn cấu trúc ngang dưới cùng một điều kiện hoạt động. Đó là một nhược

điểm đối với phát xạ công ngang mặc dù kiểu phát xạ công này có một cấu trúc và các bước chế tạo đơn giản.

### 6.3 Cực phát:

Cực phát có vai trò quan trọng trong các FED. Cấu trúc cực phát trường có dạng nón, hình nôm (chữ V), hình ống. Vùng phát xạ của một cực phát hình nón là đỉnh của hình nón, trong khi các cấu trúc khác là các cạnh. Nhiều cực phát bao gồm cực phát Spindt, cực phát ống nanocacbon (cacbon nanotube-CNT) và cực phát dẫn bề mặt (surface conduction-SCE). Cực phát Spindt là một hình nón trong khi cực phát CNT có dạng là ống nanocacbon đường kính nm. Cực phát SCE sử dụng loại vật liệu gọi là PdO (palladium oxide) với một cấu trúc khe cỡ nm để sinh ra electron phát xạ mặt. Bảng 1 so sánh các loại cực phát. Sự phát xạ trường của các dạng cực phát này cần 1 chân không cao khoảng  $10^{-7}$  torr. Điện thế hoạt động từ vài chục đến vài trăm Vôn. Vì thế điện thế hoạt động cao để điều khiển mạch tích hợp (ICs) là mắc hơn, hoạt động tại điện thế cao còn cho thấy hao phí để chế tạo mạch tích hợp là cao hơn. Do đó, hao phí để chế tạo mạch điều khiển đối với cực phát Spindt và cực phát SCE là thấp hơn bởi vì chúng hoạt động tại điện thế thấp. Quá trình chủ yếu của việc chế tạo cực phát Spindt có dạng hình nón, cực phát SCE có dạng khe nano, cực phát CNT có dạng ống nanocacbon. Khó khăn chủ yếu của việc chế tạo cực phát Spindt là cần một diện tích bay hơi; của cực phát CNT là chế tạo ống nanocacbon và của cực phát SCE là dòng lái (dòng điều khiển) ở công cao. Dòng lái ở công cao của SCE là vì cấu trúc công ngang của nó. Cấu trúc công ngang này được giúp để tạo ra khe cấp nano giữa catot và công. Mặc dù thuận tiện để ra một khe cảm nano đối với cấu trúc công ngang, các electron được phát ra của SCE bay qua công và kết quả là cần một dòng lái công cao. Dòng hiệu dụng được áp vào anot do đó giảm, kết quả là một hiệu suất dòng thấp của SCE. So sánh với SCE, Spindt và CNT sử dụng một cấu trúc công dọc có sự tiêu thụ năng lượng thấp đối với cùng một hiệu điện thế hoạt động. Thêm vào đó, độ cao cực phát cũng ảnh hưởng đến dòng lái công, đối với cấu trúc công dọc khi độ cao cực phát thấp thì dòng lái công cao. Tuy nhiên, cực phát Spindt có khó khăn là sự không đồng nhất đối với một diện tích bay hơi lớn. Đối với CNT, độ cao cực phát là một thách thức đối với việc chế tạo và độ cao này thường thấp. Do đó, cực phát CNT thường có dòng lái công cao hơn của cực phát Spindt. Ngoài ra, nhược điểm của cực phát CNT hiệu suất hoạt động và tỉ số phát triển ống thấp. Chú ý, một giá trị nhỏ hơn của một bán kính cực phát không những có được một diện tích phát xạ nhỏ mà còn tạo ra sự phát xạ mật độ dòng J cao hơn. Nếu cực phát quá nhọn thì dòng phát I có thể giảm vì tích của J và A sẽ có giá trị nhỏ hơn. Dòng phát xạ khác nhau đối với các đỉnh nhọn khác nhau. Một cực phát có thể cần một điện thế thấp trong khi cực phát khác có thể cần một điện thế cao. Sự khác nhau về điện thế hoạt động là do sự không đồng nhất và làm tăng sự khó khăn trong việc điều chỉnh các mức độ màu hiển thị.

### 6.4 Cực phát Spindt:

Nhiều loại vật liệu bao gồm bán dẫn có thể được sử dụng trong cực phát xạ trường Spindt. Theo lý thuyết, cực phát trường nên là một loại vật liệu với một điểm nóng chảy cao để chịu đựng một dòng cao, một công thoát thấp được cung cấp để sự phát xạ là lớn nhất và áp suất hơi thấp để duy trì chân không cần thiết trong linh kiện. Một cực phát nên nhọn để tạo ra một điện trường cao đáng kể cho sự phát xạ electron tại điện thế thấp. Hiệu điện thế thấp sẽ làm giảm xác suất đánh thủng điện môi. Bảng 2 thể hiện cực phát phổ biến là Silic, Tungsten, Molybdenum, LaB<sub>6</sub>, Tantalum được sử dụng rộng rãi trong linh kiện phát xạ, theo những tính chất của chúng.

Trong các cực phát, Tungsten có nhiệt độ nóng chảy cao nhất và áp suất hơi thấp nhất trong khi Silic có bán kính phát xạ nhỏ nhất. Vì Silic có thể được chế tạo trên cấu trúc bán dẫn chuẩn để chế tạo các đỉnh nhọn cực phát, nó đã được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi



trong việc chế tạo cực phát trường mặc dù điểm nóng chảy của nó thấp và áp suất hơi cao hơn các vật liệu khác như W, Mo, Ta,...

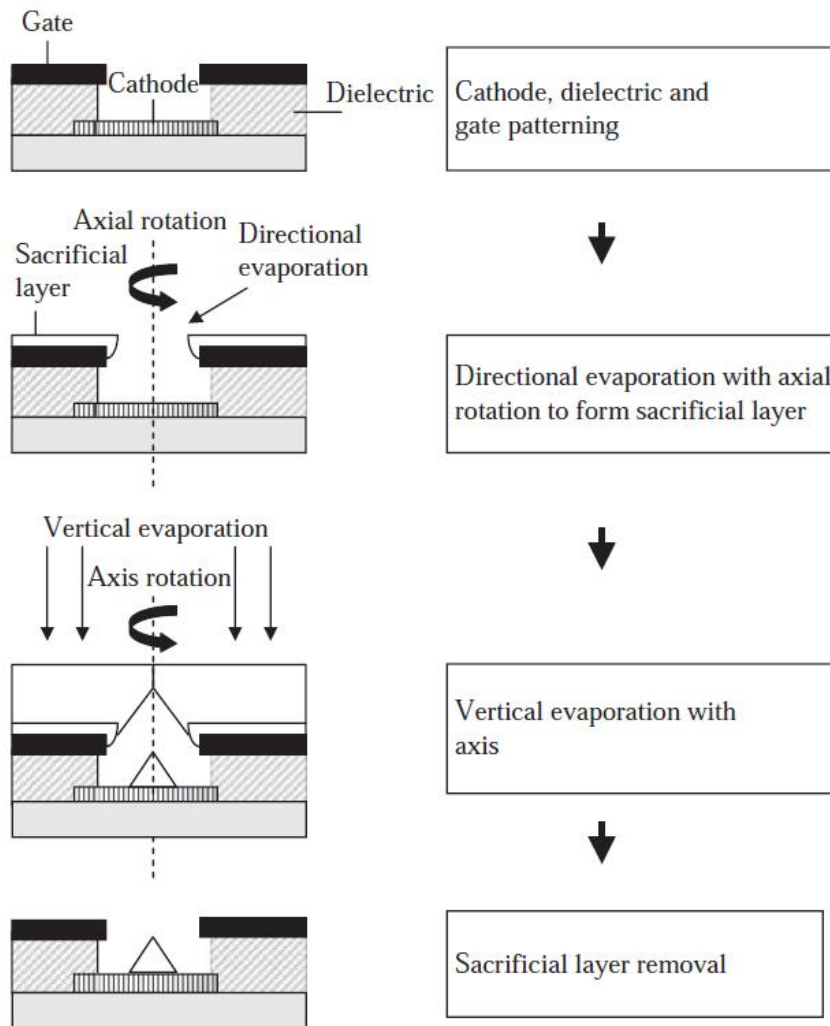


Figure 8.7 Typical process flow for a conic emitter.

Các cực phát xạ trường nên nhọn vì điện trường khác nhau đối với hình dạng nhọn và sự phát xạ electron phụ thuộc mạnh vào điện trường. Cực phát nhọn cũng làm cho linh kiện phát xạ electron tại điện thế thấp. Hình 8.7 chỉ ra một quá trình chế tạo một cực phát hình nón. Bước đầu tiên của quá trình là tạo catot, điện môi, và cực cổng. Sau đó bay hơi trực tiếp theo trục quay để tạo lớp bảo vệ, lớp này có tác dụng ngăn không cho hơi vật liệu làm cực phát không bám vào bề mặt của cực cổng mà lắng đọng trên lớp bảo vệ và sau này lớp bảo vệ bị loại bỏ đi thì sẽ hiện ra bề mặt cực cổng. Sau khi lớp bảo vệ được tạo, sự bay hơi dọc với trục quay được thực hiện để tạo cực phát hình nón. Bước cuối cùng của quá trình này là bỏ đi lớp bảo vệ để hiện ra cực cổng.

## 6.5 Cực phát CNT:

Kiểu cực phát spindt (sharp cone type) đã được nghiên cứu rộng rãi trong vài tập kỷ cuối. Tuy nhiên, sự bốc hơi sử dụng trong kiểu cực phát Spindt để chế tạo hình nón với diện tích rộng là rất khó khăn. Đó là khó khăn chủ yếu trong việc duy trì các cực phát hình nón đồng nhất khi một màn hình lớn được thiết kế. Theo đó, sử dụng một sử dụng CNT như một

cực phát là một tiến trình thay thế Spindt của việc tạo FED. Vài trăm nm và có thể như một cực phát xạ trường.

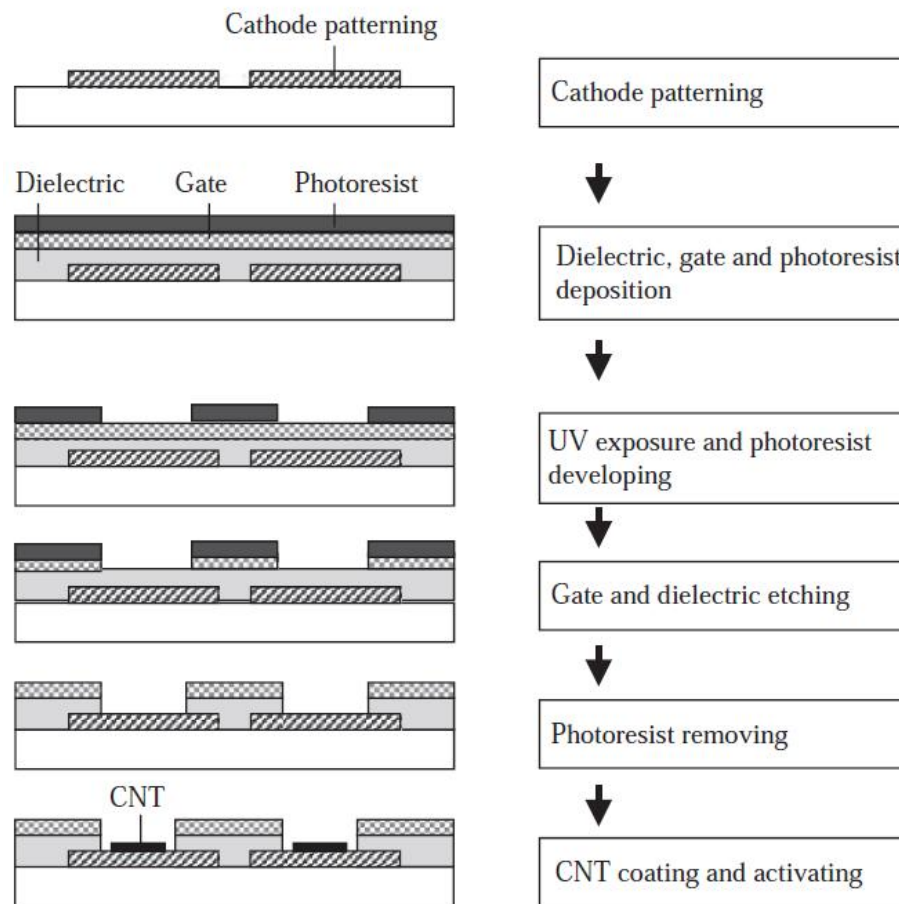


Figure 8.8 Typical indirect approach for forming CNT emitters.

Quá trình trực tiếp và gián tiếp có thể áp dụng để chế tạo cực phát CNT. Trong quá trình trực tiếp, CNT được phát triển bằng hồ quang và sau đó phá vỡ bằng một chất nổ. Một cách giải quyết được thêm vào chất nổ này của CNT là tạo một chất thủy tinh giả kim cương (paste). Một cực phát CNT sau đó được tạo bằng việc in màn hình (screen printing) chất thủy tinh giả kim cương ống nanocarbon (CNT paste) vào một đế và sau đó làm hoạt động nó. Hình 8.8 chỉ ra quá trình phổ biến mà trong đó nhiệt độ cao nhất là khoảng 450 °C. Bước đầu của quá trình này là chế tạo catot, điện môi, cực cổng. Quá trình tiếp theo là phủ lớp CNT paste lên đế và sau đó làm hoạt động CNT (ống nanocarbon). Khi chất CNT paste được chuẩn bị trong quá trình riêng biệt.

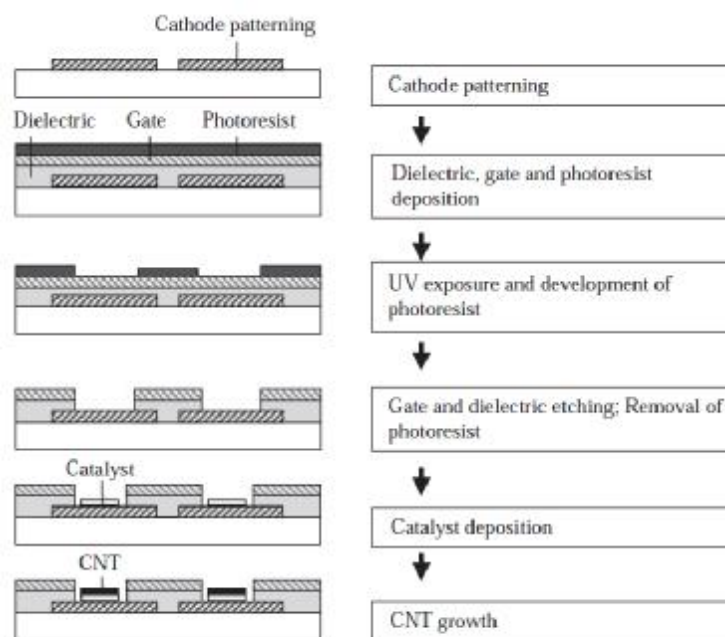
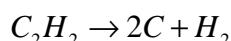


Figure 8.9 Typical CVD process for forming CNT emitters.

Vì CNT được tạo bởi một nhiệt độ hồ quang cao nên nó có độ tinh khiết cao. Tuy nhiên độ không đồng nhất của CNT có thể không được điều khiển một cách hiệu quả việc in màn hình và phá hủy hoàn toàn sự phân bố lại một cách ngẫu nhiên các CNT. Theo đó, quá trình trực tiếp của việc tạo CNT được áp dụng để giải quyết vấn đề không đồng nhất. Hai phương pháp: CVD và EPD (electrophoretic deposition) được sử dụng để chế tạo CNT. Hình 8.9 chỉ ra quá trình của CVD dùng để chế tạo CNT. Catot, điện môi và cổng được tạo hình tại bước đầu tiên của quá trình này. Bước tiếp theo là ngưng tụ chất xúc tác, phổ biến là Fe/Ni/Co với nhiệt độ khoảng 600 °C. Nhiệt độ quá trình có thể giảm bởi việc sử dụng quá trình CVD plasma. Phản ứng tạo CNT là



Mặc dù CVD tạo ra một CNT đồng nhất hơn nhưng tỉ số (tốc độ) phát triển chậm. Ngoài ra, EPD có thể áp dụng môi trường quá trình thay đổi liên tục cho việc tạo CNT. Hình 8.10 chỉ ra một cơ chế ngưng tụ của EPD. Trong cơ chế ngưng tụ này để được đặt trong chất cao su hòa tan. Các CNT trong chất cao su hòa tan được tích điện và sau đó dịch chuyển đến điện cực. sau đó, CNT được ngưng tụ vào điện cực. Các CNT có thể phát triển trực tiếp lên đế bằng việc sử dụng CVD hoặc EPD. Độ không đồng nhất thu được bằng việc sử dụng CVD hoặc EPD vượt quá ngưỡng thu được bởi phương pháp hồ quang và độ tinh khiết thu được là thấp hơn.

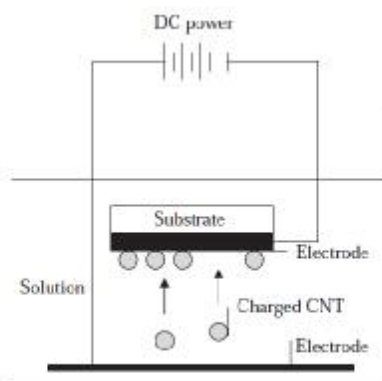


Figure 8.10 Typical deposition mechanism in the EPD process.

## 6.6 Cực phát dẫn bề mặt (SCE):

Trong linh kiện SCE, một màng PdO (palladium oxide) được sử dụng như một cực phát và một khe hẹp cỡ nm được sử dụng để giải phóng electron từ bề mặt của một màng PdO. Các electron này được gọi là các electron dẫn bề mặt. Cấu trúc của màn hình SCE khác với cấu trúc hiển thị được sử dụng trong cực phát kiểu Spindt và CNT. Hình 8.11 chỉ ra một cấu trúc phổ biến của một màn hình SCE mà nó thường được gọi là một màn hình electron bề mặt (SED). Trong cấu trúc này, electron được giải phóng theo phương ngang từ cực phát đến cực cổng. một điện thế được áp vào để thu được electron phát xạ. Khe hẹp giữa cực cổng và catot khoảng 10 nm. Catot và cực cổng được tạo bằng chất Pt (Platinum). Cực phát là PdO. Màng Pt được tạo bởi phương pháp quang khắc, trong khi màng PdO của cực phát được ngưng tụ bởi in phun (ink-jet printing). Hình 8.12 chỉ ra một quá trình phổ biến để chế tạo một SCE. Bước đầu tiên của quá trình này là chế tạo cổng và catot. Bước tiếp theo là phủ một lớp vật liệu làm cực phát. Sau khi phủ lớp này hoàn thành, một khe hẹp được tạo ra với các chiều cỡ nm.

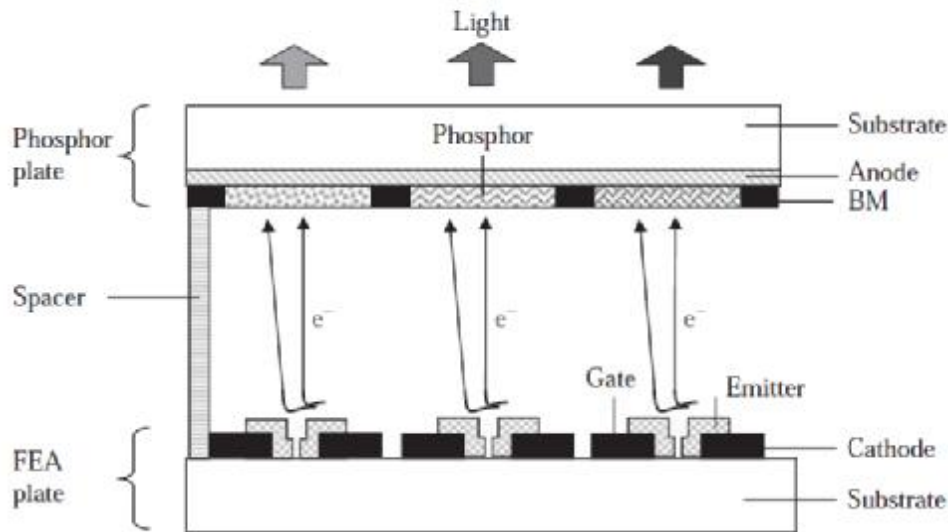


Figure 8.11 Typical structure of a SCE display (surface electron display).

# 7. Ứng Dụng phát xạ Quang Điện Tử

## 7.1 Photocathode:

Trong thế giới tự nhiên có nhiều loài vật có thể quan sát được trong đêm tối như : rắn , dơi , mèo ,....

–Rắn quan sát trong đêm tối nhờ thu nhận bức xạ hồng ngoại phát ra từ con mồi qua đó nó có thể định vị được vị trí của con mồi.

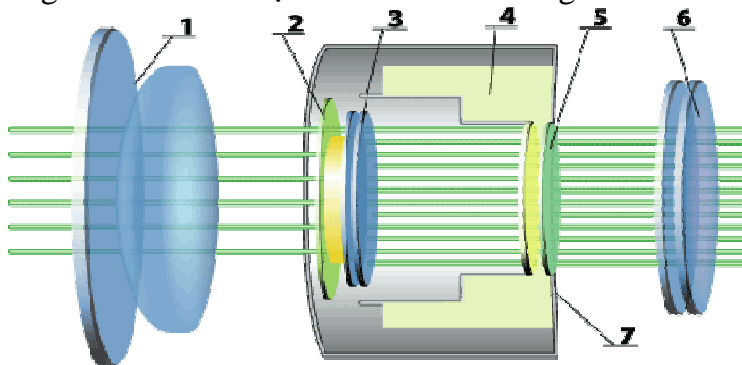
–Dơi định vị trong đêm tối nhờ phát ra và thu nhận những sóng âm từ đó có thể xác định được chướng ngại vật.

–Mèo quan sát trong đêm tối nhờ thay đổi độ rộng của đồng tử trong mắt của mèo nhờ đó nó có thể thu nhận được ánh sáng yếu trong đêm tối

Loài người thì không có khả năng quan sát trong đêm tối như một số loài vật bằng giác quan của mình nhưng con người lại có trí thông minh siêu đẳng từ đó con người đã tạo ra nhiều cách để có thể quan sát được trong đêm tối.

Dùng photocathode là một trong những cách của con người phát minh ra dùng vào việc quan sát trong đêm tối.

Nó gần giống như cách để một con mèo nhìn trong đêm.



Hình B.1.1: Cấu tạo photocathode làm thiết bị quan sát ban đêm  
Trong đó:

- 1.Vật kính
- 2,3,4. hệ khuếch đại
- 2.Photocathode
- 3.Microchannel plate
- 4.Hệ thống tạo ra điện trường định hướng điện tử
- 5.Màn ảnh
- 6.Thị kính

Trong đêm tối ta không thể quan sát được mọi vật xung quanh là vì trong đêm tối ánh sáng có cường độ bé mắt chúng ta có cấu tạo không có khả năng quan sát trong môi trường ánh sáng yếu như vậy.

Vật kính có tác dụng tập trung ánh sáng cường độ yếu ớt trong môi trường xung quanh như ánh sáng của các ngôi sao ,mặt trăng,...Các photon này sau đó được chiếu vào photocathode . Ở đó hiện tượng phát xạ quang điện tử xảy ra.Các photon kích thích các điện tử .Mỗi một photon kích thích điện tử làm cho điện tử bị bức ra ngoài .Vì ánh sáng trong tối có cường độ bé và các ánh sáng có bước sóng khác nhau nên các vật liệu làm photocathode thường là các vật liệu có độ nhạy quang lớn.

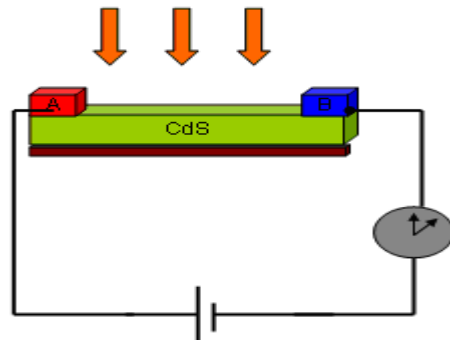
Các điện tử bay ra đi đến hệ microchannel plate ở đây cường độ của dòng điện tử được tăng cường . Sau đó dòng điện tử được định hướng trong điện trường mạnh tới màn hình quang. Tại đây các điện tử trong màn hình quang bị kích thích phát ra ánh sáng khả kiến

Các ánh sáng khả kiến này đi qua thị kính hội tụ tại mắt người quan sát. Đó chính là cách để ta nhìn được trong đêm tối.

## 7.2 Quang trở(LDR)

### LDR (Light Dependent Resistor)

Cấu tạo Quang trở gồm một lớp chất bán dẫn (cadimi sunfua CdS chẳng hạn) phủ trên một tấm nhựa cách điện .Có hai điện cực và gắn vào lớp chất bán dẫn đó



Hình B.2.1.Cấu tạo đơn giản của quang trở

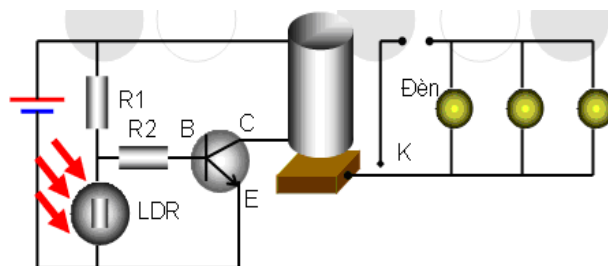
Nối một nguồn khoảng vài Volt thông một miliampe kế.Ta thấy khi quang trở được đặt trong bóng tối thì trong mạch không có dòng điện qua

Khi chiếu ánh sáng có bước sóng ngắn hơn giới hạn quang dẫn của quang trở thì sẽ xuất hiện dòng điện trong mạch.

Điện trở của quang trở giảm đi rất mạnh khi bị chiếu ánh sáng bởi ánh sáng nói trên. . Đo điện trở của quang trở CdS, người ta thấy: khi không bị chiếu sáng, điện trở của nó vào khoảng  $3.10^6 \Omega$ ; khi bị chiếu sáng, điện trở của nó chỉ còn khoảng  $20\Omega$ .

Ngày nay, quang trở được dùng thay cho các tế bào quang điện trong hầu hết các mạch điều khiển tự động.

Xét mạch đóng ngắt đèn đường:



Hình B.2.2:Sơ đồ mạch điện tự đóng ngắt đèn đường

Mô tả mạch điện:

Một quang trở mắc giữa cực base B và cực Emitter E của một transistor T (loại npn). Quang trở đóng vai trò chia hiệu điện thế với điện trở R1 mắc giữa cực Collector C và cực base B. Một nguồn 6V vừa dùng để tạo hiệu điện thế  $U_{BE}$  vừa dùng để tạo ra dòng Collector  $I_C$

Dòng  $I_C$  chạy qua một nam châm ngắt điện của một rơ-le điện tử đóng ngắt mạch điện thấp sáng các đèn đường.Nam châm điện nằm trong mạch collector của transistor



Hoạt động:

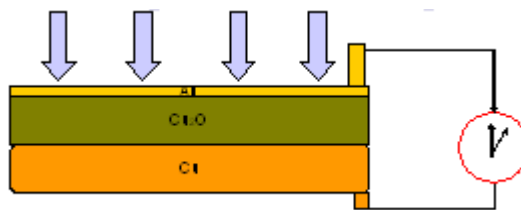
Ban ngày, khi ánh sáng chiếu vào quang trở đủ mạnh thì điện trở của nó rất nhỏ so với  $R_1$ . Hiệu điện thế  $U_{BE} = 0$  và do đó collector  $I_C = 0$ , vì vậy, nam châm không hoạt động

Buổi tối, khi ánh sáng chiếu vào quang trở yếu đến mức nào đó thì điện trở của nó sẽ đủ lớn. Hiệu điện thế  $U_{BE}$  tăng. Khi  $U_{BE}$  đạt đến một giá trị nào đó (cỡ khoảng 0,7 V) thì xuất hiện dòng cực base  $I_B$  (khoảng 0,3mA) và do đó, xuất hiện dòng điện  $I_C$  (khoảng 60mA). Dòng  $I_C$  chạy qua nam châm điện làm cho nó hút cần ngắt điện và đóng mạch thấp sáng các đèn đường.

### 7.3 Pin quang điện

Pin quang điện là một nguồn điện trong đó quang năng được biến đổi trực tiếp thành điện năng. Pin hoạt động dựa vào hiện tượng quang điện bên trong xảy ra trong một chất bán dẫn.

Ta hãy xét một pin quang điện đơn giản. Pin đồng oxit như hình vẽ dưới đây:



Hình B.3.1: Cấu tạo Pin Đồng oxit ( $Cu_2O$ )

Pin có một điện cực bằng đồng. Trên bản đồng này có phủ một lớp đồng oxit  $Cu_2O$

Người ta phun một lớp vàng rất mỏng trên mặt lớp  $Cu_2O$  để làm điện cực thứ hai. Lớp vàng này mỏng đến mức cho ánh sáng truyền qua được. Ở chỗ tiếp xúc giữa  $Cu_2O$  và Cu hình thành một lớp có tác dụng đặc biệt: nó chỉ cho phép electron chạy qua nó theo chiều từ  $Cu_2O$  sang Cu

Khi chiếu một chùm sáng có bước sóng thích hợp vào mặt lớp  $Cu_2O$  thì ánh sáng sẽ giải phóng các electron liên kết trong  $Cu_2O$  thành electron dẫn. Một phần các electron này khuếch tán sang cực Cu. Cực Cu thừa electron nên nhiễm điện âm.  $Cu_2O$  nhiễm điện dương. Giữa hai điện cực của pin hình thành một suất điện động.

Nếu nối hai điện cực với nhau bằng một dây dẫn thông qua một điện kế, ta sẽ thấy có một dòng điện chạy trong mạch theo chiều từ  $Cu_2O$  sang Cu.

Ngoài pin quang điện đồng oxit, còn có rất nhiều loại pin quang điện khác, phổ biến nhất là pin selen

Ngày nay, các pin quang điện có rất nhiều ứng dụng. Các pin mặt trời ở các máy tính bỏ túi, trên các vệ tinh nhân tạo v.v... đều là pin quang điện

Pin quang điện không phải cái gì khác chính là một điốt bán dẫn có diện tích bề mặt rộng và có lớp N cực mỏng để ánh sáng có thể truyền qua. Khi chiếu ánh sáng vào pin quang điện một phần sẽ bị phản xạ ( và do đó trên bề mặt pin quang điện có một lớp chống phản xạ ) và một phần bị hấp thụ khi truyền qua lớp N. Một phần may mắn hơn đến được lớp chuyển tiếp, nơi có các cặp e và lỗ trống nằm trong điện trường của bề mặt giới hạn p-n. Với các bước sóng thích hợp sẽ truyền cho e một năng lượng đủ lớn để bật khỏi liên kết. Sẽ

không thể có chuyện gì nếu không có điện trường nhỏ tạo bởi lớp chuyển tiếp. Đó là lí do giải thích vì sao nếu ta chiếu ánh sáng vào một vật bán dẫn thì không thể sinh ra dòng điện .

Nhưng cặp e và lỗ trống này nằm trong tác dụng của điện trường do đó e sẽ bị kéo về phía bán dẫn loại n còn lỗ trống bị kéo về phía bán dẫn loại p. kết quả là nếu ta nối hai cực vào hai phần bán dẫn loại n và p sẽ đo được một hiệu điện thế. Giá trị hiệu điện thế này phụ thuộc vào bản chất của chất làm bán dẫn và tạp chất được hấp phụ.

Chúc các bạn thi tốt !