

I H C QU C GIA TP HCM  
TR NG I H C KHOA H CT NHIÊN  
KHOA V T LÝ

I N T H C  
PHÁT X VÀ NG D NG

TÀI:

PHÁT X NHI T I N T

GVHD: PGS.TS LÊ V NHI U

NHÓM TH CHI N:

PH M THANH TÂM

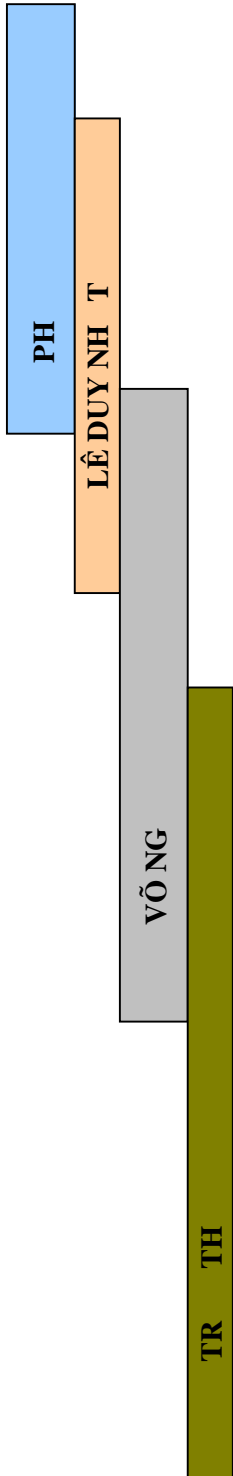
LÊ DUY NH T

VÕ NG C TH Y

TR N TH THANH TH Y

TP HCM 05-2010

# L I M U



Nh ã bi t, mu n quan sát c c u trúc c a v t ch t c ng nh các tính ch t c a nó thì c n ph i có m t ngu n sáng có b c sóng nh h n ho c t ng ng v i kho ng cách gi a các nguyên t c a m u mà ta c n nghiên c u

i n t có n ng l ng cao và kh i l ng ngh l n. Do v y, ý t ng dùng chùm i n t nghiên c u c ng nh b n phá c u trúc ã c ra. Nh ng v n là b ng cách nào chúng ta có th l y c nó và i u khi n nó theo ý mu n

V i công trình c a Owen Willans Richardson v hi n t ng phát x nhi t i n t (và c gi Nobel n m 1928 ã m u cho cu c cách m ng nghiên c u tính ch t v t li u b ng chùm i n t

T công trình trên các hi n t ng phát x i n t khác c ng d n c phát hi n: Phát x quang i n t , phát x t ng và phát x i n t th c p.

Trong ph m vi báo cáo này, xin trình bày m t s v n c b n v s phát x nhi t i n t

Ph n 1: Lý thuy t v s phát x nhi t i n t

Ph n 2: Các ph ng pháp làm t ng dòng phát x

Ph n 3: Các ph ng pháp i u khi n chùm i n t phát x

Ph n 4: Các ng d ng s d ng chùm i n t phát x

M c dù ã c g ng, nh ng báo cáo ch c v n con nhi u thi u sót, mong Th y và các b n thêm ph n góp ý

hoàn thành t t báo cáo này, nhóm xin chân thành c m n s quan tâm ch b o t n tình c a Th y Lê V n Hi u.

# M C L C

1	GIỚI THIỆU CHUNG.....	1
1.1	Phát hiện đầu tiên:.....	1
1.2	Hiệu ứng Edison:.....	1
1.3	Định luật Richardson:.....	2
1.4	Định luật của Schottky:.....	2
1.5	Sự tăng cường dòng phát xạ khi có điện trường ngoài (hiệu ứng Schottky):.....	2
1.6	Định luật Child-Langmuir và điện tích không gian:.....	3
2	LÝ THUYẾT.....	4
2.1	Định luật của Schottky:.....	4
2.2	Phương trình phát xạ nhiệt điện của kim loại. Định luật Richardson:.....	5
2.3	Sự phân bố theo vận tốc của nhiệt điện:.....	8
2.4	Ảnh hưởng của trường điện từ đối với dòng phát xạ:.....	10
3	NHỮNG ĐIỆN TÍCH KHÔNG GIAN VÀ DÒNG PHÁT XẠ:.....	13
4	PHÁT XẠ NHIỆT ĐIỆN CATHODE MÀNG MANG VÀ CATHODE OXIDE.....	17
4.1	CATHODE MÀNG MANG.....	17
4.2	CATHODE OXIDE.....	23
4.3	KẾT LUẬN.....	26
5	SỰ TĂNG TỐC QUANG - C.....	27
6	QUỐC GIA ELECTRON TRONG ĐIỆN TRƯỜNG, ĐIỆN TRƯỜNG 30	
6.1	Chuyển động của electron trong điện trường:.....	30
6.2	Chuyển động của electron trong từ trường:.....	32
7	ĐIỀU KIỆN CỦA PHÁT XẠ NHIỆT ĐIỆN.....	34
7.1	KÍNH HIỆN VI ĐIỆN TỬ QUÉT - SEM.....	34

8	ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY.....	48
8.1	Lịch sử của EBL.....	48
8.2	Tính quan trọng của các loại lithography khác nhau.....	49
8.3	Sự lựa chọn của photolithography.....	51
8.4	Lithography chùm điện tử.....	52
8.5	Vị trí của tia điện tử chùm điện tử.....	53
8.6	Hiện tượng tán xạ hạn chế góc (SCALPEL- scattering with angular limitation in projection beam lithography).....	59
8.7	Hiện tượng.....	60

# 1 GI I THI U CHUNG

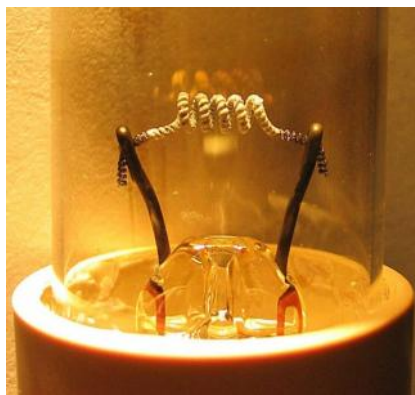
S phát x c a các electron t m t ch t c nung nóng g i là s phát x nhi t i n t

## 1.1 Phát hi n u tiên:

Hi n t ng u tiên c quan sát n m 1873 b i Frederick Guthrie. Khi ông ang nghiên c u các v t th mang i n tích, ông phát hi n ra r ng các qu c u s t mang i n tích đ ng khi nung s m t b t i n tích. Ông c ng tìm th y hi n t ng t ng t i v i các qu c u mang i n tích âm.

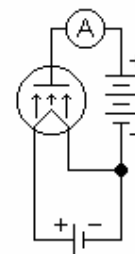
## 1.2 Hi u ng Edison:

Ngày 13-02-1880, Thomas Edison là ng i u tiên quan sát c s b c x electron c a m t s i dây tóc bóng èn t trong chân không ( Hình 1.1).

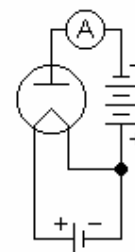


Hình 1.1

Edison c ng ã thi t l p m t vài thí nghi m v i các bóng èn, s i dây tóc bóng èn, các t m kim lo i và các lá kim lo i. Thí nghi m c xây đ ng g m m t s i dây tóc bóng èn và m t lá kim lo i. Khi lá kim lo i c c n i i n âm còn dây tóc n i i n đ ng thì hoàn toàn không có dòng electron phát ra, nh ng n u n i lá kim lo i mang i n tích đ ng thì xu t hi n dòng



Electron flow



No current

electron. Ông c ng phát hi n ra r ng dòng phát x t ng khi ông t ng hi u i n th . Và hi u ng này c g i là hi u ng Edison.

### 1.3 nh lu t Richardson:

Theo sau Thomas Edison là Owen Willans Richardson, nhà v t lý ng i anh, ông c ng b t u nghiên c u hi n t ng phát x nhi t và a ra nh lu t phát x nhi t mang chính tên ông. Ông ã nh n gi i Nobel và n m 1928 cho công trình này.

$$J = A_0 \overline{DT}^2 e^{-\frac{\phi_0}{kT}} \quad (1.1)$$

V i :

$$A_0 = \frac{4\pi me k^2}{h^3} = 120,4 \cdot 10^4 \frac{A}{m^2 \cdot \text{độ}^2}$$

### 1.4 L c nh i n c a Schottky:

Trong nhi u công trình quan trọng c a Schoottky v hi n t ng phát x nhi t, công trình quan tr ng nh t là ông nh n th y có m t l c nh i n t i b m t ng n c n electron b c ra kh i b m t.

$$F = \frac{e^2}{4x^2} \quad (1.2)$$

Tuy nhiên bi u th c trên ch úng v i kho ng cách x r t l n so v i kho ng cách gi a 2 nguyên t , vì khi ó m i có th coi b m t kim lo i là ng nh t.

### 1.5 S t ng c ng dòng phát x khi có i n tr ng ngoài (hi u ng Schottky):

Trong các thí t b phát x electronm c bi t là súng electron, t ng dòng electron phát x ta áp m t i n tr ng m nh kho ng 108 V.m-1. Tr ng này s cung c p cho electron thêm n ng l ng W v t qua rào th t i b m t. Hay nói cách khác là gi m rào th t i b m t i m t l ng W. Khi ó ph ng trình Richardson c vi t l i:

$$J = A_0 \overline{DT}^2 e^{-\frac{\phi_0 - \Delta W}{kT}} \quad (1.3)$$

V i  $\Delta W = e\sqrt{eE}$

**1.6 nh lu t Child-Langmuir v i n tích không gian:**

Khi m t kim lo i c t trong chân không và nung nóng nhi t cao t o ra dòng phát x . Khi phát x s t o ra trên b m t cathode m t vùng mang i n tích âm, vùng i n tích âm này s c m ng các i n tích d ng trên b m t kim lo i t o thành m t i n tr ng có tác d ng ng n c n các electron b c ra kh i b m t kim lo i. Khi dòng electron b c x càng l n thì tr ng t o ra do i n tích không gian càng l n, n m t lúc nào ó thì dòng phát x s bão hòa.

## 2 LÝ THUY T

### 2.1 L c nh i n c a Schottky:

M i cm<sup>3</sup> kim lo i th ng ch a kho ng 10<sup>23</sup> i n t t do chuy n ng bên trong nó, do v y chúng liên t c p lên b m t kim lo i, nh ng chúng không th thoát kh i kim lo i. i u ó ch ng t có m t l c c n tác ng ng n c n i n t thoát kh i kim lo i.

Theo Schottky, d a vào l c t nh i n, ông gi i thích r ng khi kim lo i n m cách b m t m t kho ng cách x thì nó s b tác ng b i m t l c nh i n c xác nh b i công th c:

$$F = \frac{e^2}{4x^2} \quad (\text{CGS}) \quad (2.1)$$

N u nh ng i n t nhanh trong kim lo i m t cách g n úng có th xem l à t do thì g n b m t khi chúng bay ra kh i l p gi i h n biên c a nút m ng tinh th s b hút làm chúng quay tr l i vào trong kim lo i. Quá trình bay ra bay vào c a i n t c ng x y ra ngay c nhi t 0(K) vì lúc này i n t v n chuy n ng trong kim lo i.

Nh v y, trên biên kim lo i s thành l p 2 l p i n, 2 l p này s t o ra m t l c i n t r ng ng n c n i n t bay ra kh i kim lo i.

Schottky gi thuy t hai l p i n t ó nh m t t i n ph ng t cách nhau m t kho ng cách a. Khi ó, c ng tr ng trong kho ng t 0 n a có th xem nh là không i

thoát kh i kim lo i, i n t ph i th c hi n m t công b ng:

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_0^\infty F dx = \int_0^a \frac{e^2}{4a^2} dx + \int_a^\infty \frac{e^2}{4x^2} dx \\ &= \frac{e^2}{4a^2} + \frac{e^2}{4a^2} = \frac{e^2}{2a^2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

i l ng  $W_0$  c tr ng cho cao toàn ph n c a hàng rào th n ng c a i n t trên b m t kim lo i và c g i là công thoát toàn ph n c a i n t .



Ch có nh ng i n t nào có ng n ng v t qua rào th trên m i có th thoát kh i kim lo i, t c là:

$$\frac{mv^2}{2} \geq W_0 \quad (2.3)$$

## 2.2 Ph ng trình phát x nhi t i n t c a kim lo i. nh lu t Richardson:

Trong kim lo i, i n t là:

+ Các h t không khác bi t ( t c là tuân theo c h c l ng t )

+ Có n ng l n

+ Có spin ( t c là tuân theo nguyên nguyên lý lo i tr Pauli

Do v y, s phân b c a i n t theo n ng l ng trong th r n c bi u di n b i phân b Fermi-Dirac.

$$f(W) = \frac{1}{e^{\frac{(W-\varepsilon_F)}{kT}} + 1} \quad (2.4)$$

ây chính là xác su t l p y c a i n t trong tr ng thái có m c n ng l ng  $W$ , v i  $\varepsilon_F$  là n ng l ng m c Fermi.

Ta l i có m t m c n ng l ng  $W$  trong kim lo i

$$N(W) = \frac{2\pi(2m)^{3/2}}{h^3} \sqrt{W} \quad (2.5)$$

T (2.4) và (2.5) ta có, M t i n t nh n m c n ng l ng  $W$  là:

$$\begin{aligned} dN(W) &= 2N(W)f(W)dW \\ &= \frac{4\pi(2m)^{3/2}}{h^3} \frac{\sqrt{W}dW}{e^{\frac{(W-\varepsilon_F)}{kT}} + 1} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Hay phân b theo v n t c:

$$dn(v_x, v_y, v_z) = \frac{2m^3}{h^3} \frac{dv_x dv_y dv_z}{e^{\frac{W-\varepsilon_F}{kT}} + 1} \quad (2.7)$$

G i  $v_x$  là thành ph n v n t c có h ng vuông góc v i b m t kim lo i, thì s i n t p lên m t n v i n tích b m t trên m t giây là:

$$dn_x(v_x, v_y, v_z) = \frac{2m^3}{h^3} v_x \frac{dv_x dv_y dv_z}{e^{\frac{\frac{m}{2}(v_x^2+v_y^2+v_z^2)-\varepsilon_F}{kT}} + 1} \quad (2.8)$$

tìm s i n t thoát ra kh i kim lo i, c n ph i l y tích phân t  $-\infty$  n  $+\infty$   
theo  $v_y$  và  $v_z$  ng th i  $v_x$  ph i th a mẫ i u ki n () n  $+\infty$

tính tích phân hai l p c a bi u th c trên ta dùng h t a c c:

$$\begin{aligned}v_y &= \rho \cos\varphi \\v_z &= \rho \sin\varphi \\v_y^2 + v_z^2 &= \rho^2; dv_y dv_z = \rho d\rho d\varphi\end{aligned}\quad (2.9)$$

Khi ó:

$$\begin{aligned}\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dv_y dv_z}{e^{\frac{m}{2}(v_x^2+v_y^2+v_z^2)-\varepsilon_F} + 1} &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\infty} \frac{\rho d\rho}{e^{\frac{m}{2}(v_x^2+\rho^2)-\varepsilon_F} + 1} \\&= \frac{2\pi kT}{m} \int_0^{\infty} \frac{dy}{e^{\beta+y} + 1}\end{aligned}\quad (2.10)$$

V i

$$y = \frac{m\rho^2}{2kT} \Rightarrow \rho d\rho = \frac{kT}{m} dy$$

$$\beta = \frac{W_x - \varepsilon_F}{kT}; W_x = \frac{mv_x^2}{2}$$

Ta ti p t c t  $Z = e^{\beta+y} \rightarrow dZ = e^{\beta+y} dy$

$$\begin{aligned}\int_0^{\infty} \frac{dy}{e^{\beta+y} + 1} &= \int_{e^{\beta}}^{\infty} \frac{dZ}{Z(Z+1)} = \ln \frac{Z}{Z+1} \Big|_{e^{\beta}}^{\infty} = -\ln \frac{e^{\beta}}{e^{\beta} + 1} \\&= \ln(1 + e^{-\beta}) \\&= \ln\left(1 + e^{-\frac{W_x - \varepsilon_F}{kT}}\right)\end{aligned}\quad (2.11)$$

K t qu ta có:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dv_y dv_z}{e^{\frac{m}{2}(v_x^2+v_y^2+v_z^2)-\varepsilon_F} + 1} = \frac{2\pi kT}{m} \ln\left(1 + e^{-\frac{W_x - \varepsilon_F}{kT}}\right)\quad (2.12)$$

Th vào (2.8) ta có:

$$dN(W_x) = \frac{4\pi mkT}{h^3} \ln\left(1 + e^{-\frac{W_x - \varepsilon_F}{kT}}\right) dW_x$$

ây chính là s i n t có n ng l ng t  $W_x$  n  $W_x + dW_x$  t trong kim lo i i  
n m t n v di n tích b m t trên m t giây theo h ng x vuông góc v i b m t.

Do v y m t dòng phát x nhi t i n t có d ng:

$$J = e \int_{W_0}^{\infty} dN(W_x) \quad (2.13)$$

Ta bi t r ng, theo quan ni m c i n, khi i n t chuy n ng n b m t, n u chúng n ng l ng ch c ch n chúng s v t qua rào th n ng mà phát x . Tuy nhiên, theo c h c l ng t không ph i t t c các i n t ó u v t qua rào vì xác su t ph n x c a chúng t i rào th có th khác 0. H s truy n qua c a rào D c a i n t ph thu c vào n ng l ng c a i n t s o v i cao c a rào th n ng  $W_0$ .

Do ó, có k t qu chính xác c n ph i a h s D nh hàm s c a n ng l ng c a i n t vào bi u th c (2.13), r i sau ó m i l y tích phân. Nh ng bài toán nh v y r t khó kh n vì  $D = f(W)$  là m t hàm r t ph c t p. Do ó, n gi n ta ch l y trung bình c a D:

$$\begin{aligned} J &= \bar{D} e \int_{W_0}^{\infty} dN(W_x) \\ &= \bar{D} \frac{4\pi me kT}{h^3} \int_{W_0}^{\infty} \ln\left(1 + e^{-\frac{W_x - \varepsilon_F}{kT}}\right) dW_x \end{aligned} \quad (2.14)$$

Trong a s các kim lo i, công thoát hi u d ng  $\phi_0 = (W_0 - \varepsilon_F)$  và kho ng 4eV. Còn i l ng  $kT$  ngay c v i nhi t t ng i cao ( $T=2,510.10^3K$ ) c ng ch b ng:

$$kT = 1,38.10^{-23} \times \frac{2,510.10^3}{1,6.10^{-19}} \approx 0,2eV \quad (2.15)$$

Nh v y:

$$\frac{W_0 - \varepsilon_F}{kT} = 20 \quad (2.16)$$

Nên  $e^{-\frac{W_0 - \varepsilon_F}{kT}} \approx 1$

$$\text{Do ó: } \ln\left(1 + e^{-\frac{W_0 - \varepsilon_F}{kT}}\right) \approx e^{-\frac{W_0 - \varepsilon_F}{kT}} + \dots \quad (2.17)$$

Cu i cùng ta c:

$$\begin{aligned}
 J &= \bar{D} \frac{4\pi me kT}{h^3} \int_{W_0}^{\infty} e^{-\frac{W_x - \epsilon_F}{kT}} dW_x \\
 &= \bar{D} \frac{4\pi me k^2}{h^3} T^2 e^{-\frac{W_0 - \epsilon_F}{kT}}
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

Th  $\phi_0 = (W_0 - \epsilon_F)$  vào ta c:

$$J = A_0 \bar{D} T^2 e^{-\frac{\phi_0}{kT}}
 \tag{2.19}$$

ây chính là ph ng trnh phát x nhi t i n t i v i kim lo i c a Richardson  
 H s  $A_0$  là h ng s i v i t t c các kim lo i

$$A_0 = \frac{4\pi me k^2}{h^3} = 120 \cdot 10^4 \frac{A}{m^2 \cdot \text{noã}}
 \tag{2.20}$$

Còn h s  $\bar{D}$  thì hoàn toàn khác nhau i v i t ng kim lo i.

Ph ng trnh (2.19) cho ta bi t c s nh h ng c a nhi t i v i dòng phát x nhi t i n t

### 2.3 S phân b theo v n t c c a nhi t i n t :

Bây gi ta s tìm hàm phân b c a nhi t i n t phát x theo v n t c c a chúng.

Ta bi t hàm phân b Fermi-Dirac có d ng:

$$F(E) = \frac{1}{e^{\frac{W - \epsilon_F}{kT}} + 1}
 \tag{2.21}$$

Nh ng i v i nh ng i n t có v n t c l n thì ta có:

$$W \geq W_0$$

Và 
$$e^{\frac{W_0 - \epsilon_F}{kT}} \ll 1$$

Nên 
$$e^{\frac{W - \epsilon_F}{kT}} \ll 1$$

Khi y (2.21) c vi t l i:

$$F(E) = e^{\frac{\epsilon_F}{kT}} e^{-\frac{W}{kT}}
 \tag{2.22}$$

Do ó i v i nh ng i n t nhanh s có d ng hàm phân b Boltzmann.

T (2.7) ta có hàm phân b theo v n t c c a i n t nhanh trong kim lo i:

$$\begin{aligned} dn(v_x, v_y, v_z) &= \frac{2m^3}{h^3} e^{\frac{\epsilon_F}{kT}} e^{-\frac{W}{kT}} dv_x dv_y dv_z \\ &= C e^{-\frac{W}{kT}} dv_x dv_y dv_z \end{aligned} \quad (2.23)$$

V i  $C = \frac{2m^3}{h^3} e^{\frac{\epsilon_F}{kT}}$

V y, s i n t i n m t n v di n tích b m t trên m t giây:

$$dn_x(v_x, v_y, v_z) = C v_x e^{-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}} dv_x dv_y dv_z \quad (2.24)$$

Và s i n t thoát ra kh i kim lo i b ng:

$$dn'_x(v_x, v_y, v_z) = C \overline{D} v_x e^{-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}} dv_x dv_y dv_z$$

G i  $u_x, u_y, u_z$  là các thành ph n v n t c c a i n t khi thoát kh i kim lo i:

Các thành ph n  $u_y, u_z$  c a i n t phát x c ng b ng v n t c  $v_y, v_z$  c a nó trong kim lo i. Do v y, còn thành ph n v n t c  $u_x$  sau khi bay ra kh i kim lo i s th a mẫ i u ki n:

$$\frac{m u_x^2}{2} = \frac{m v_x^2}{2} - W_0 \quad (2.25)$$

T ây ta có:  $u_x du_x = v_x dv_x$

Khi ó:  $dn'_x(u_x, u_y, u_z) = C \overline{D} u_x e^{-\frac{W_0}{kT}} e^{-\frac{m(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2)}{2kT}} du_x du_y du_z \quad (2.26)$

Do v y, s phân b theo v n t c nhi t c a i n t phát x :

$$dn(u_x, u_y, u_z) = L \overline{D} e^{-\frac{m(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2)}{2kT}} du_x du_y du_z \quad (2.27)$$

V i  $L = C e^{-\frac{W_0}{kT}}$

Th  $C = \frac{2m^3}{h^3} e^{\frac{\epsilon_F}{kT}}$  vào ta c:

$$L = \frac{2m^3}{h^3} e^{\frac{\epsilon_F}{kT}} e^{-\frac{W_0}{kT}} \quad (2.28)$$

Nh ã bi t, h s truy n qua  $\bar{D}$  kim lo i g n b ng l ngay c v i nh ng i n t phát xa có n ng l ng không l n h n  $W_0$  là m y. Khi ó, có th xem  $\bar{D}$  không ph thu c vào n ng l ng c a i n t phát x c ng nh các nhi t i n t phát x có hàm phân b theo Maxwell-Boltzmann.

## 2.4 nh h ng c a tr ng i v i dòng phát x :

Theo Schottky l c nh i n t i b m t có d ng:

$$F(x) = \frac{e^2}{4x^2} \quad \text{v i } x > a \quad (2.29)$$

Do ó, công c a l c i n t v t qua l c c n F trên là:

$$A_0 = \int_{-b}^{\infty} F(x) dx \quad (2.30)$$

V i b là kho ng cách nào ó trong kim lo i mà ó l c F = 0

Khi gi i thích i u này Schottky không c n d ng bi n i c a i n tr ng khi  $x < a$ , t c là khi cách b m t kim lo i m t kho ng b ng h ng s m ng tinh th . Khi áp i n tr ng ngoài theo h ng gia t c i n t phát x . Do ó, l c tác ng toàn ph n lên i n t phát x :

$$F_E(x) = F(x) - eE \quad (2.31)$$

L c  $F_E(x) > 0$  ch n kho ng cách  $x = x_k$ , t i v trí  $x = x_k$  thì l c nh i n t i t tiêu v i i n tr ng ngoài nên  $F_E(x) = 0$ . Do ó, công c a l c i n t v t qua l c c n

$$A = \int_{-b}^{x_k} F_E(x) dx \quad (2.32)$$

Giá tr  $x_k$  c xác nh b i ph ng trình:

$$F_E(x) = \frac{e^2}{4x_k^2} - eE = 0 \quad (2.33)$$

$$\text{Nên } x_k = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{e}{E}} \quad (2.34)$$

Công th c (2.32) c vi t l i;

$$A = \int_{-b}^{x_k} (F(x) - eE) dx = \int_{-b}^{\infty} F(x) dx - \int_{x_k}^{\infty} F(x) dx - \int_0^{x_k} eE dx \quad (2.35)$$

$$A = A_0 - \frac{e^2}{4x_k} - eEx_k = A_0 - e\sqrt{eE} \quad (2.36)$$

T ây ta k t lu n i n tr ng, công c a i n t ph i ch ng l i l c c n c a l c nh i n s gi m m t l ng:

$$\Delta A = A_0 - A = e\sqrt{eE} \quad (2.37)$$

Do ó, bi u th c t ng quát c a công thoát hi u d ng khi có m t i n tr ng ngoài là:

$$\phi_E = \phi_0 - \Delta A = \phi_0 - e\sqrt{eE} \quad (2.38)$$

Và m t dòng phát x khi có i n tr ng ngoài là:

$$\begin{aligned} J_E &= A_0 \overline{DT}^2 e^{-\frac{\phi_E}{kT}} \\ &= J_0 e^{\frac{e\sqrt{eE}}{kT}} \end{aligned} \quad (2.39)$$

V i  $J_0$  là m t dòng phát x khi không có i n tr ng ngoài

T ây ta có:

$$\ln \frac{J_E}{J_0} = \frac{e\sqrt{eE}}{kT} \quad (2.40)$$

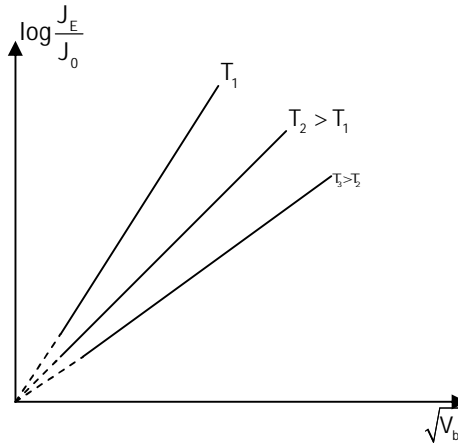
$$\text{Hay} \quad \log \frac{J_E}{J_0} = 1,906 \frac{\sqrt{E}}{T} \quad (2.41)$$

i v i diode ph ng ta có:  $E = \frac{V_b}{d}$

V i d là kho ng cách gi a 2 i n c c.

Khi ó (2.41) c vi t l i:

$$\log \frac{J_E}{J_0} = \frac{1,906}{\sqrt{d}} \frac{\sqrt{V_b}}{T} \quad (2.42)$$



Hình 2.1 S ph thu c c a dòng phát x nhiệt vào i n tr ng và nhiệt c a cathode

Nh v y, n u i n tr ng  $E$  không b nh h ng b i i n tích không gian. Thì rõ ràng  $\log(J_E/J_0)$  ph i ph thu c b c nh t vào  $\sqrt{V_b}$  và đ c c a ng này t l ngh ch v i nhiệt  $T$  c a cathode (Hình 2.1).

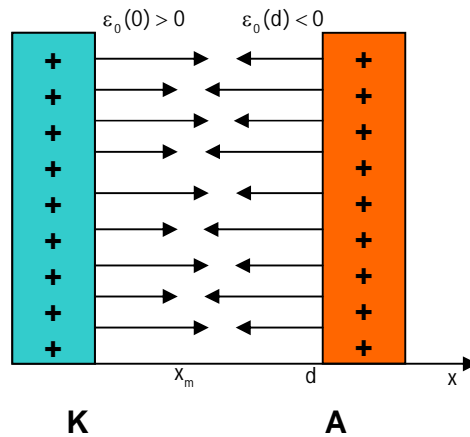
Do v y, n u mu n dòng phát x nhiệt t ng ta có th không c n nung nóng cathode quá cao mà ch c n t ng i n th  $V_b$  lên. i u này r t có l i cho các cathode không ch u c nhiệt cao.

Lý thuy t trên không còn phù h p v i th c nghi m t i  $x_k$  vì khi ó i n tr ng ây r t m nh ( $\sim 3 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). Tuy nhiên, v i i n l n nh v y thì ã xu t hi n đ ng phát x m i: phát x t ng.



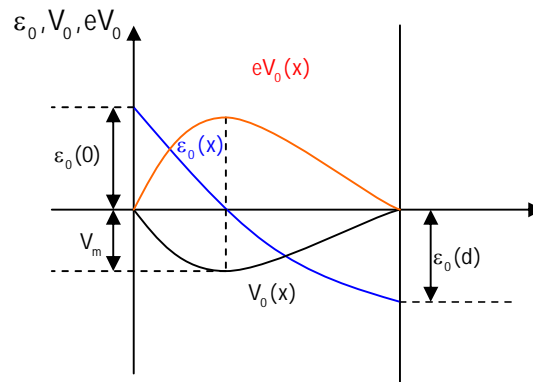
# 3 NH H NG I N TÍCH KHÔNG GIAN V I DÒNG PHÁT X :

Khi x y ra s phát x i n t t cathode v anode, i n tích không gian s c m ng nh ng i n tích d ng v i m t nh nhaut i 2 i n c c ( Hình 3.1). ng s c c a i n tr ng gây nên b i các i n t này s b t ut các b m t cathode và anode. Do v y tr tuy t i c a i n tr ng t i anode và cathode s l n nh t.  $\epsilon_0(0) > 0$  và  $\epsilon_0(d) < 0$ .



Hình 3.1 Vùng i n tích không gian gi a 2 b n i n c c anode và cathode

Vì  $\epsilon(x)$  hàm liên t c nên nó ph i b ng 0 t i v trí  $x = x_m$  nào ó gi a 2 b n i n c c. Do ó th t i  $V(x_m) = V_m$  là c c t i ut ng ng v i th t i t i  $x_m$  t giá tr c c i (Hình 3.2).

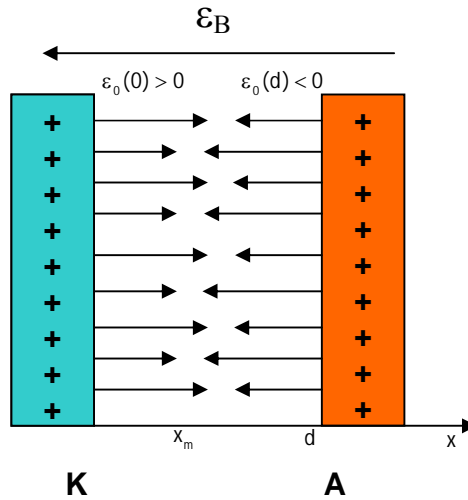


Hình 3.2 S i n tr ng, th và th n ng gi a 2 b n i n c c anode và cathode

CH NG 3

Rõ ràng ta thấy vùng i n tích không gian s t o nên m t th c n s chuy n ng c a các i n t trong kho ng t  $x = 0$  n  $x = x_m$  v phía anode. Do ó t ng v i m t th áp vào xác nh ta s có m t dòng bão hòa  $j_s$  xác nh.

c tính vùng i n tích t n t i ngay c khi ta áp i n tr ng ngoài  $\epsilon_B$  vào (Hình 3.3).



Hình 3.3 Vùng i n tích không gian gi a 2 b n i n c c anode và cathode khi có i n tr ng ngoài

Khi ó, i n tr ng và th t i vùng i n tích không gian là;

$$\epsilon(x) = \epsilon_\rho(x) + \epsilon_B = \epsilon_\rho(x) - \frac{V_B}{d} \tag{3.1}$$

$$V(x) = V_\rho(x) + V_B = V_\rho(x) - \frac{V_B}{d}x \tag{3.2}$$

V i  $\epsilon_B$  và  $V_B$  là c ng i n tr ng và th c a i n tr ng ngoài. Ta thấy, ngay c khi i n tr ng ngoài là gi a t c cho i n t t cathode v anode thì i n tr ng t i vùng i n tích không gian v n có th âm, d ng ho c b ng 0. Ta s i xét t ng tr ng h p c th trên.

**3.1.1 i n tr ng t i cathode âm  $\epsilon(0) < 0$ :**

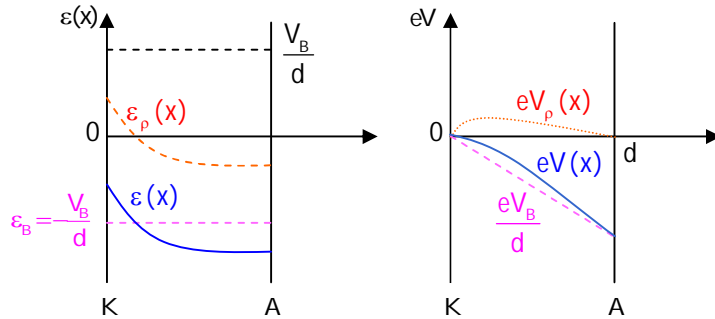
T (3.1) ta có:

$$\epsilon_\rho(x) < \epsilon_B \Leftrightarrow \epsilon_\rho(x) < \frac{V_B}{d}$$

Vì i n tr ng là l n nh t cathode nên i n tr ng t ng h p t i vùng i n tích không gian s luôn âm. T ng ng v i th n ng  $eV(x)$  trong vùng i n tích

không gian s không có c c i. Do v y, i n t s không b c n khi chuy n ng t cathode v anode. Khi ó, dòng phát x s t giá tr bão hòa  $j = j_s$ .

Ch này c g i là ch dòng bão hòa.



Hình 3.4 S i n tr ng, th và th n ng gi a 2 b n i n c c anode và cathode trong tr ng h p  $\epsilon(0) < 0$

CH NG 3

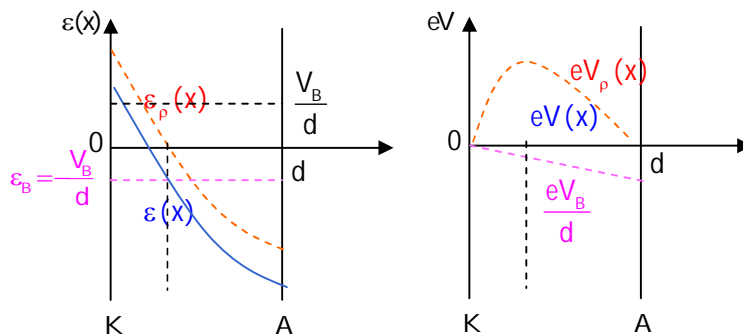
**3.1.2 i n tr ng t i cathode d ng  $\epsilon(0) > 0$ :**

T (3.1) ta có:

$$\epsilon_p(x) > \epsilon_B \Leftrightarrow \epsilon_p(x) > \frac{V_B}{d}$$

Khi ó, i n tr ng t ng c ng trong vùng i n tích không gian s b ng 0 t i v trí  $x_m$  nào ó t ng ng v i m t c c i th n ng  $eV(x_m)$ . Lúc này các i n t luôn ch u m t l c c n khi chuy n ng t cathode v anode. Do v y, dòng phát x luôn luôn nh h n dòng bão hòa  $j < j_s$ .

Ch này c g i là ch gi i h n dòng i n.



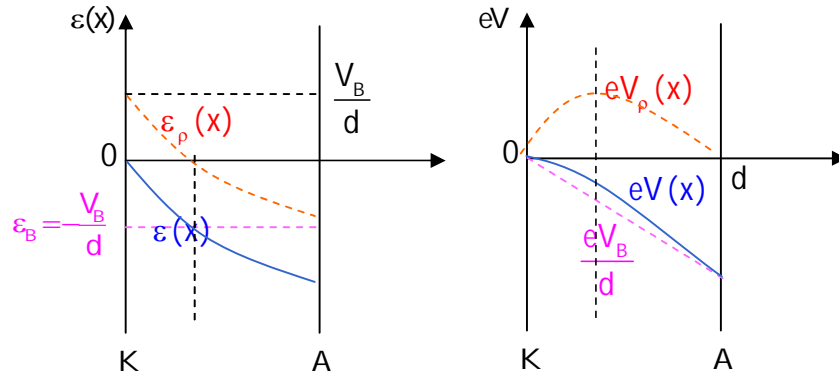
Hình 3.5 S i n tr ng, th và th n ng gi a 2 b n i n c c anode và cathode trong tr ng h p  $\epsilon(0) > 0$

**3.1.3 i n tr ng t i cathode d ng  $\epsilon(0) = 0$ :**

T (3.1) ta có:

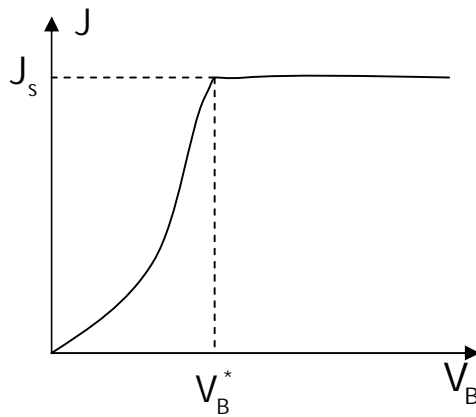
$$\epsilon_p(x) = \epsilon_B \Leftrightarrow \epsilon_p(x) = \frac{V_B}{d}$$

Khi ó, i n t r ñ g t ñ g c ñ g s b ñ g 0 t i cathode và âm trong kh p vùng i n tích không gian. T ñ g ñ g ñ g c ñ g t h ñ g eV(x) s c ó c c i t i v i trí x = 0 và gi m d ñ ñ x = d. Khi ó, i n t s c gi a t c khi chuy ñ g trong cùng i n tích không gian và dòng phát x s t t i giá tr b ảo hòa j = j<sub>s</sub>



Hình 3.6 S i n t r ñ g, th và th ñ g gi a 2 b ñ i n c cathode và anode trong tr ñ g h p  $\epsilon(0) = 0$

Trong tr ñ g h p này, t ñ g ñ g v i giá tr  $V_B = V_B^*$  nó s phân bi t ra 2 m i n r ñ r t, và ch ñ ñ g i là ch ñ ñ g chuy ñ t i p. Do v y, t ñ ñ g phân tích ñ h tính ñ h trên ta c ó c ñ g c tr ñ g Volt – Ampe c a diode



Hình 3.7 ñ g c tr ñ g Volt – Ampe  $j = f(V_B)$

CH ñ G 3

# 4 PHÁT X NHI T I N T C A CATHODE MÀNG M NG VÀ CATHODE OXIDE

## 4.1 CATHODE MÀNG M NG

Công th c dòng phát x nhi t i n t j c a kim lo i (ph ng trình Richardson):

$$j = \bar{D} \frac{4\pi me k^2}{h^3} e^{-\frac{W_s - \epsilon}{kT}} = A \bar{D} T^2 e^{-\frac{\phi_0}{kT}} \tag{4.1}$$

V i:  $A_0 = \frac{4\pi me k^2}{h^3} = 120,4 \cdot 10^4 \frac{A}{m^2 \cdot \text{K}^2}$  h s .

$A = A_0 \bar{D}$  (th c nghi m  $A_0 \sim (1,5 - 2) \cdot A$ ).

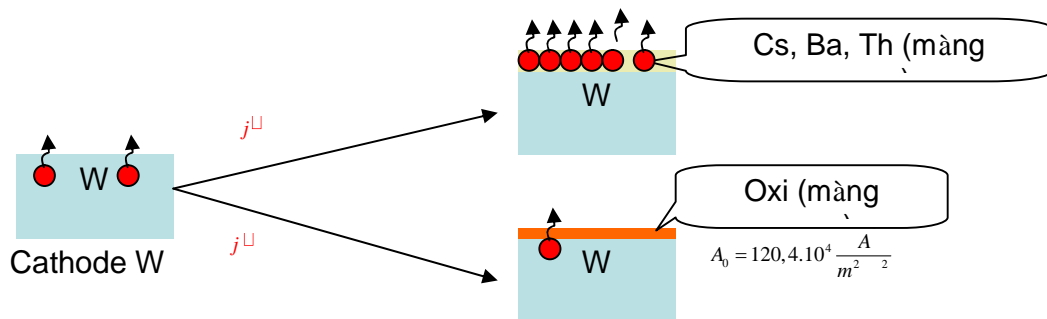
$\bar{D}$ : giá tr trung bình h s truy n qua.

T: nhi t tuy t i (K).

$\phi_0$ : công thoát hi u d ng (eV, J).

T công th c dòng phát x nhi t i n t j ta th y r ng: ch c n m t bi n i nh công thoát hi u d ng  $\phi_0$  có th làm bi n i dòng j r t l n. Vì v y, n u trên b m t cathode ph m t màng m ng kim lo i ch t khác thì có th nh h ng n kh n ng phát x i n t c a nó.

**Ví d 1:** Ph m t màng m ng Cs, Ba hay Th lên cathode W thì kh n ng phát x i n t s l n. Ng c l i, ph m t màng m ng O lên cathode W thì kh n ng phát x l i kém i.



Hình 4.1

B ng sau trình bày tr s công thoát hi u đ ng  $\phi_0$  i v i các cathode trong đ ng n nguyên t .

Cathode	$\phi_0$ (eV) (kim loại cathode)	$\phi_0$ (eV) (kim loại mỏng)	$\phi_0$ (eV) (Kim loại màng mỏng)	A $\left(\frac{A}{cm^2 do^2}\right)$
W – Cs	4,5	1,9	1,5	3
W - Ba	4,5	2,5	1,6	1,5
W – Th	4,5	3,4	2,7	3
Mo – Th	4,2	3,4	2,6	1,5
Ta – Th	4,1	3,4	2,5	1,5
W – O	4,5		6,3	
Ni – O	4,6		6,4	
W – H	4,5		5,8	

Ta th y theo b ng trên, i v i kim lo i cathode th ng r t l n. Ví d cathode W có công thoát  $\phi_0 = 4,5$  eV. Khi ph lên m t l p màng m ng Cs thì công thoát c a màng m ng W – Cs gi m xu ng r t áng k còn l i  $\phi_0 = 1,5$  eV (gi m 3 l n). Nh ng ng c l i n u ph O lên W thì công thoát màng m ng W – O l i t ng lên  $\phi_0 = 6,3$  eV (t ng 1,4 l n).

Hi n t ng gi m công thoát c a cathode màng m ng c Langmuir gi i thích nh sau:

V t ch t c h p ph n m trên b m t cathode đ i đ ng m t l p ion đ ng (nh cathode W – Cs) hay đ i đ ng m t l p nguyên t b phân c c – dipole. Hai l p i n g n b m t cathode c thành l p b i dipole i n hay b i l p ion s gây nên i n tr ng gia t c, i n tr ng này s gi m hàng rào th n ng b m t kim lo i. N u xem hai l p i n ó nh t i n ph ng v i i n tích tập trung trên các l p c a nó thì c ng i n tr ng bên trong b ng

$$E = 4\pi\sigma \quad (4.2)$$

$\sigma = nm.e$ : m t i n tích b m t, c xác nh b i m t nguyên t phân c c c a màng nm. M t hi u đ ng này nh h n m t ít so v i m t nguyên t

thành l p màng m ng vì không ph i t t c các nguyên t n m trên b m t u b phân c c.

L c tác ng lên i n t trong l p i n có:

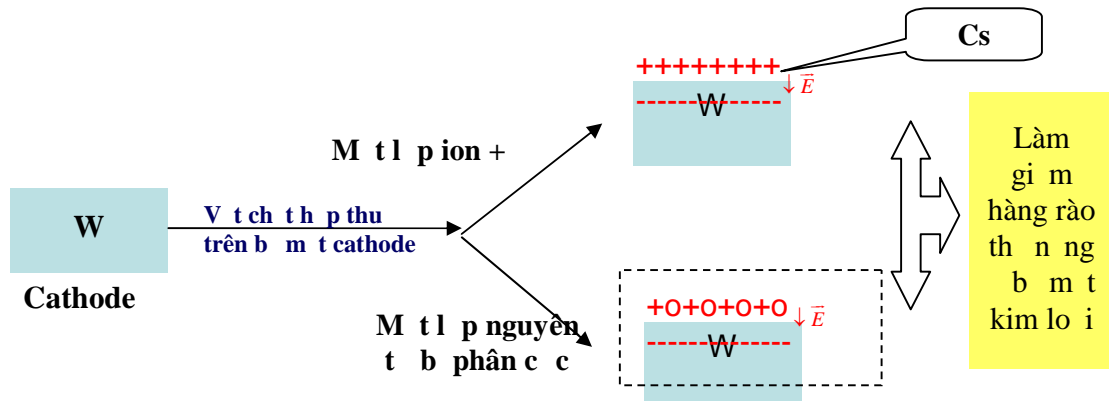
$$F = eE = 4\pi n_m e^2 \tag{4.3}$$

Và làm gì m công thoát kim lo i m t i l ng:

$$\Delta\phi_0 = Fd = 4\pi n_m ep \tag{4.4}$$

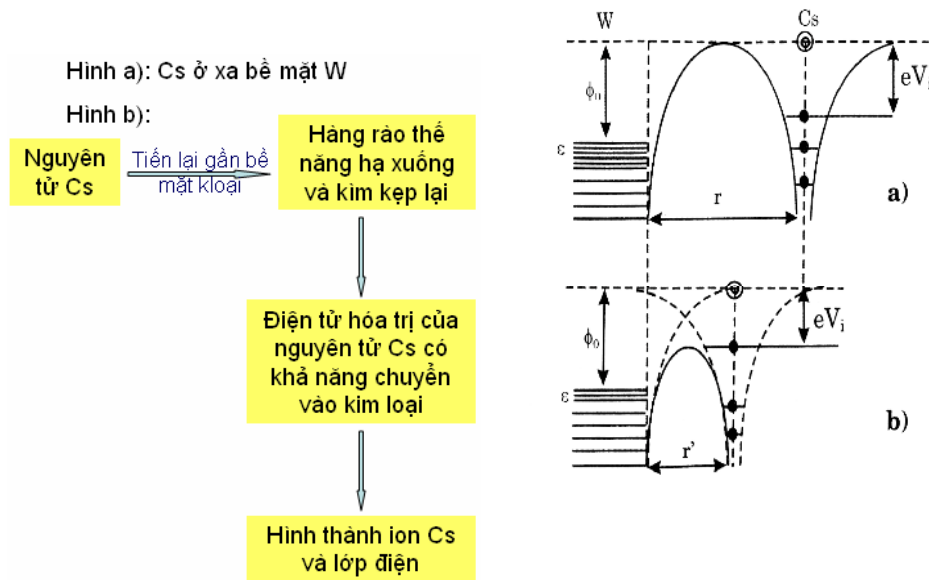
V i d: r ng c a hai l p i n.

p = e.d: momen l ng c c i n.



Hình 4.2

C ch thành l p l p ion đ ng có th gi i thích m t cách n gi n n u ta so sánh s hàng rào th n ng b m t kim lo i W v i h th n ng c a nguyên t Cs.



Hình 4.3 S n ng l ng v c ch thành l p ion Cs trên b m t W

Hình 4.3 a trình bày s hàng rào th n ng i v i tr ng h p khi nguyên t Cs xa b m t W. Khi nguyên t Cs ti n l i g n b m t kim lo i thì hàng rào th n ng gi a chúng b h xu ng và làm h p l i (Hình 4.3 b). Hàng rào th n ng gi m xu ng nh v y làm cho i n t hóa tr c a nguyên t có kh n ng chuy n vào kim lo i, vì nh ng m c n ng l ng trong kim lo i t ng ng v i n ng l ng c a nó là t do.

V y chuy n i n t t nguyên t vào kim lo i c n thi t ph i có i u ki n là:

$$\phi_0 > eV_i$$

Ví d 2:

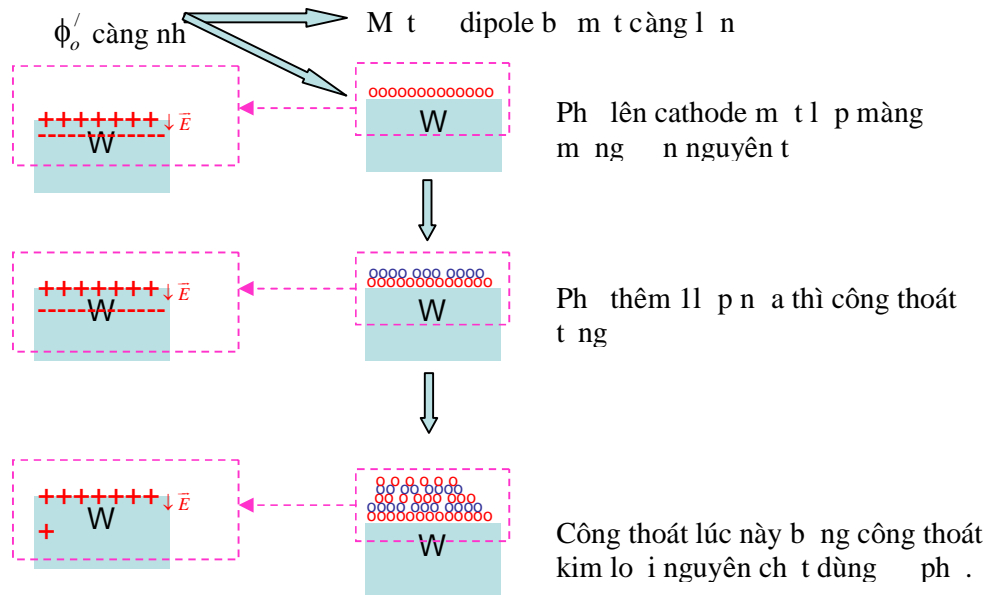
$$\left. \begin{array}{l} \text{Ph nguyên t Cs (} eV_i = 3,96 \text{ eV)} \\ \text{Ph nguyên t Rb (} eV_i = 4,16 \text{ eV)} \\ \text{Ph nguyên t K (} eV_i = 4,32 \text{ eV)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{lên kim lo i W (} \phi_0 = 4,54 \text{ eV) gi m} \\ \text{công thoát c a W.} \end{array}$$

T công th c gi m công thoát kim lo i  $\Delta\phi_0 = Fd = 4\pi n_m e p$ , khi ó công thoát cathode màng m ng là:

$$\phi'_o = \phi_0 - \Delta\phi_0 = \phi_0 - 4\pi n_m e p \quad (4.5)$$

$\phi'_o$  càng nh , khi m t dipole b m t càng l n. i l ng c c ti u c a  $\phi'_o$  t ng ng v i khi ph lên cathode m t màng m ng n nguyên t . N u ph lên cathode m t l p th hai n a thì công thoát l i t ng, vì xác su t thành l pdipole hay ion trên l p th hai này r t nh . Khi ph lên cathode m t vài l p thì công thoát s t ng ng v i công thoát kim lo i nguyên ch t dùng ph .





Hình 4.4

ng cong ph thu c gi a công thoát  $\phi'_0$  c cathode màng m ng v i ph  $\theta$  c a W – Cs, W – Ba và W – Th. ph  $\theta$  t i u nh h n l. i u ó có ngh a là n u ph dày thì dipole n m r t g n nhau, s xu t hi n s nh h ng t ng tác c a i n tr ng dipole lân c n, do ó ph i gi m momen l ng c c i n p c a chúng nên gi m công thoát kim lo i  $\Delta\phi_0 = Fd = 4\pi n_m e p$  c ng gi m theo.

V i:

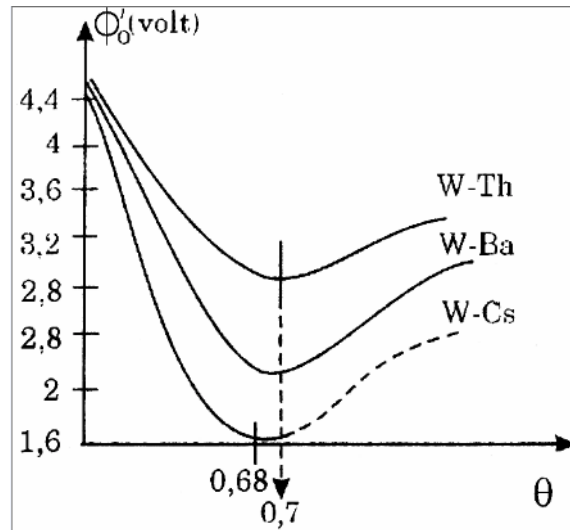
$$\theta = \frac{n_m}{n_i}$$

$\theta$  : độ phủ  
 $n_m$  : số dipole/đơn vị diện tích  
 $n_i$  : số ngử/đơn vị diện tích

cathode màng m ng, ngoài s gi m công thoát  $\phi_0$  còn quan sát c s gi m r t l n h ng s A. i v i cathode W – Cs và W – Th:  $A = 3.104 \text{ A/m}^2$ . i v i cathode W – Ba:  $A = 15.104 \text{ A/m}^2$ .

Nguyên nhân làm gi m h ng s A là do:

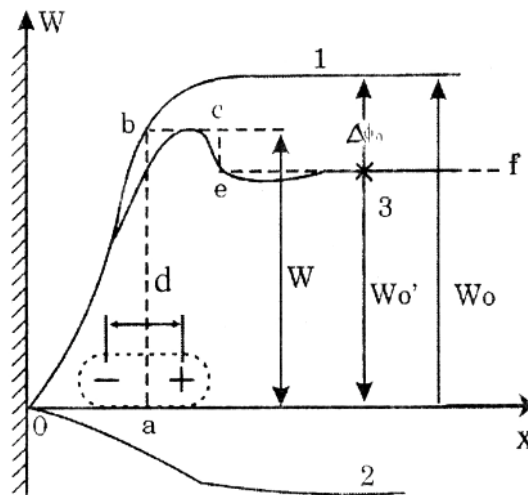
1. Do phát x v t xu t hi n r t m nh.
2. Do bi n i hàng rào th n ng d i tác ng c a i n tr ng dipole.



Hình 4.5 *ng cong ph thu c gi a công thoát hi u đ ng  $\phi_0'$  c a cathode màng m ng v i ph  $\theta$ .*

Hình sau mô t bi n i c a hàng rào th n ng đ i tác ng c a tr ng dipole. V i hàng rào th n ng nh v y, giá tr trung bình h s truy n qua  $\bar{D}$  ph i gi m r t nhi u i v i nh ng i nt có n ng l ng  $W > W_o'$ . B i vì, i v i hàng rào th n ng có đ ng n gi n ( ng không li n nét a b c d e f) v i r ng so v i chi u cao không l n l m, Fowler ã tìm c giá tr  $\bar{D}$  đ i đ ng:

$$\bar{D} = \frac{8\pi kTW_o'}{W} e^{-\frac{4\pi}{h}d\sqrt{2m(W-W_o')}} \tag{4.6}$$



Hình 4.6 Bi n i c a hàng rào th n ng đ i tác ng c a tr ng dipole

CH NG 4

ng cong 1: Hàng rào th n ng c a kim lo i tinh khi t.

ng cong 2: Bi n i th n ng c a i n t trong tr ng c a hai l p i n.

ng cong 3: Hàng rào th n ng khi có màng dipole.

B ng ph ng pháp o nhi u x i n t , ta nh n c công thoát toàn ph n Wo c a wolfram là  $13,67eV$ . Tính gi m công thoát hi u d ng  $W - Th$  ph t i u là  $\Delta\phi_0 = 1,91eV$ . Do ó  $W'_0 = 1,67eV$ .

Khi nghiên c u s phân b theo v n t c c a nhi t i n t phát x t cathode  $W - Th$ , Nottingham tìm c  $W - W'_0 = 1,5eV$ . Khi ó cao  $W$  có th b ng  $13,26eV$ . V i  $T = 1800K$ , b ng th c nghi m có th xác nh c h s  $\bar{D}$ :

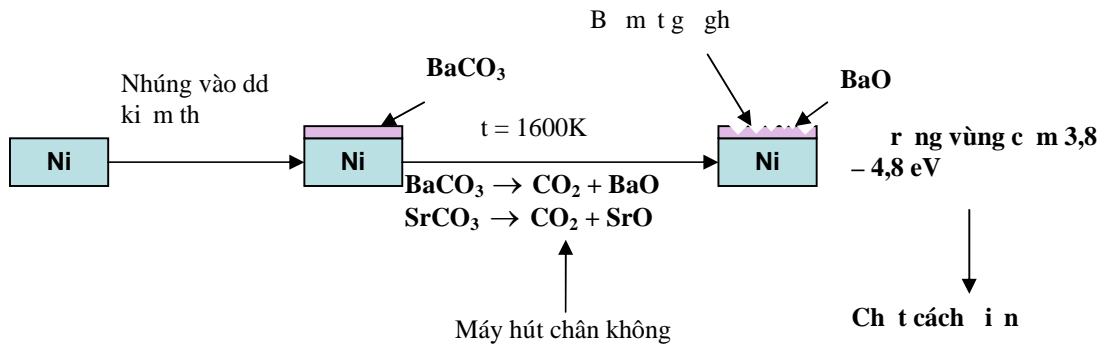
$$\bar{D} = \frac{A_m}{120,4 \cdot 10^4 A / m^2 \cdot \tilde{\nu}_0 \tilde{a}^2} = 0,025 \tag{4.7}$$

T công th c (4.7) => r ng d c a hàng rào th  $d = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$  g n b ng kho ng ng kính nguyên t  $Th (3,59 \cdot 10^{-8} \text{ cm})$ . i u ó ch ng t nh ng k t lu n trên là úng.

Trong quá trình ch t o d ng c i n t , trên b m tca có th b h p ph m t l p m ng nguyên t có ái l c i n t l n. i v i tr ng h p này thì nguyên t h p ph s kéo i n t t b m t kim lo i r a l p ph v à hình thành dipole i n có c c âm phía ngoài. i n tr ng gây nên b i dipole này s hãm i n t và do ó làm t ng công thoát  $\phi_0$  c a cathode. Ví d nh nguyên t O (c a khí  $O_2$  trong không khí) h p ph trên b m t cathode  $W$  thì kh n ng phát x gi m i r t nhi u.

### 4.2 CATHODE OXIDE

Cathode oxide là l p oxide kim lo i ki m th ( $BaO, SrO, CaO$ ) ph l ên trên c t kim lo i (ví d  $Ni$ ).



CH NG 4

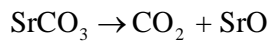
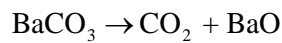
Hình 4.7 S quá trình t o cathode oxide

Quá trình t o cathode oxide:

Nh ng oxide này trong không khí s h p th h i n c, d b x p. Vì v y l p oxide này l p vào d ng c và c hút khí b ng máy b m chân không.

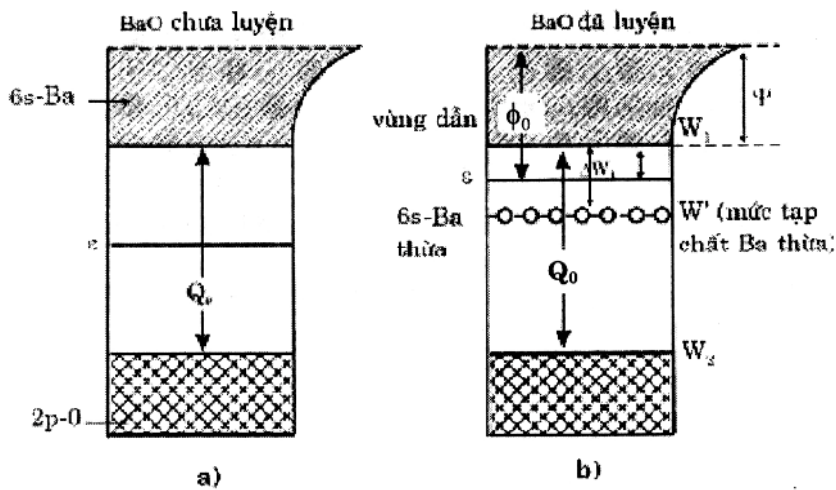
Th ng mu n t o cathode oxide, u tiên nhúng c t kim lo i vào carbonate kim lo i ki m th ( $BaCO_3, SrCO_3, CaCO_3$ ). Sau khi cathode khô thì l p nó vào d ng c và ti p t c hút khí.

un nóng cathode t ng kho ng th i gian ng n v i nhi t 1600K phân h y carbonate ra oxide theo công th c:



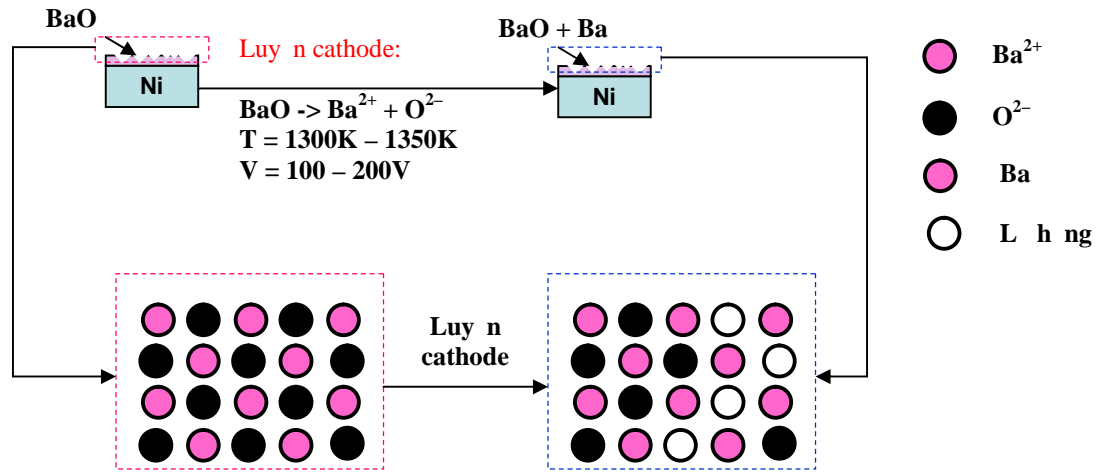
$CO_2$  s b máy chân không hút, cathode oxide nh th có nhi u l nh , b m t g gh .

Cathode trong d ng này có r ng vùng c m  $Q_0 = 3,8 - 4,8$  eV nên nó là ch t cách i n. Các m c n ng l ng c a nó c trình bày hình sau ây:



Hình 4.8 Các m c n ng l ng c a cathode oxide (BaO) tr c (a) và sau (b) khi luy n

Mu n cho kh n ng phát x i n t t ng, c n ph i luy n cathode oxide, t c l à làm xu t hi n nh ng nguyên t th a kim lo i ki m th trong m ng tinh th oxide, hay bi n oxide thành bán d n lo i n.



Hình 4.9 Ph ng pháp luy n cathode oxide

Ph ng pháp luy n cathode: cathode c t nóng n nhi t  $T = 1300K - 1350K$  và t vào gi a anode – cathode m t hi u i n th  $V = 100 - 200V$ .

t nóng có ph n ng:



N u t hi u i n th  $V$  vào thì khi dòng i qua BaO, m t ph n  $O_2$  – g n b m t s thoát ra chân không và l i trong m ng nh ng l h ng.

Nh ng ion  $O_2$ – t phía trong s chuy n ra chi m nh ng l h ng này. i u ó t ng ng v i l h ng i sâu vào trong m ng và xu t hi n nh ng nguyên t t do Ba. V i ch nh th s thành l p Ba t BaO và Ba phân b kh p m ng oxide BaO và trên b m t c a nó.

Sau khi luy n xong, các nguyên t t do Ba óng vai trò donor và thành l p bán d n lo i n.

Khi nhi t không cao l m, b c ion hóa donor nh v à i n t t vùng hóa tr không n ng l ng chuy n n vùng d n thì m c n ng l ng i n t nh n c:

$$E = \frac{W_1 + W'}{2} - \frac{kT}{2} \ln \left[ 2 \frac{L^3}{h^3} (2\pi mkT)^{\frac{3}{2}} \frac{1}{Z'} \right] \tag{4.8}$$

$Z'$ : s m c t p ch t donor trong bán d n.

Ph ng trình m t dòng phát x i n t :

$$j = A_0 \overline{DT^2} e^{\frac{\Psi + W_1 - \epsilon}{kT}} \tag{4.9}$$

$$\text{Thay (1) vào (2)} \Rightarrow j = A_2 \bar{D} n_o^{1/2} T^2 e^{\frac{\Psi + W_1 - \epsilon}{kT}}$$

$$\text{V i: } A_2 = \frac{2^{3/4} \pi^{1/4} e m^{1/4} k^{5/4}}{h^{3/2}} = 1,66 \cdot 10^{-6} \frac{A}{\text{cm}^2 \cdot \text{ñ} 0 \text{đ}^{3/5}}$$

$$n_o = \frac{Z'}{L^3}: \text{m t tr ng thái t p ch t có th có c a i n t .}$$

### 4.3 K TLU N

V i vi c ph thêm trên b m t kim lo i làm cathode (nh W) m t kim lo i thích h p (nh Th, Cs) v i i u ki n  $\phi_o > eV_i$  ta s làm gi m công thoát hi u d ng c a kim lo i cathode. Do ó s làm t ng kh n ng phát x nhi t i n t c a cathode màng m ng so v i kim lo i cathode ban u.

Ngoài ra ta có th ph lên trên c t kim lo i (ví d Ni) m t l p oxide kim lo i ki m th (BaO, SrO, CaO) t o thành cathode oxide, sau quá trình luy n cathode oxide s làm cho kim lo i ki m th (Ba, Sr, Ca) tr thành bán d n lo i n (có nhi u i n t t do). Do ó làm t ng kh n ng phát x nhi t i n t cho kim lo i (Ni).

# 5 S T NG T QUANG - C

M t trong nh ng nguyên lý c b n c a quang h c là nguyên lý Fermat. Theo nguyên lý này, khi ánh sáng lan truy n t i m A n i m B thì trong t t c các qu o có th nó s truy n theo qu o nào mà th i gian c n thi t i h t qu o là c c tr . Nguyên lý ó c bi u di n d ng toán h c nh sau:

$$\delta \left( \int_A^B dt \right) = \delta \int_A^B \frac{ds}{v} = \delta \left( \int_A^B n ds \right) = 0 \quad (5.1)$$

V i v: v n t c lan truy n ánh sáng trong môi tr ng có chi t su t n, n c tính b i công th c n = c/v , c: v n t c lan truy n ánh sáng trong chân không.

Trong c h c c ng có nguyên lý tác d ng t i thi u, c bi u di n d i d ng toán h c sau

$$\delta \left( \int_A^B W_d dt \right) = \delta \left( \int_A^B \frac{m v^2}{2} dt \right) = 0 \quad (5.2)$$

ó,  $W_d$ : ng n ng c a h t, v-v n t c c a h t

Gi thi t electron chuy n ng vào vùng có i n th U t i m ban u có i n th U=0, v i v n t c ban u v=0, theo nh lu t b o toàn n ng l ng ta có:

$$\frac{m v^2}{2} = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e}{m}} U \quad (5.3)$$

T bi u th c (2.2) ta có:

$$\delta \left( \int_A^B \frac{m v^2}{2} dt \right) = \delta \left( \int_A^B \frac{m v^2}{2} \frac{ds}{v} \right) = \delta \left( \int_A^B \frac{m v}{2} ds \right) = \delta \left( \int_A^B v ds \right) = 0 \quad (5.4)$$

Thay (2.3) vào (2.4) ta c

$$\delta \left( \int_A^B \sqrt{U} ds \right) = 0 \quad (5.5)$$

So sánh (5.1) v i (5.5) ta th y hai bi u th c trên hoàn toàn t ng t nhau, t ây chúng ta th y r ng có th xem qu o c a h t tích i n trong tr ng t nh

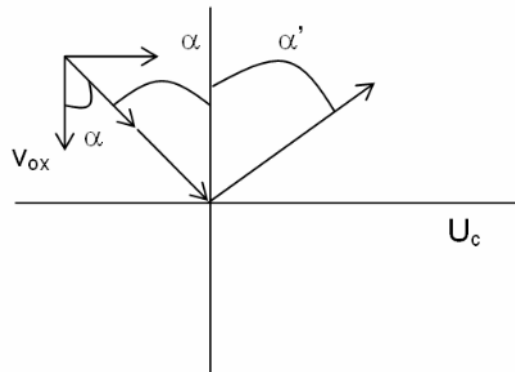
in gi ng nh ng ic a tia sáng lan truy n qua môi tr ng xác nh: có óng vai trò nh chi t su t. Ta g i ó là s t ng t quang c .

T ó ta có nh lu t quang h c c a chùm h t mang i n:

**nh lu t truy n th ng**: Trong vùng có i n th không i, h t tích i n chuy n ng th ng (vì  $v$  mà  $U = \text{const}$ ).

**nh lu t ph n x**: Khi chùm h t tích i n ph n x trên m t ng th thì góc ph n x b ng góc t i.

Ta xét i u ki n ph n x m t chùm electron: h ng m t chùm electron có v n t c ban u vo vào m t b m t kim lo i có i n th âm  $U_c$ . electron t i b m t kim lo i thì v n t c electron th a i u ki n: v i tr c x vuông góc v i b m t kim lo i.



Hình 5.1 Hi n t ng ph n x tia i n t .

$V_{ox} = v_0 \cos \alpha$ , do ó i u ki n trên c vi t l i là

$$\frac{m}{2} v_0^2 \cos^2 \alpha \geq eU_c \quad (5.6)$$

$$V_i, \quad \frac{mv_0^2}{2} = eU_0, \quad \frac{mv_0^2}{2} \cos^2 \alpha = eU_0 \cos^2 \alpha = eU_0(1 - \sin^2 \alpha)$$

Nên i u ki n electron t i b m t kim lo i là  $|eU_0|(1 - \sin^2 \alpha) \geq |eU_c|$

Hay

$$\sin \alpha \leq \sqrt{1 - \frac{|U_c|}{|U_0|}} \quad (5.7)$$

Ng c l i, i u ki n chùm tia ph n x tr l i là:



$$\sin \alpha \geq \sqrt{1 - \frac{U_c}{U_0}} \quad (5.8)$$

**nh lu t khúc x :** Khi h t tích i n chuy n ng t vùng có th  $U_1$  sang vùng có th  $U_2$ , h ng chuy n ng và l n c a v n t c s thay i và c xác nh b ng nh lu t khúc x :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_1}} \quad (5.9)$$

Hi n t ng khúc x chùm h t tích i n này là do s tác d ng c a l c i n tr ng t n t i m t l p m ng phân cách gi a hai vùng có i n th khác nhau làm thay i thành ph n  $v_{\perp}$  (vuông góc v i m t phân cách) c a v n t c.

l p phân cách h t tích i n ch u tác d ng c a l c i n tr ng h ng theo tr c y. Vì v y thành ph n v n t c thay i, thành ph n v n t c  $v_{//}$  không i  $v_{1x}=v_{2x}$  hay  $v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$

Suy ra

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_1}} \quad (5.10)$$

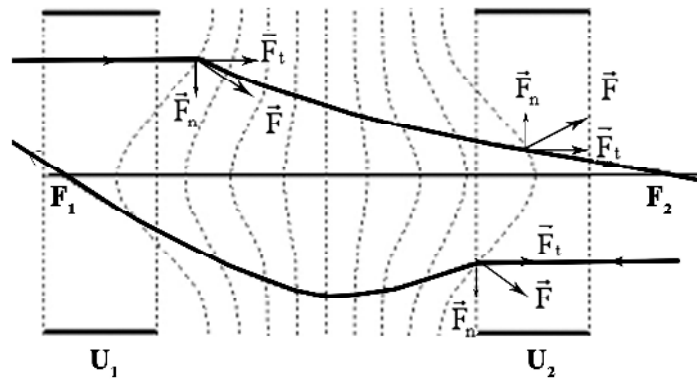
Trong ó là chỉ t su t quang i n t . Khi  $U_1 < U_2$  – tr ng t ng t c, góc khúc x nh h n góc t i, tia khúc x l ch h n v pháp tuy n và tr ng có tác d ng h i t . Ng c l i, khi  $U_1 > U_2$ , tr ng c n, góc khúc x l n h n góc t i, tia khúc x s xa pháp tuy n h n và tr ng có tác d ng phân k .

Khi electron chuy n ng trong t tr ng chúng ch u tác d ng c a l c t , l c này ph thu c vào i n tích c a h t, l n và h ng c a v n t c h t mang i n. Do ó, trong tr ng h p t tr ng không có s t ng t nh trong quang h c: t tr ng là môi tr ng b t ng h ng, còn i n tr ng là môi tr ng ng h ng.

# 6 QU O C A ELECTRON TRONG I N T R NG, T TR NG

Th u kính i n t c dùng h i t hay phân k chùm i n t , t o c b ng i n t r ng không ng nh t hay t tr ng không ng nh t có i x ng t r c.

## 6.1 Chuy n ng c a electron trong i n t r ng:



Hình 6.1 qu o c a electron trong i n t r ng

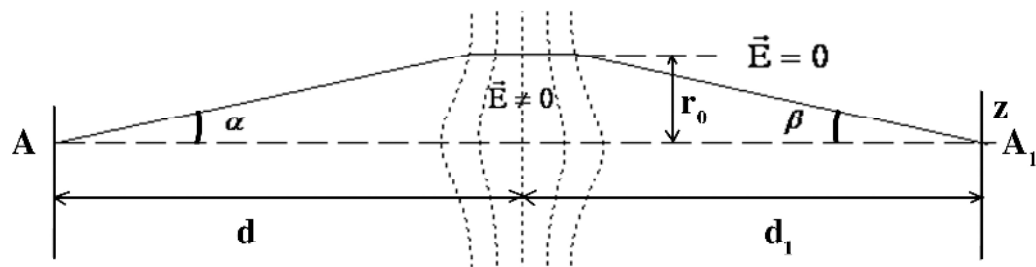
Ph ng trình chuy n ng c a electron trong i n t r ng không u i x ng t r c:  $U(r)=U(-r)$  trong h t a t r :

$$\begin{aligned}
 m \frac{d^2 r}{dt^2} &= -e E_r = s \frac{\partial U}{\partial r} \\
 m \frac{d^2 z}{dt^2} &= -e E_z = s \frac{\partial U}{\partial z}
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

Theo nh lu t b o toàn n ng l ng và bi n i toán h c, ta thu c ph ng trình sau:

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + \frac{U'_0(z)}{2U_0(z)} \frac{dr}{dz} + \frac{U''_0(z)}{4\sqrt{U_0(z)}} r = 0
 \tag{6.2}$$

Dùng công thức trên ta giải bài toán trong trường hợp mặt thu kính tnh i n m ng và y u. Thu kính tnh i n m ng và y u khi vùng không gian trong thu kính có là h p, trong vùng ó giá trị r c a i n t không k p thay i nhi u. xác nh, ta xét m t chùm i n t t i m A cách khe thu kính m t kho ng d và làm thành v i tr c m t góc , khi i qua thu kính chùm này b khúc x và c t tr c thu kính t i i m A<sub>1</sub>, kho ng cách nh d<sub>1</sub> nh hình v sau:



Hình 6.2 Qu o c a i n t khi i qua thu kính m ng

Các góc , u r t nh . Ph ng trình qu o trên có th vi t v d ng nh sau:

$$\frac{d}{dz} \left( \sqrt{U_0(z)} \frac{dr}{dz} \right) = - \frac{U_0''(z)}{4\sqrt{U_0(z)}} r(z) \quad (6.3)$$

Tích phân theo z t A n A<sub>1</sub>, ta có:

$$\sqrt{U_0(z)} \frac{dr}{dz} \Big|_A - \sqrt{U_0(z)} \frac{dr}{dz} \Big|_{A_1} = - \frac{1}{4} \int_A^{A_1} \frac{U_0''(z)}{\sqrt{U_0(z)}} r(z) dz \quad (6.4)$$

Vì hàm s d i d u tích phân ch khác không trong m t vùng r t h p, trong ó r thay i r t ít so v i r<sub>0</sub>. Khi ó ta thay các bi u th c sau vào bi u th c trên:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dz} \Big|_A &= \frac{r_0}{d} = \operatorname{tg} \alpha \\ \frac{dr}{dz} \Big|_{A_1} &= - \frac{r_0}{d} = \operatorname{tg} \beta \end{aligned} \quad (6.5)$$

$$\frac{r_0}{d} \sqrt{U_A} - \frac{r_0}{d} \sqrt{U_{A1}} = -\frac{r_0}{4} \int_A^{A1} \frac{U_0''(z)}{\sqrt{U_0(z)}} dz \quad (6.6)$$

N u  $d = \infty$  (chùm electron song song) và  $d_1=f_2$ , ta có th tính tiêu c ph i:

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{r_0}{4} \int_A^{A1} \frac{U_0''(z)}{\sqrt{U_0(z)}} dz \quad (6.7)$$

N u  $d_1=\infty$  ta tính c tiêu c trái  $d=f_1$ :

$$\frac{1}{f_1} = -\frac{r_0}{4} \int_A^{A1} \frac{U_0''(z)}{\sqrt{U_0(z)}} dz \quad (6.8)$$

Ta th y r ng  $f_1$  và  $f_2$  ph thu c vào d u o hàm b c hai c a  $U_0''(z)$

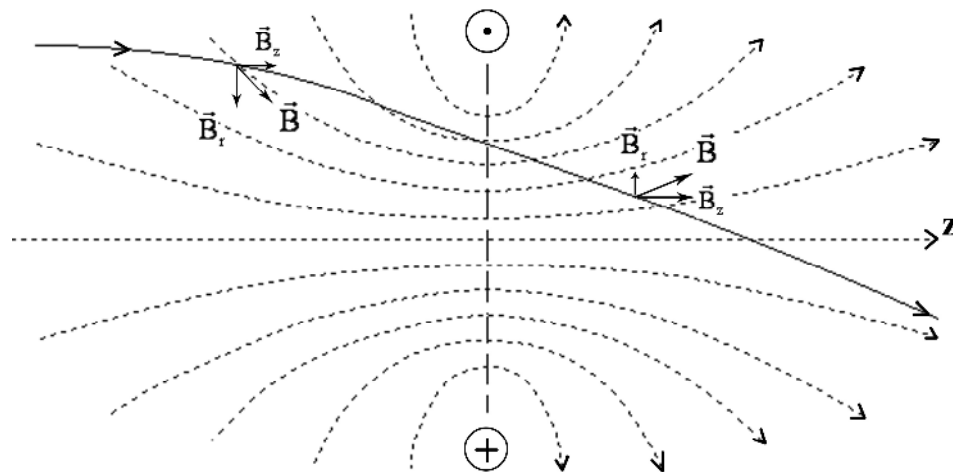
N u  $U_0''(z) > 0$  thì  $f > 0$ , th u kính h i t .

N u  $U_0''(z) < 0$  thì  $f < 0$ , th u kính phân k .

## 6.2 Chuy n ng c a electron trong t tr ng:

Ta xét chuy n ng c a electron có v n t c ban u  $v_0$  trong t tr ng c a cu n dây ng n, c xem nh th u kính t m ng.

T tr ng không u nh ng có tr c i x ng c minh h a b ng hình



Hình 6.3 Qu o c a electron trong t tr ng

Ph ãng trình chuy ãn ãng:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -e [\vec{v} \times \vec{B}] \quad (6.9)$$

Ph ãng trình Maxwell:  $\text{div } \vec{B} = 0$

Hay

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r B_r) + \frac{\partial B_z}{dz} = 0 \quad (6.10)$$

Tính g ãn ãng ph ãng trình qu ão c ã electron :

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + \frac{e}{m} \frac{B_{z0}^2(z)}{8U_0} r = 0 \quad (6.11)$$

ây là ph ãng trình c ã b ãn c ã th ã u k ãnh t ã. L ã y tích ph ãn ph ãng trình trên r ã i gi ã i nh ã i v ã i tr ãng h ã p th ã u k ãnh t ã nh ã i n ta tính ã c tiêu c ã c ã th ã u k ãnh t ã. Tiêu c ã c ã th ã u k ãnh t ã :

$$\frac{1}{f} = \frac{e}{8U_0} \int_{-\infty}^{\infty} B_{z0}^2(z) dz \quad (6.12)$$

Công th ã c trên cho th ã y f lu ãn lu ãn d ãng, do ó th ã u k ãnh t ã là th ã u k ãnh h ã i t ã.

# 7 NG D NG C A PHÁT X NHI T I NT

Như chúng ta đã biết, phát x n h i t i n t là ngu n cung c p i n t ch y u trong các òn i n t và các thi t b k thu t. Khi khoa h c càng phát tri n thì các ngu n phát x n h i t i n t càng c c i t i n và ng d ng r ng rãi h n trong k thu t i n t , ch ng h n nh trong kính hi n vi i n t giúp ta bi t c c u trúc b m t c a v t li u, phân tích t ng ph n thành ph n hóa h c và c u trúc tinh th c a m u, hay trong k thu t quang kh c lithography. Trong ph n này chúng tôi xin trình bày ng d ng c a ngu n phát x n h i t i n t trong kính hi n vi i n t SEM và trong k thu t lithography.

## 7.1 KÍNH HI N VI I NT QUÉT –SEM

### 7.1.1 L C S V KÍNH HI N VI I NT SEM

Kính hi n vi i n t quét, SEM (Scanning Electron Microscope), là m t kính hi n vi i n t có th t o ra nh v i phân gi i cao c a b m t m u v t b ng cách dùng m t chùm i n t h p quét trên b m t m u. V i c t o ra nh c a m u v t c th c hi n thông qua v i c ghi nh n và phân tích các b c x phát ra do t ng tác c a chùm i n t v i b m t c a m u v t. Dùng kính hi n vi i n t chúng ta có th bi t c c u trúc tinh th c ng nh b m t c a m u v t.

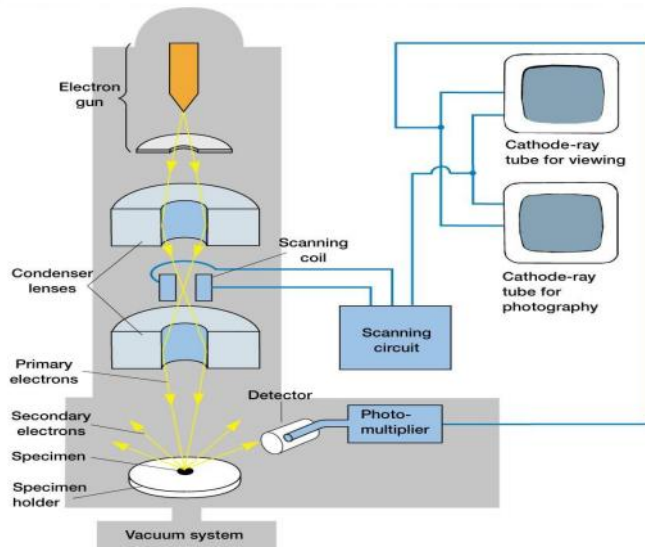
Kính hi n vi i n t SEM u tiên c phát tri n b i nhà v t lý ng i Nga Zworykin (1889- 1982) vào n m 1942. n n m 1948 C. W. Oatley (1904- 1996) phát tri n kính hi n vi i n t quét trên mô hình này v i chùm i n t h p có phân gi i n  $500 \text{ \AA}$ . Tuy nhiên, kính hi n vi i n t quét th ng ph m u tiên c s n xu t vào n m 1965 b i Cambridge Scientific Instrument Mark I.

### 7.1.2 C U T O C A KÍNH HI N VI I NT SEM:

Kính hi n vi i n t g m có các b ph n sau:

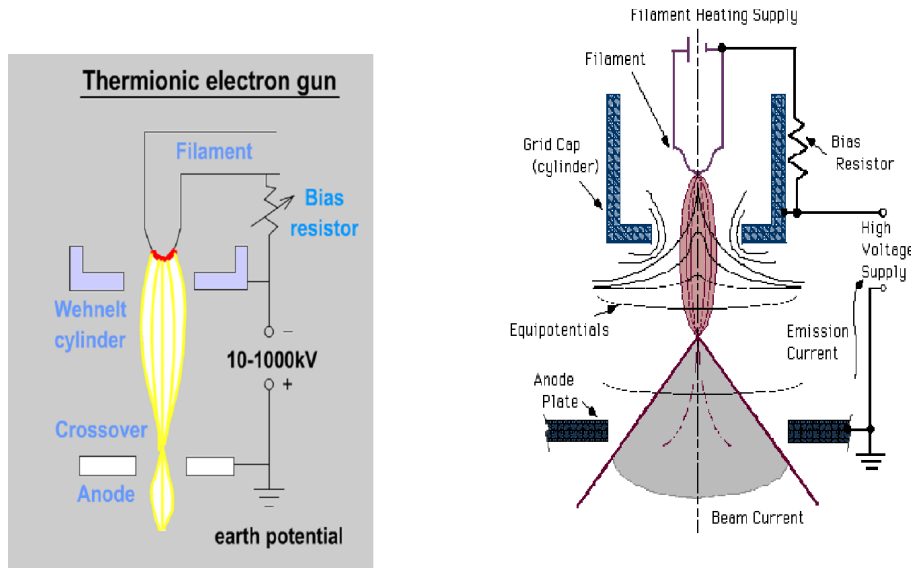
- + Ngu n phát i n t (súng phóng i n t ).
- + H th u kính t .
- + H th ng gi m u.

+ H th ng thu nh n nh.



Hình 7.1 S c u t o kính hi n vi SEM

a) Súng i n t :



Hình 7.2 S súng i n t

Súng phóng i n t t o ra chùm i n t v i kích th c i m nh , n ng l ng có th i u ch nh c và tán s c nh . Súng i n t c dùng trong SEM có nhi u lo i. Nó có th ho t ng theo c ch phát x nhi t, phát x tr ng ho c k t h p phát x nhi t v i phát x tr ng. ng phát x tr ng ho t ng không c n

CH NG 7

nhi t cao do ó có b n cao. C ng ðòng trong ng phát x tr ng r t l n nên t o ra nh có sáng cao. Kích th c h i t c a ng phát x tr ng nh nên phóng i l n. ng phát x tr ng ho t ng trong môi tr ng chân không siêu cao, nên giá thành r t cao. Phát x nhi t thì yêu c u v chân không không quá kh t khe. Ph n này ch trình bày súng i n t theo c ch phát x nhi t.

Súng i n t c u t o g m có ba ph n: s i t, hình tr Wehnelt, b n anode. Trong ó, s i t c ng có các lo i nh W (tungsten), LaB<sub>6</sub>. Tr c ây ng i ra ðùng tungsten, và súng i n t tungsten c ðùng ã h n 70 n m do giá thành c a nó th p, và m r ng chùm tia nh . S i t Vonfram t o nên i n t n gi n nh t b ng phát x nhi t i n t t u dây hình k p tóc, trong i u ki n chân không không quá kh t khe. Tuy nhiên, ngu n này cho hi u qu th p do thông s ngu n không t t. Hi n nay ng i ta th ng s ð ng súng phóng i n t c t o nên b ng nung nóng u c a n tinh th LaB<sub>6</sub>. Bán kính c a u c 5  $\mu\text{m}$ . D i ây là b ng so sánh các thông s c a các ngu n.

	Units	Tungsten	LaB <sub>6</sub>	FEG (cold)	FEG (thermal)	FEG (Schottky)
<b>Work Function</b>	eV	4.5	2.4	4.5	-	-
<b>Operating Temperature</b>	K	2700	1700	300	-	1750
<b>Current Density</b>	A/m <sup>2</sup>	5*10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>10</sup>	-	-
<b>Crossover Size</b>	$\mu\text{m}$	50	10	<0.005	<0.005	0.015-0.030
<b>Brightness</b>	A/cm <sup>2</sup> sr	10 <sup>5</sup>	5 × 10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>
<b>Energy Spread</b>	eV	3	1.5	0.3	1	0.3-1.0
<b>Stability</b>	%/hr	<1	<1	5	5	~1
<b>Vacuum</b>	PA	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-8</sup>
<b>Lifetime</b>	hr	100	500	>1000	>1000	>1000

Comparison of Electron Sources at 20kV

Nguyên lý ho t ng c a súng phóng i n t :



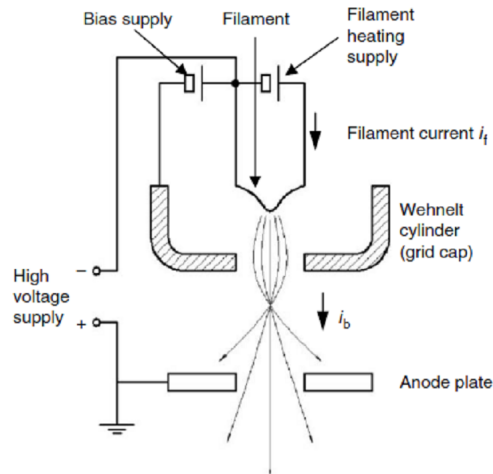


FIGURE 1.8. Schematic of the self-biased thermionic tungsten electron gun. (The effect of the negative bias of the Wehnelt cylinder on the electron trajectory is shown.)

### Hình 7.3

Nguồn phát x n h i t i n t c t b n trong hình tr Wehnelt v i c a s m ho t ng nh m t v t b o v . S i t tungsen có ng kính kho ng 100 . Nó c nung nóng n h i t kho ng 2800K, b ng cách áp dòng (filament current). M t th âm thay i trong kho ng t 0.5 -30 kV gi a tungsen và kh i hình tr c t o ra b ng cách cung c p m t i n th l n vào. i n t phát ra t filament s i n m t i n c c g i là i n c c Wehnelt có tác đ ng nh m t th u kính t nh i n, v a t ng t c s c p, v a có tác đ ng nh h ng chuy n ng c a chùm i n t chuy n ng theo m t ph ng nh t nh. Khi anode c t vào, i n tr ng gi a s i t và anode hút và gia t c electron n anode. ng kính chùm tia g n anode kho ng 10-50  $\mu m$

#### b) H th u kính t

H th u kính t có tác đ ng t p trung chùm i n t v a c phát ra kh i s úng phóng i n t và i u ki n kích th c c ng nh h i t c a chùm tia. Tùy vào ng đ ng, yêu c u v phân gi i, b n ch t m u mà ng i ta ch n bao nhiêu th u kính h i t . Có th là hai, ba, ho c nhi u h n.

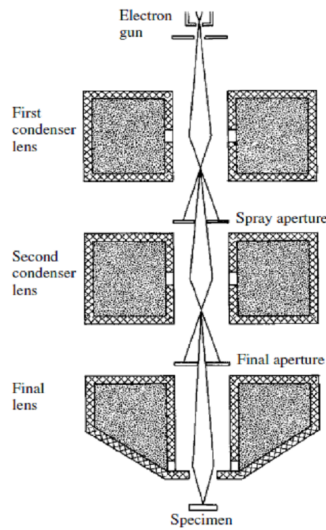


Fig. 3.4. A schematic diagram of a three-lens probe-forming column as used in SEMs etc.: lenses produce a demagnified image of the electron source; aperture diaphragms intercept the unwanted part of the beam.

#### Hình 7.4

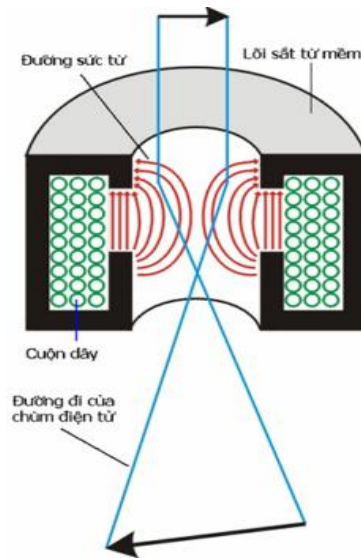
Trong hình thức kính t ng i ta chia làm hai lo i là th u kính t sáng và v t kính.

+ Th u kính t sáng (Condenser lens) dùng h i t chùm tia sau khi phát ra t súng i nt hay là bi n chùm tia thành chùm tia song song v i tr c th u kính. M t kh u t sáng th ng thì th ng k th p v i th u kính t sáng và tiêu i m c a chùm i nt thì trên kh u .

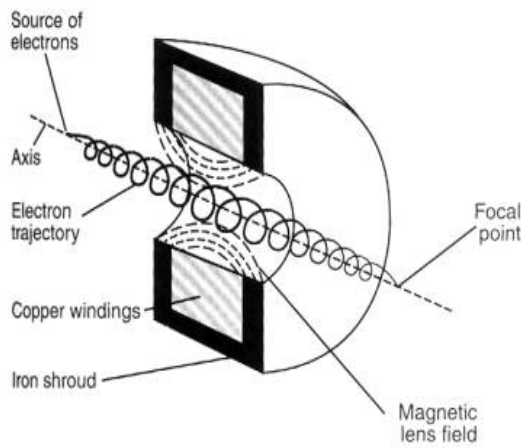
+ V t kính (object lens) th ng c dùng h i t chùm i nt vào i m dò trên b m t m u giúp h i t t t h n. Vi c ch n kích th c kh u s giúp ta gi m ng kính c a chùm i nt lên b m t m u và c i thi n phân gi i hình nh thu c.

Th u kính t th c ch t là m t nam châm i n, có c u trúc là m t cu n dây cu n trên lõi làm b ng v t lí u t m m. Hai u c c s t i x ng quay luân phiên.

tâm hai c c có m t l nó cho chùm i nt i qua. Khe th u kính tách 2 u c c, t i ó t tr ng tác ng làm h i t chùm tia. V trí tiêu i m có th c i u ch nh b ng cách thay i dòng th u kính t sáng. M t kh u t sáng th ng thì th ng k th p v i th u kính t sáng và tiêu i m c a chùm i nt thì trên kh u . Vì cu n dây mang dòng i n nên nó t a r t nhi u nhi t và òi h i m t h làm l nh (b ng n c ho c Nit l ng).



Hình 7.5 C u t o c a t h u k í n h t



Hình 7.6 S t r u y n q u a c a i n t q u a t h u k í n h t

Th u k í n h t h o t ñ g d a t r ê n n g u y ê n l ý l c h ñ g i c a i n t t r o n g t r ñ g d ì t á c d ñ g c a l c L o r e n t z . P h ñ g t r ñ n g c h u y n ñ g c a i n t t r o n g t t r ñ g :

L y t í c p h â n v à g i ñ p h ñ g t r ñ n g n à y t a t h u c c ñ n g t h c x á c ñ h b á n k í n h q u o v à t i ê u c c a t h u k í n h

$$\frac{1}{f} = \frac{e}{8U_0} \int_{-\infty}^{\infty} B_{z0}^2(z) dz \tag{7.1}$$

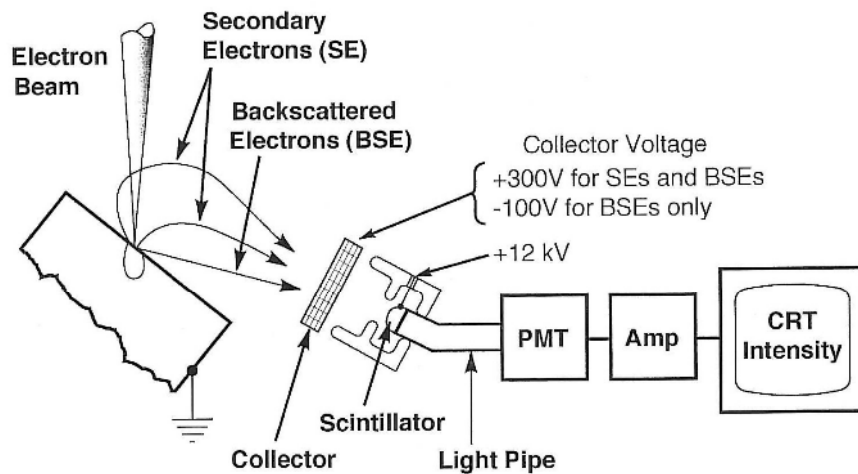
và 
$$r = \frac{\left[ 2m_e \times E \left( 1 + \frac{E}{2E_0} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}{eB} \tag{7.2}$$

V i E: n ng l ng i nt d i th t ng t c V; E<sub>0</sub>: N ng l ng ngh ; B: C m ng t trong.

Nh v y có th i u khi n qu o c a i n t b ng cách i u khi n s phân b c a t tr ng B trong khe t t o cho i n t chuy n ng gi ng nh s khúc x ánh sáng trong th u kính quang h c.

**c) H th ng thu nh n và t o nh**

Khi ánh sáng n t ng tác v i m u, s có các b c x phát ra ch ng h n nh i n t tán x àn h i, i n t th c p, i n t Auger, tia X..tùy vào lo i b c x chúng ta mu n thu nh n mà ta dùng detector v i th thích h p. Thông qua vi c ghi nh n và x lý tín hi u s cho ta thông tin v m u. H th ng thu nh n, x lý tín hi u và t o nh c cho b i s sau. Trong ó các b c x sau khi phát ra c detector thu nh n. Sau ó nó chuy n n nhân quang i n chuy n tín hi u i n thành tín hi u quang. Tín hi u i n i n máy khu ch i và sau cùng hi n th lên màn hình.



**Figure 2.4.** Diagram showing backscattered and secondary electron collection of these signals by the Everhart–Thornley (E–T) detector.

Hình 7.7

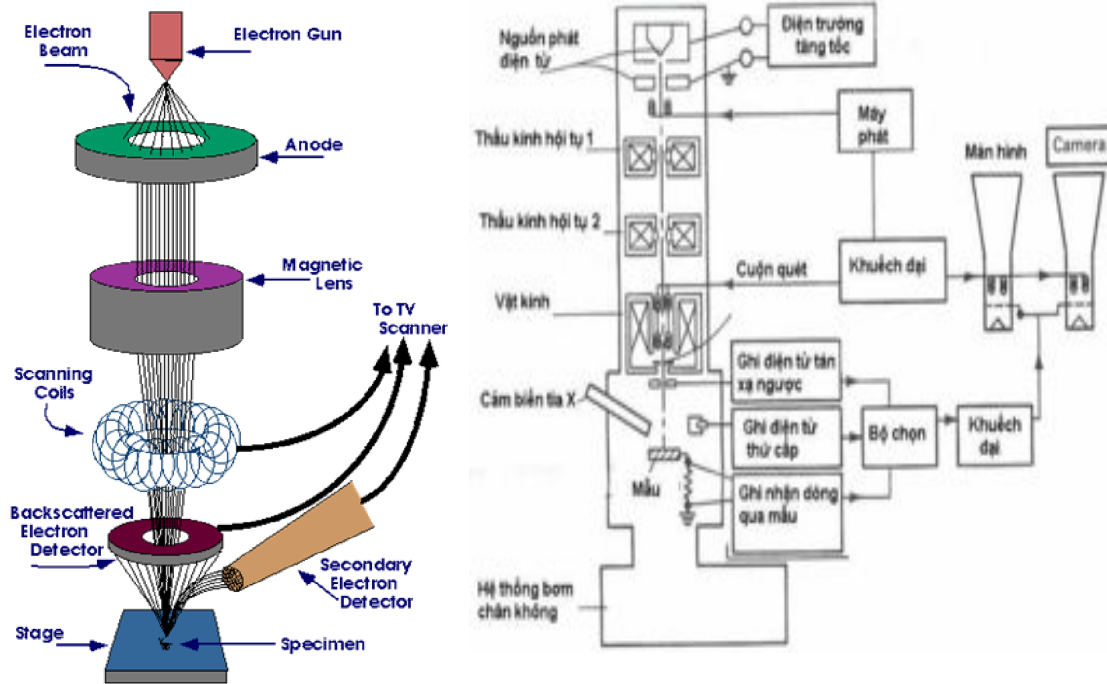
CH NG 7

Do n ng l ng c a chùm i n t nh (th ng <50eV) nên thu nh n i n t th c p ng i ta dùng detector Everhart-Thornley . ó là m t lo i ng nhân quang nh p nháy. i n t th c p tr c h t nó c thu nh n b ng th hút kho ng 400V và sau ó nó c gia t c n m t th hi u d ch đ ng 2000V. i n t th c p c gia t c và m nh lên gây nên nh p nháy và phát ra ánh sáng và c d n n ng nhân quang bên ngoài h SEM b ng ng d n sáng và c a s c a bu ng m u. Sau khi qua ng nhân quang, tín hi u i n c khu ch i, c hi n th và l u gi cho hình nh s . sáng c a tín hi u tùy thu c vào s i n t th c p n c detector. thu nh n i n t tán x ng c thì ng i ta dùng th hi u d ch - 100V. BSEs c thu nh n có th b ng detector nh p nháy ho c detector bán d n.

### 7.1.3 NGUYÊN T CHO T NG C A KÍNH HI N VI I N T SEM

i n t c phát ra t súng phóng i n t s i n m t i n c c Wehnett có tác d ng nh m t th u kính t nh i n, v a t ng t c s c p v a có tác d ng nh h ng chuy n ng c a chùm i n t chuy n ng theo m t ph ng nh t nh. Sau ó các i n t n anode và c t ng t c. Sau ó chùm i n t s i qua h th u kính t và c h i t thành chùm i n t h p (c vài A0 n vài nanomet), sau ó n quét trên b m t c a m u nh các cu n quét t nh i n. Khi i n t t ng tác v i b m t m u v t, s có các b c x phát ra, s t o nh trong SEM v à các phép phân tích c th c hi n thông qua vi c phân tích các b c x n ày. Các b c x ch y u g m:

- + **i n t tán x ng c àn h i:** Khi chùm i n t n p vào m u, nhi u i n t b tán x àn h i và không i n ng l ng ban u c a chúng.
- + **i n t tán x ng c không àn h i:** Khi chùm i n t n p vào m u và b t ng c tr l i v i các n ng l ng khác nhau. S tán x này ph thu c vào thành ph n hóa h c b m t m u, do ó nh i n t tán x ng c r t h ích cho phân tích v t ng ph n thành ph n hóa h c. Ngoài ra, i n t tán x ng c có th dùng ghi nh n nh nhi u x i n t tán x ng c, giúp cho phân tích c u trúc tinh th (ch phân c c i n t).



Hình 7.8 S k h i c a kính hi n vi i n t

+ **i n t t h c p:** ây là ch ghi nh thông d ng nh t c a kính hi n vi i n t quét, chùm i n t t h c p có n ng l ng th p (th ng nh h n 50 eV) c ghi nh n b ng ng nhân quang nh p nháy. Vì chúng có n ng l ng th p nên ch y u là các i n t phát ra t b m t m u v i sâu ch vài nanomet (<2 nm), do v y chúng t o ra nh hai chi u c a b m t m u. Các i n t t h c p này c detector thu và m. Càng nhi u i n t t h c p thì nh i m càng sáng.

**7.1.4 S T O N H C A K Í N H H I N V I I N T S E M:**

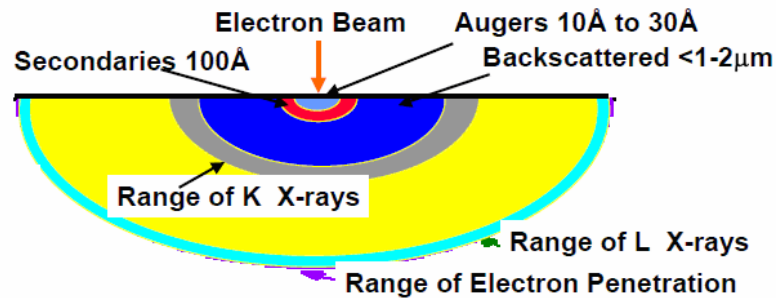
Kính hi n vi i n t SEM cho ta thông tin m u thông qua các hình nh c hi n th . Có nhi u y u t nh h ng n các thông s c a nh thu c nh phân gi i, hi n t ng quang sai, h ng t m u, v trí t detector, ng kính u dò i n t ,... Vì v y, vi c c i thi n các y u t nh h ng n ch t l ng nh là m t nhi m v c t ra i v i các kính hi n vi i n t nh m t o ra các kính hi n vi i n t có phân gi i cao h n và kh c ph c c hi n t ng quang sai.

CH NG 7

**a) Th tích t ng tác m u (Specimen Interaction Volume):**

Là ph n th tích bên trong m u có x y ra t ng tác v i chùm i nt . Th tích t ng tác m u ph thu c

- + S nguyên t c a v t li u
- + Th ho t ng c a chùm i nt
- + Góc t i c a chùm i nt .



Hình 7.9 Specimen Interaction Volume

**b) phân gi i c a kính hi n vi SEM**

phân gi i c a SEM ph thu c vào kích th c c a ch m i nt p vào m u. Thông th ng, kích th c ch m i nt l n h n kích th c nguyên t , do ó SEM không phân tích c c p nguyên t . Trong các máy SEM, phân gi i kho ng 20 nm. Các kính SEM hi n i có phân gi i trong kho ng 1nm-10nm

Có nhi u y u t nh h ng n phân gi i c a kính SEM, ch ng h n nh th gia t c, dòng dò  $I_p$  (probe current), ng kính chùm  $d_p$ ,

Công th c Abbe v phân gi i:

$$d = 0.612 \lambda / n \sin \alpha \quad (7.3)$$

d: phân gi i.

n: ch s khúc x gi a ngu n i m và th u kính

: n a góc kh u (rad).

c i thi n phân gi i v c ch ta làm t ng s i nt SE n detector, ta hi u ch nh s c nét c ng góp ph n t ng phân gi i c a nh thu c. t

c nh ng i u ó, ta có th th c hi n b ng cách i u ch nh các thông s nh

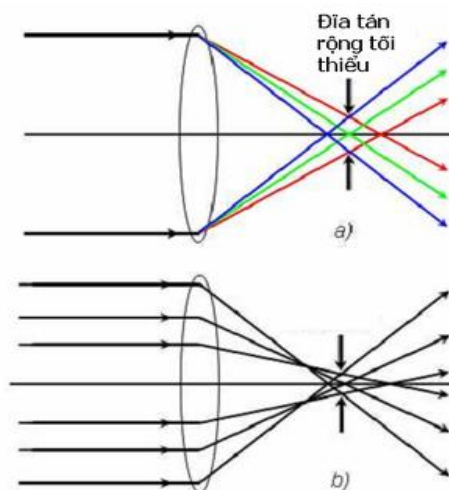
gi m ng kính chùm i n t n m u, dùng kh u kính h i t chùm i n t khi n m u và gi m kho ng cách làm vi c, hay t ng th gia t c.

### c) t ng ph n:

M t thông s quan tr ng c a nh là t ng ph n gi a hai vùng. ó là ch ói t ng i c a hai di n tích k nhau trên 1 nh. t ng ph n có hai lo i ó là t ng ph n hình h c và t ng ph n toàn ph n. c i thi n t ng ph n ng i ta có th t ng kích th c chùm i n t .

### d) Hi n t ng quang sai (Optical Aberration):

Hi n t ng quang sai là hi n t ng sai l ch nh thu c qua d ng c quang h c. Quang sai có hai d ng ph bi n là c u sai và s c sai.

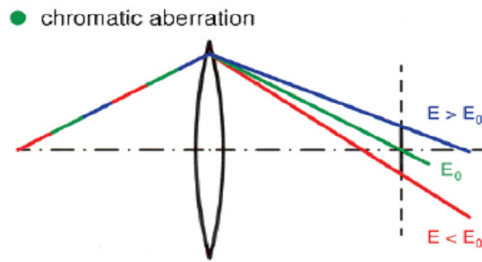


Hình 7.10 Hai lo i quang sai, s c sai (a): chùm h t có b c sóng khác nhau do ó chùm tia song song không h i t t i m t i m mà t o thành m t a, c u sai (b): chùm tia càng xa tr c chính càng b kém h i t .

+ **Hi n t ng s c sai:** chùm h t có b c sóng khác nhau do ó chùm tia song song không h i t t i m t i m mà t o thành m t a. S c sai liên quan n s kém n s c trong b c sóng c a chùm h t mang i n. M t chùm h t mang i n chuy n ng s t ng ng v i m t bó sóng có nhi u b c sóng khác nhau, hay b n ch t là do m i h t mang i n s có ng n ng khác nhau. Do ó, các sóng có b c sóng khác nhau s h i t t i các tiêu i m khác nhau, t o ra m t a tán r ng



t i thi u trên m t ph ng tiêu (hi u d ng) c a th u kính, thay vì là chùm tia song song h i t t i m t i m nh nguyên lý c a quang hình h c.



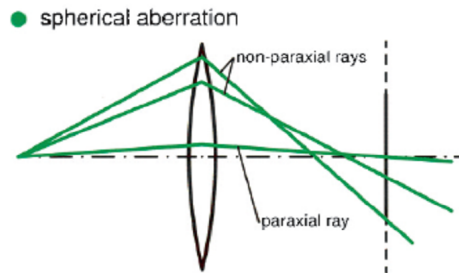
Hình 7.11

$$d_{\min} = C_c \cdot \alpha \cdot \Delta E / E_0 \tag{7.4}$$

V i

$$C_c = \frac{1}{1 + \epsilon \Phi_0} \int_{z_0}^{z_i} \gamma_0 \sqrt{\frac{\Phi_0^*}{\Phi^*}} \left( \frac{eB^2}{8m_e \Phi^*} + \frac{2 + \gamma_0 \Phi'^2}{8 \Phi^{*2}} \right) u_\alpha^2 dz > 0.$$

+ **Hi n t ng c u sai:** C u sai là d ng quang sai ch có trong các th u kính t do s phân b t tr ng không hoàn h o. S kém hoàn h o này d n n vì c các chùm tia xa tr c chính s h i t kém h n so v i các chùm tia i g n tr c chính và do ó c ng t o r a m t a tán r ng thay vì h i t t i m t i m.



Hình 7.12

$$d_{\min} = 0.5 C_s \cdot a^3 \tag{7.5}$$

+ **Cách kh c ph c:**

Hi n t ng quang sai và c u sai nh h ng n tính ch t c a nh và vì c lo i b quang sai thì r t khó. Ng i ta c g ng i u ch nh hình h c h th u kính h s quang sai là nh nh t và hi u ch nh hi n t ng quang sai. Có nhi u nghiên c u ã c th c hi n nh : Scherzer (1947), Gabor (1942-43), Zworykin cùng các c ng s (1945), Steptier (1966). C u sai có th kh c ph c b ng cách dùng th u

kính có tiêu c ng n. Tiêu c ng n nh t n m c có th c xác nh ng v i giá tr t tr ng c c i là . Ngoài ra ng i ta có th gi m c u sai b ng cách dùng m t kh u trong h th u kính gi i h n l ch góc t i a c a chùm i n t t tr c quang h c. C ng có nhi u cách hi u ch nh s c sai trên nguyên t c là làm cho ngu n n ng l ng i n t ph i gi m. Do ó m t trong nh ng cách hi u ch nh s c sai là ng i ta dùng ngu n phát i n t có kho ng n ng l ng nh . Hi n nay ng i ta còn dùng kèm thêm m y n s c kèm theo v i ngu n phát x nhi t. i u này giúp l c nh ng b c sóng thích h p và góp ph n gi m s c sai. Th ng thì m r ng n ng l ng n m trong kho ng (0.3- 1.5 eV) và m c tiêu là ng i ta ph n u t o ra chùm i n t có m r ng n ng l ng là 0.2 eV.

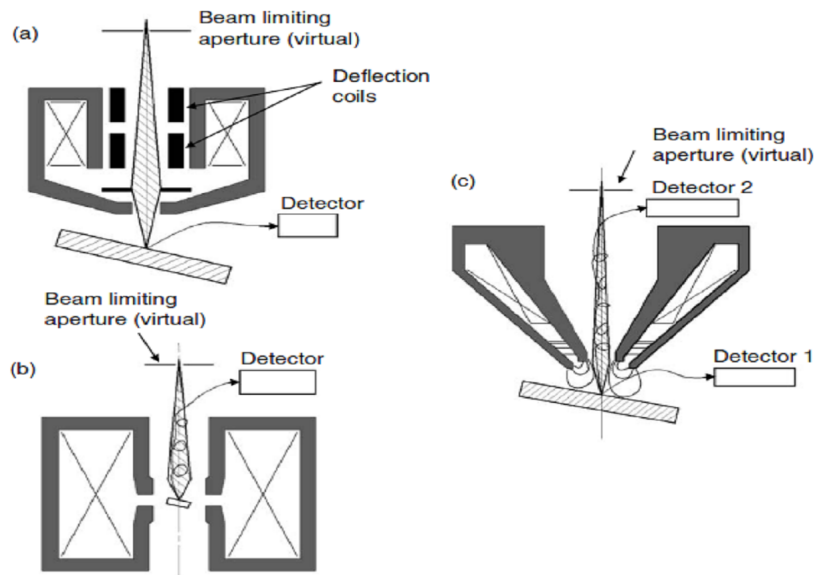


FIGURE 1.14. Objective lens configurations: (a) asymmetric pinhole lens, which has large lens aberration; (b) symmetric immersion lens, in which small specimen can be observed with small lens aberration; and (c) snorkel lens, where the magnetic field extends to the specimen providing small lens aberration on large specimen (Adapted from [5]).

Hình 7.13

7.1.5 U VÀ NH C I M C A SEM

a) u i m:

Kính hi n vi i n t SEM ang ngày càng ph bi n trong phòng thí nghi m do nó các u i m sau:

- + Phân tích mà không c n phá h y m u v t.
- + Ho t ng chân không th p.

+ Thao tác i u khi n n gi n h n r t nhi u so v i TEM khi n cho nó r t d s d ng.

+ T c thu d li u nhanh.

+ Vi c chu n b m u n gi n.

+ Giá thành c a SEM th p h n r t nhi u so v i TEM.

**b) Nh c i m:**

Bên c nh nh ng u i m thì SEM c ng có nh ng h n ch sau:

+ M u phân tích ph i d ng ch t r n.

+ Kích th c m u t vào phân tích r t nh (kho ng 10cm-40mm).

# 8 ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY

Electron beam lithography (EBL) là thu t ng tí ng Anh c a công ngh t o các chi tí t trên b m t (các phi n Si...) có kích th c và hình d ng gi ng nh thi t k b ng cách s d ng chùm i n t có n ng l ng cao làm bi n i các ch t c n quang ph trên b m t phi n. Ph ng pháp này c d ch ra tí ng Vi t v i tên g i không chính xác là quang kh c b ng chùm i n t . EBL là m t công c ph bi n trong công ngh nanô t o ra các chi tí t, các linh ki n có kích th c nh v i chính xác c c cao.

## 8.1 L ch s c a EBL

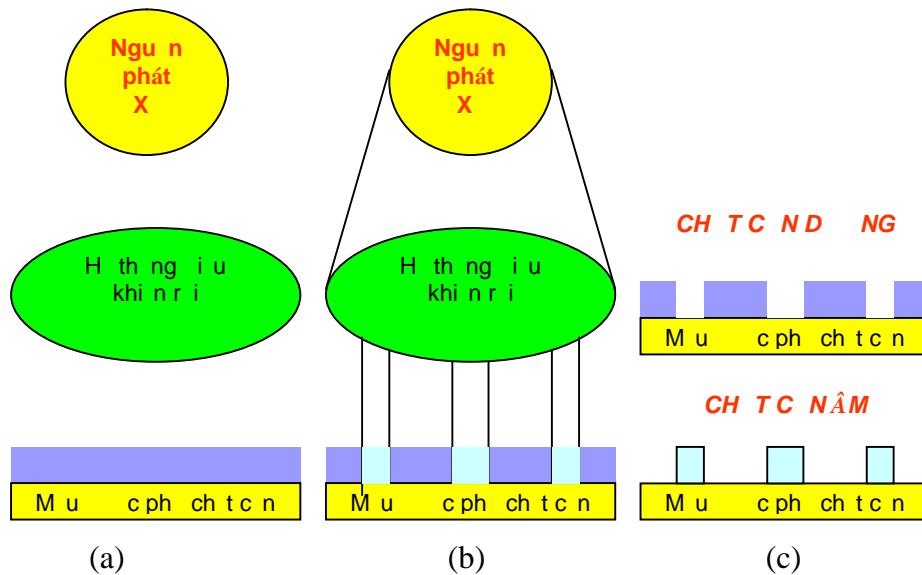
N m 1959, Richard Feynman có bài phát bi u n i tí ng "There is a plenty room at the bottom" t i Caltech (California Institute of Technology – H c vi n Công ngh California), c coi là m u cho k nguyên công ngh nanô, và ch hai tháng sau ó, Monllenstedt và Spiedel ã công b công ngh ch t o các c u trúc có ng kích nh t i 100 nm s d ng công ngh kh c chùm i n t - electron beam lithography b t u b c vào cu c chi n khoa h c và công ngh . Th c ch t, công ngh electron beam lithography ch phát tri n th c s t nh ng n m 60 c a th k 20, v i vi c phát tri n các k thu t v t o chùm i n t h p, ch t o ra các ch t làm resist có tính ch t bi n i m nh d i tác đ ng c a chùm i n t (mà ph bi n là PMMA - PolyMethylMethAcrylat hay "th y tinh h u c ").

Quang kh c hay photolithography là k thu t s d ng trong công ngh bán d n và công ngh v t li u nh m t o ra các chi tí t c a v t li u và linh ki n v i hình d ng và kích th c xác nh b ng cách s d ng b c x ánh sáng làm bi n i các ch t c m quang ph trên b m t t o ra hình nh c n t o. Ph ng pháp này c s d ng ph bi n trong công nghi p bán d n và vi i n t . H n ch c a quang kh c là do ánh sáng b nhi u x nên không th h i t chùm sáng xu ng kích c quá nh , vì th nên không th ch t o các chi tí t có kích th c nano ( phân gi i c a thi t b quang kh c t t nh t là 50 nm), do ó khi ch t o các chi tí t nh c p

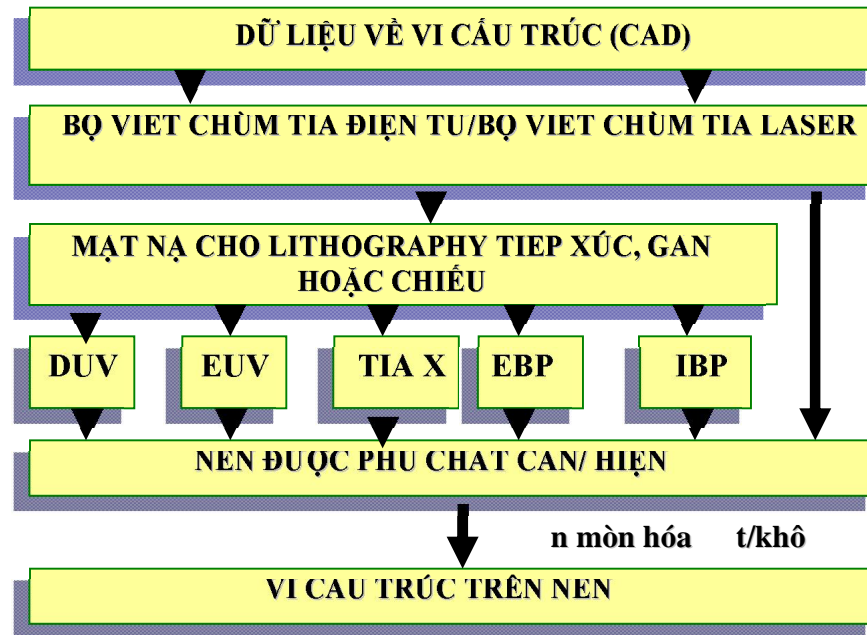
nanomet, ng i ta ph i thay b ng công ngh quang kh c chùm i n t (electron beam lithography).

### 8.2 T NG QUAN V CÁC LO I LITHOGRAPHY KHÁC NHAU

H th ng lithography bao g m m t ngu n b c x , m u c ph ch t c n và h th ng i u khi n hình nh i u ch nh ph n c a m u c chi u sáng . Ch t c n g m 2 lo i: ch t c n d ng (ph n ch t c n ph i sáng b l y i), ch t c n âm (ph n ch t c n không ph i sáng b l y i). Khuôn c kh c vào m u có th c chuy n vào m u b ng b c ti p theo g i là b c n mòn. Tên ch t c n b t ngu n t b c này, th c ra không ph i là ph n c a quá trình lithography. Ch t c n ch u tác nhân n mòn sao cho nh ng ph n c a m u v n b ph b ng ch t c n c b o v ch ng n mòn



Hình 8.1 : L u lithography v i ch t c n, (a) h th ng lithography bao g m ngu n b c x , h th ng i u khi n r i và m u c ph ch t c n, (b) quá trình r i: ch t c n b thay i b ng b c x , (c) r a: i v i ch t c n d ng thì ph n b r i sáng s b n mòn, ch t c n âm ph n không b r i sáng s b n mòn



Hình 8.2 S ết ng quan v các lo i lithography khác nhau

S ết ng trên trình bày t ết ng quan v các lo i lithography khác nhau. Chúng khác nhau theo lo i b c x và h th ng i u khi n. M c dù v y, i m b t u c a quá trình là c u trúc ph i c truy n vào m u, nó th ng coi nh m t t p tin-CAD.

- Phân lo i theo b c x : n u s d ng ánh sáng nh b c x cung c p thì g i là photolithography. Trong ó các ngu n sáng c s d ng là: vùng c c tím (UV: 365 nm-436 nm), UV sâu (DUV: 175 nm-250 nm), vùng ngoài c c tím (EUV: 11 nm-14 nm) và tia X (10 nm). Ngoài ra có th s d ng i n t h o c ion nh b c x cho lithography i n t và ion t ng ng

- Phân lo i theo h th ng i u khi n: có th s d ng m t m t n t o khuôn g m 3 cách b trí: lithography ti p xúc, lithography g n, lithography hình chi u. Ngoài ra còn có th vi t tr c ti p b ng chùm tia h i t (lithography laser, i n t hay chùm ion).

V i ph ng pháp s d ng m t n , m t n bao g m m t v t li u mang là trong su t i v i b c x c s d ng và m t l p h p th là không trong su t. Khuôn c kh c vào l p không trong su t này. V t li u ph thu c vào ngu n b c x . B c x ch r i nh ng ph n c a m u ó ph n t ng ng là m t n trong su t. Do ó, ch có ph n ch t c n b ph i sáng và b thay i.

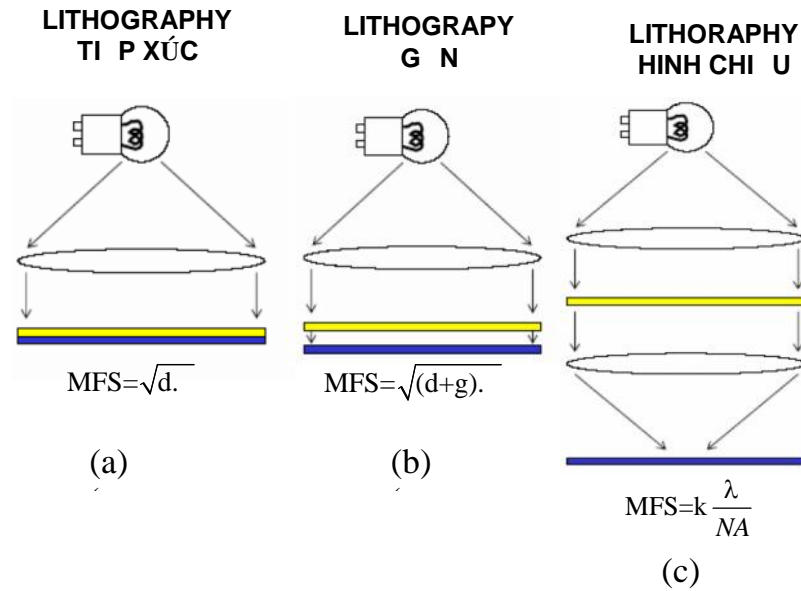
V i ph ng pháp vi t tr c ti p, máy tính i u khi n chùm b c x c h i t . V i nh ng kh i ph n x , chùm tia c quét qua ngu n sao cho khuôn c vi t vào ch t c n nh s d ng bút. ây m i khuôn ph i c vi t sau khuôn khác cho nên m t th i gian dài k t thúc toàn b wafer.

### 8.3 S L C V PHOTOLITHOGRAPHY

Photolithography là lo i lithography quan tr ng nh t. Nguyên b n tên c dùng cho lithography s d ng ánh sáng v i b c sóng trong d i kh ki n. Tuy nhiên d n d n ánh sáng c kéo xu ng t i 193 nm, c s d ng trong ch t o ch t bán d n ngày nay và th m chí b c sóng ng n h n d i nm ang c nghiên c u.

V n c b n c a lithography là kh n ng phân gi i c a h th ng chính là kích th c c tr ng nh nh t ( Minimum Feature Size-MFS) có th c xác nh trên m u. MFS ph thu c vào ph ng pháp r i, dài b c sóng r i trên v t li u c a h th ng quang h c.

#### Các ph ng pháp r i và gi i h n kh n ng phân gi i:



Hình 8.3 S 3 ph ng pháp r i: (a) lithography ti p xúc, (b) lithography g n, (c) lithography hình chi u.

V i t t c ba ph ng pháp trên ánh sáng c phát ra t ngu n sáng i qua h th ng quang h c sao cho chùm tia song song c hình thành. V i lithography

ti p xúc m t n và m u c ép v i nhau sao cho m t n ti p xúc g n v i ch t c n (Hình 8.3 a). Kh n ng phân gi i b h n ch b ng l ch và  $MFS = \sqrt{d \cdot \lambda}$ , d là dày ch t c n. Nh c i m c b n c a ph ng pháp này là ch t l ng m t n b ti p xúc v i ch t c n d n n s không ho t ng nh mong i v c u trúc. tránh v n này ph ng pháp th hai c phát tri n (hình 3.b). V i lithography g n có m t khe h c xác nh gi a m u và m t n , do ó không làm t i m t n . Nh c i m c a ph ng pháp này là kh n ng phân gi i th p  $MFS = \sqrt{(d + g) \lambda}$ .

Ph ng pháp s d ng ngày nay trong s n xu t công nghi p là lithography hình chi u. ây nh c a m t n c chi u vào m u. Sau khi i qua m t n ánh sáng b bó l i b ng h th ng quang h c. M t n không ti p xúc v i m u do ó không làm gi m kh n ng phân gi nh trong lithography ti p xúc và kh n ng phân gi t t h n trong lithography g n. H n n a ta có th gi m nh t i m c khuôn trên m t n c phép l n h n khuôn trên m u. MFS xác nh b ng bi u th c

$$MFS = k_1 \frac{\lambda}{NA} \quad (8.1)$$

$k_1$  (0.5-0.9) là h ng s , tính n tính ch t không lí t ng c a thi t b (sai s c a th u kính) và nh ng nh h ng không xu t phát t quang h c (ch t c n, x lý ch t c n, hình d ng c a c u trúc nh... do ó  $k_1$  g i là h ng s công ngh

NA: m s c a h th ng quang h c,  $NA = n \cdot \sin(\max)$

t ng kh n ng phân gi i ngoài vi c thay i các thông s (gi m và t ng NA) ng i ta s d ng k thu t d ch pha và r i l ch tr c. N u gi m b c sóng thì ta g p ph i m t v n là n u b c sóng càng nh thì h th ng m t n , g ng và th u kính thích h p r t ph c t p và t i n

## 8.4 LITHOGRAPHY CHÙM I N T

M t cách khác t kh n ng phân gi i d i 100 nm là thay i lo i b c x . Ta có th s d ng chùm i n t r i sáng. Các i n t d dàng c sinh ra b ng phát x nhi t ho c phát x hi u ng tr ng và c h i t thành chùm tia v i kích th c chùm vài nm. Chùm i n t này có th c s d ng vi t m t c u trúc mong mu n vào trong ch t c n ho c s d ng quang h c i n t thích h p th c



hi n lithography chi u i n t . Các ph n ng hóa h c trong ch t c n c ng nh trong ch t c n quang h c, ch có nh ng lo i ph n ng thích h p v i nh ng i n t (tuy nhiên m t s ch t c n quang có th s d ng nh ch t c n chùm i n t ).

### 8.5 VI T TR C TI P B NG CHÙM I N T

Trong vi t tr c ti p b ng chùm tia i n t , các i n t c t o thành chùm tia và c gi a t c t i m t v trí xác nh trên b m t wafer, ây ch t c n ph i c ph i sáng t o thành khuôn. M t h th ng chùm tia i n t bao g m: ngu n i n t hay súng b n i n t , h th ng quang i n t , giá wafer c h c và m t h th ng i u khi n.

Trong c t i n t , các i n t c t o thành chùm v i ng kính có hình d ng xác nh. Do ó nh ng y u t quang – i n t khác nhau nh các th u kính h i t , không h i t và m c khai thác. Các ph n khác c a c t nh kho ng tr ng c a chùm tia óng và m chùm tia, h th ng làm l ch chùm tia v i h th ng này chùm tia c t vào wafer.

Vì h th ng l ch ch có th a ch m t tr ng 400-800  $\mu\text{m}$  (ph thu c vào kích th c t i ch và công c ), ta c n ph i chuy n m u ang chi u t tr ng ph i sáng này t i tr ng k ti p b ng giá wafer c h c. V trí c a giá c o b ng d ng c gi a thoa có th i u khi n chùm tia v i chính xác  $\sim 5\text{ nm}$ .

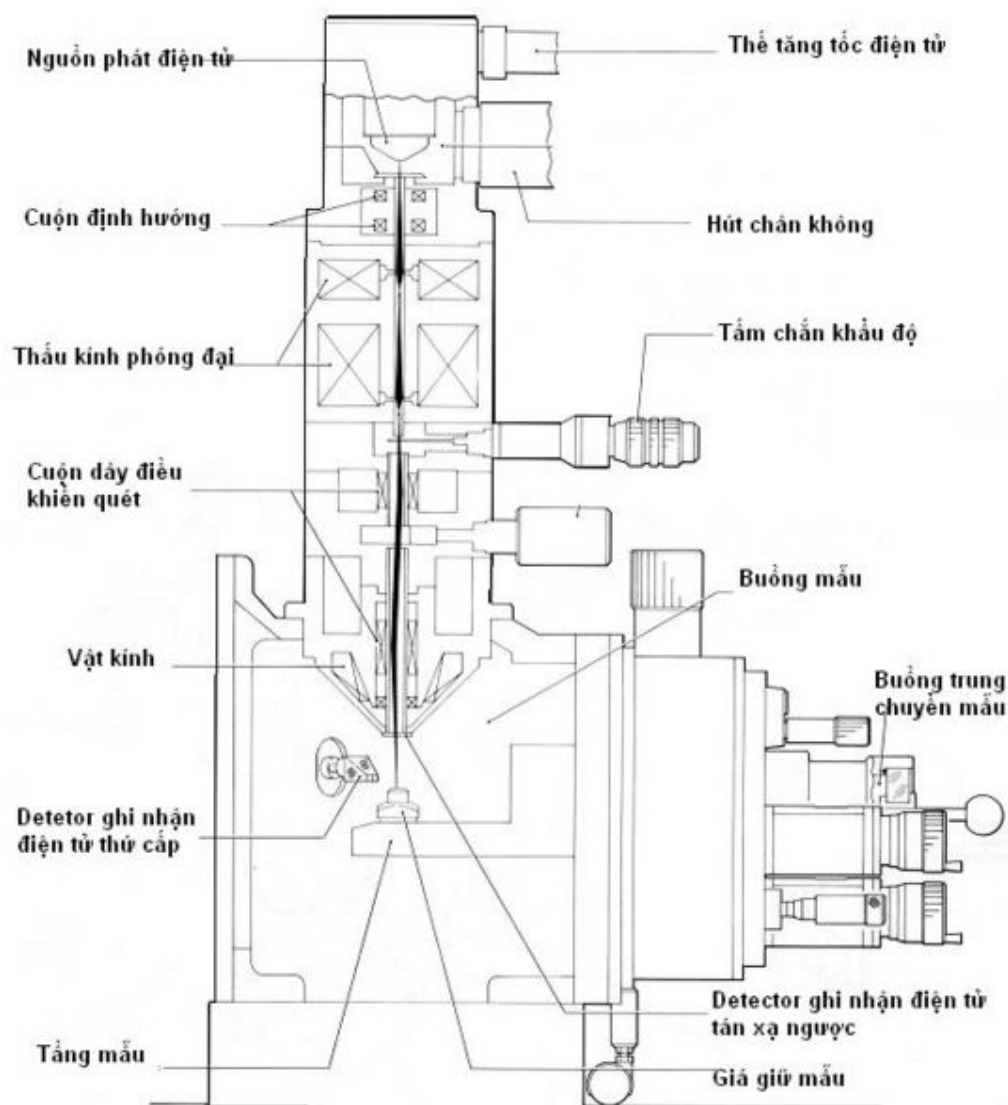
Toàn b h th ng ph i trong chân không cho phép t o n ên chùm tia và ph i c cách li v i rung ng. Nh ng y u c u ti p theo là tr ng i n t kí sinh th p, vì i u này làm h i cho vi c nh v chùm tia.

Khuôn c cho nh m t t p tin c a CAD c chuy n thành chuy n ng c a chùm i n t / giá wafer b ng máy tính. Trong kho ng th i gian r i, chu n c a m u c o liên t c và tiêu c c hi u ch nh. Có hai s ph i sáng:

+ S quét tr ng: h th ng làm l ch và m i i m ngu n a ch giá wafer, nh ng chùm tia óng m theo c u trúc.

+S quét vecto: ch có nh ng i m c n r i c a ch . Do ó s quét vecto t n í th i gian h n s quét tr ng.

Th i gian c n thi t r i toàn b wafer ph thu c vào khuôn, nh ng vì vi t tr c ti p chùm i n t là ph ng pháp n i ti p, cho nên m t th i gian và không thích h p i v i s n xu t vi m ch hành lo t trong công nghi p.



Hình 8.4

### 8.5.1 Súng i n t :

Có hai lo i súng i n t ph bi n là ngu n nhi t và ngu n phát x tr ñg.

Súng s ñ ñg ngu n nhi t thì ñg i n và ñg nh. Ngu n electron có th là s i W hay  $\text{LaB}_6$  c u n cong thành hình ch U. N u s ñ ñg W thì nhi t c ñg c p kho ñg 2300 ñn 2700 C b ñg cách cho ñòng i n m t chi u i qua. ch ói c a súng và th i gian s ñg ph thu c m nh vào nhi t ñg n. nhi t th p thì ch ói c a ngu n c  $10^4 \text{ A cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$  và th i gian s ñg kho ñg 100h, còn n u nhi t cao thì ch ói kho ñg  $10^5 \text{ A cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$  và th i gian s ñg kho ñg 10h.

N u s d ng LaB<sub>6</sub> thì ngu n phát x nhi t hình thành t u que, s nung nóng u que không tr c ti p k t h p gi a phát x nhi t và s b n phá i n t . Nhi t u que kho ng 1600C, n ng l ng chùm tia kho ng 12 keV, chói kho ng  $105 \text{ A cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$  và th i gian ho t ng là 1000h. Do ó LaB<sub>6</sub> tr thành ngu n chu n i v i ngu n chùm tia i n t . Nh ng LaB<sub>6</sub> d ph n ng nhi t cao h n W nên c n môi tr ng chân không cao ( $10^{-6}$  Torr) d n n c u t o p h c t p

i v i súng phát x tr ng, ngu n g m m t dây th ng làm b ng W, u dây c làm nh n b ng ph ng pháp n mòn axit, bán kính u nh n có th t n 1 $\mu$ m. Que W óng vai trò i n c c cathode, anode là m t a ph ng ng tr c t tr c u que, a ph ng c khoét m t l i n t i qua. Ngu n i n t phát ra có n ng l ng kho ng 20 keV v i th t vào kho ng 20kV, v i kho ng cách gi a anode và catode c ch n thì i n tr ng u que kho ng 109V/m. V i tr ng m nh nh v y thì electron d dàng xuyên qua rào th và c t ng t c n m c n ng l ng là 20 keV. chói t c kho ng  $107 \text{ A cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ . M c dù v y súng tr ng phát x ít c s d ng do yêu c u chân không cao  $10^{-12}$  Torr vì u W d b b n phá b i ion.

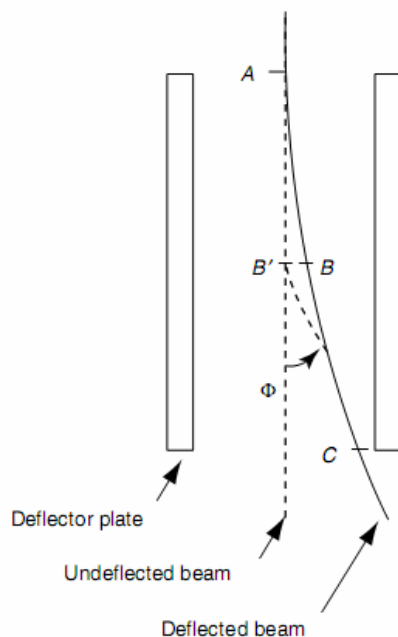
Súng TF có c u t o t ng t súng phát x tr ng, nh ng i n tr ng t vào kho ng  $10^8$ V/m, và nhi t u W kho ng 1000-1500<sup>0</sup>C. Do hi u ng Schottky công thoát c a i n t s gi m khi có i n tr ng, do ó electron có th phát x nhi t th p. sáng t c ít nh t là  $10^7 \text{ A cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ , c u t o c a súng TF l i n gi n h n c u t o c a súng phát x tr ng vì yêu c u chân không th p h n kho ng  $10^{-9}$  Torr (do u W b nung nóng nên nó có khuynh h ng t làm s ch). Th i gian ho t ng kéo dài hàng tr m gi .

Các ngu n phát x tr ng m c dù có chói r t cao nh ng chúng không n nh và yêu c u có chân không cao nên không c ch p nh n r ng rãi trong các h th ng lithography chùm i n t .

### 8.5.2 *The beam blaker (kho ng tr ng c a chùm)*

Kho ng tr ng c a chùm dùng óng và m chùm. s d ng c thì kho ng tr ng chùm ph i th a ba tiêu chu n:

1. Khi chùm tia b óng thì s y u i c a chùm tia ph i r t l n, c th là gi m i kho ng  $10^6$  l n.
2. S di chuy n chùm tia ph i ph i nh h n 1 pixel m u, c th là nh h n  $0,1 \mu\text{m}$ .
3. Th i gian h ng ng c a kho ng tr ng kho ng tr ng ph i nh h n th i gian b óc 1 pixel m u, c th là nh h n 100 ns.



Hình 8.5

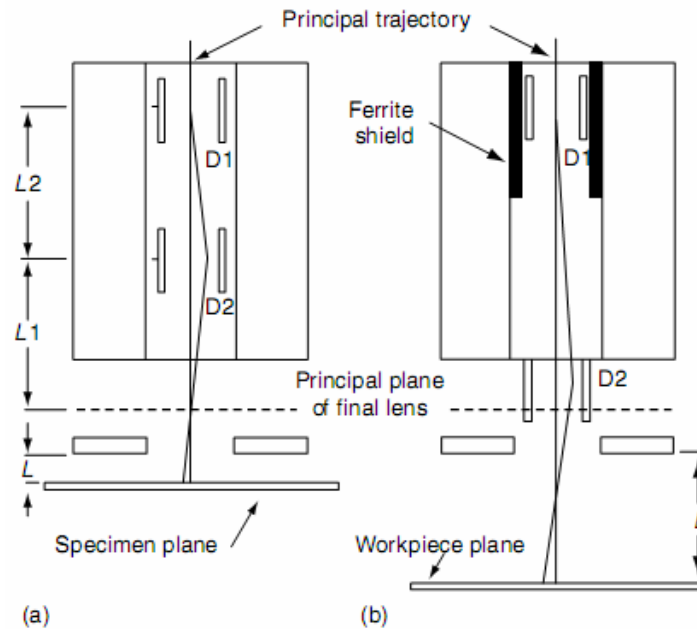
Th c t vi c th a m ãn tiêu chu n u tiên không có gì là khó kh n, nh ng v i hai tiêu chu n còn l i òi h i h th ng ph i c thi t k c n th n. M t i u quan tr ng c n chú ý khi thi t k ó là tâm c a chùm b l ch ph i ng tiêu v i m u.

Hình trên cho th y qu o chính c a electron khi qua h th ng làm l ch t nh i n. Qu o th c là là ng cong ABC có d ng hình parapol. T i tâm c a máy làm l ch, qu o c a chùm tia b l ch i m t kho ng B'B. Qu o th c t g m ng th ng AB' và B'C. Nhìn t bên ngoài qu o c a chùm tia l ch i m t góc t i m B' (tâm c a máy l ch). Vì v y n u B' ng tiêu v i m u, v trí c a i m sáng trên m u s không thay i khi máy làm l ch ho t ng, th a tiêu chu n hai.

i u quan tr ng th hai trong thi t k là kh u ph i ng tiêu v i m u. Khi ó khu v c i ngang nh nh t c a chùm tia là m t ph ng c a kh u . K t qu là

khi máy làm l ch ho t ng, s thay i t m sang t t xu t hi n m t cách nhanh chóng n u kh u t b t kì m t v trí nào khác, giúp th a tiêu chu n th ba.

### 8.5.3 Deflection beam



Hình 8.6

Hình trên th hi n h th ng làm l ch s d ng r ng rãi máy SEM. D1 và D2 là cu n dây t t phía sau t tr ng c a th u kính t cu i cùng. Th ng thì L1 và L2 b ng nhau. H th ng này phù h p v i SEM vì kho ng cách ho t ng L nh (< 10 mm). i u này là chính y u i v i kính hi n vi vì hi n t ng quang c u sai là m t trong nh ng y u t quan tr ng nh t g i h n phân gi i, v à h s quang sai t ng nhanh chóng n u t ng kho ng cách ho t ng. Vì th h th ng này cho phân gi i cao (10 nm hay có th nh h n). Ngoài vùng này, thì hi n t ng quang sai do l ch tr c làm cho v t chùm electron m r ng và bi n d ng.

Gi i h n kho ng cách làm vi c này không nh h ng nghiêm tr ng i v i SEM nh ng nh h ng r t l n i v i lithography chùm i n t . i v i ph ng pháp này òi h i phân gi i t ng i khiếm t n (kho ng 100 nm), nh ng ph i duy trì trong vùng l n h n  $1 \times 1 \text{ mm}^2$ . H n n a, bi n d ng c a tr ng quét không áng k .

Sau nhi u nghiên c u thì h th ng này c c i t i n t ng kho ng cách ho t ng mà v n h n h c hi n t ng quang sai. Hai c i t i n chính y u là:

1. Cu n dây t th hai t trong kh i c c t c a th u kính cu i c ùng, k t qu là tr ng làm l ch và tr ng h i t ch ng lên nhau.

2. Trong h th ng làm l ch SEM, L1 và L2 ph i có tr c quang h c l ch nhau m t góc 180 . Nh ng khi c i ti n thì góc này không còn là 180 n a.

Ohiwa ã cho th y nh ng c i ti n này làm gi m hi n t ng quang sai t i m c th p nh t có th . Lí do c a nh ng c i ti n này c gi i thích nh sau:

1. S ch ng ch t tr ng c a D2 và th u kính cu i c ùng hình thành nên s phân b i x ng xoáy mà tâm không ph i là tr c quang h c mà là m t i m mà kho ng cách c a nó tính t tr c t l v i l n c a tr ng t o b i D2. K t qu c a s phân b tr ng t ng ng v i th u kính t n u h th ng c t i u hóa. S di chuy n ng b v i chùm electron b l ch b i D1 là cách làm chùm tia i qua tâm c a nó.

2. S quay D1 t ng i v i D2 c tính toán theo qu o xo n c c a các electron trong tr ng c a nh ng th u kính.

H th ng thi t k này s c máy tính tính toán theo ch ng trình c a Munro v i t có k t qu t i u nh t.

Vì h th ng làm l ch t g n các thành ph n kim lo i c a c t, v i c o c cho th y xu t hi n hi u ng dòng xoáy. D1 b ch n b ng m t t m ferrit. T m ch n không c s d ng cho D2 vì nó s làm l ch thành ph n thông l ng dòng c a chùm h i t .

**8.6 PH NG PHÁP TÁN X H N CH GÓC (SCALPEL- scattering with angular limitation in projection beam lithography)**

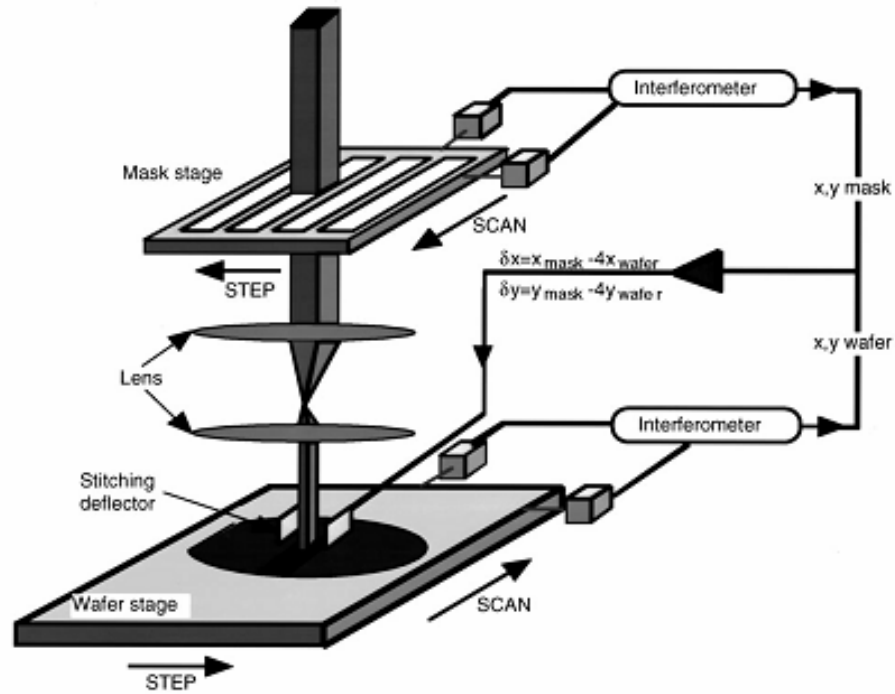


FIG. 1. Schematic diagram of the SCALPEL principle showing the function of the scattering mask in forming image contrast.

Hình 8.7

Nh c i m c a v i t t r c t i p chùm i n t là c i m n i t i p c a ph ng pháp. Trong s n xu t hàng lo t th i gian ph i sáng m t s gi là không th ch p nh n. N u s d ng phép lithography hình chi u thì ph ng pháp này ch u xuyên sâu l n c a i n t , các l p m t n ph i dày d ng m t ph n áng k i n t .

M t ph ng pháp kh c ph c v n này ó là ph ng pháp SCALPEL. Trong SCALPEL m t chùm i n t r ng có ng kính t 2-3 mm c quét qua m t m t n bao g m màng SiN<sub>4</sub> (100-150 nm) trên ó l p tán x khuôn làm b ng Au hay W (25-50 nm). Các i n t p vào l p màng này s i qua l p này h u nh không b tán x , trong khi i n t p vào l p tán x s b r i l o n m nh kh i ng d n c a chúng. Các i n t không tán x ch i t nh kh u c a ng

kính và c chi u vào wafer, trong khi ó i n t tán x s b khóa. Do ó nh thu c có t ng ph n cao.

Nh ph ng pháp lithography hình chi u, SCALPEL có u i m gi m nh giúp vi c ch t o m t n d dàng h n. M t n bao g m giá silic giúp l p màng c gi ch t. r ng c a màng t ng ng v i r ng chùm i n t trong khi nó có dài vài cm. B ng quang h c hình chi u i n t t i t hai di n tích màng khác nhau c tách riêng b ng thanh Si có th c n i v i nhau t i wafer do ó các m ch có kích th c 2x3 cm có th c ph i sáng.

## 8.7 NG D NG

### Trong nghiên c u:

Nanopatterning on Nanoparticles

Nanowires

Nanopillars

Gratings

Micro Ring Resonators (b c ng h ng vòng siêu nh )

Nanofluidic Channels

### Trong công nghi p và th ng m i:

Ch t o m t n cho ph ng pháp quang kh c

V feature



# TÀI LI U THAM KH O

- [1]. **Lê V n Hi u**, V t Lý i n T , NXB i h c Qu c Gia Tp. H Chí Minh 2005.
- [2]. **John N. Helbert** , HANDBOOK OF VLSI MICROLITHOGRAPHY
- [3]. **Brian J.Thompson** , MICROLITHOGRAPHY -
- [4]. Advanced Physics Laboratory, Physics 370, 2009
- [5]. **Wayne B. Nottingham**, THERMIONIC EMISSION, Technical Report 321, December 10, 1956
- [6]. Thermionic phenomena and the laws which govern them , Nobel Lecture, December 12, 1929
- [7]. **Weilie Zhou and Zhong Lin Wang** , Scanning Microscopy for Nanotechnology
  
- [8]. **S.J.B Reed**, Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology
- [9]. **W T Welford FRS**, Abberations of Optical System.
- [10]. **Hrald H.Rose**, Geometrical Charged-Partical Optics

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