ĐẦU DÒ LANGMUIR

SVTH: Nguyễn Vũ Ty
Thầy Hướng Dẫn: PGS.TS LÊ VĂN HiẾU

Tháng 7 năm 2010

CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẨN ĐOÁN PLASMA

Có nhiều phương pháp được sử dụng để chẩn đoán plasma như :

(1) Phương pháp quang phổ (dùng phổ kế).

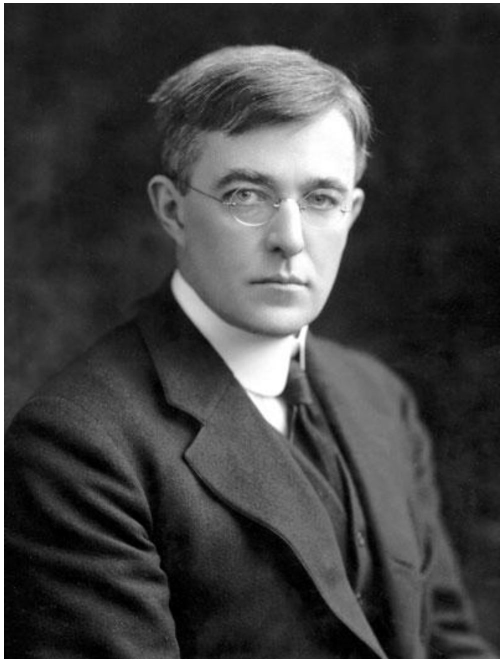
(2)Phương pháp dùng đầu dò điện .

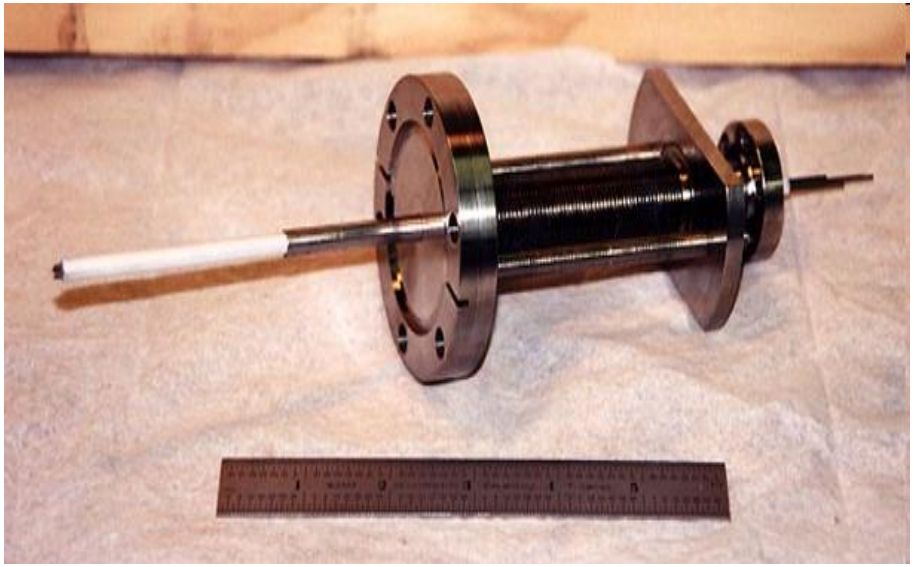
(3)Phương pháp dùng sóng viba.

* Trong các phương pháp trên thì phương pháp sử dụng đầu dò điện được đánh giá cao nhất do có hệ đo đơn giản .

PHƯƠNG PHÁP ĐẦU DÒ ĐiỆN LANGMUIR.

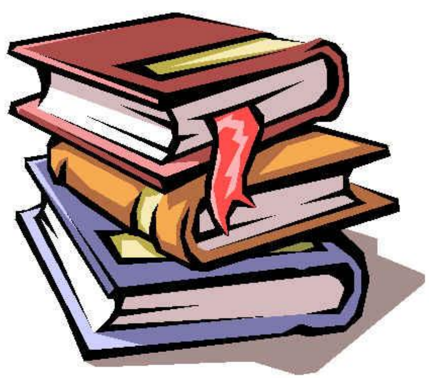
Phương pháp này được phát minh vào đầu thế kỷ XX bởi Mott-Smith và Langmuir .





PHẦN LÝ THUYẾT

- LÝ THUYẾT CỦA DRUYVESTEIN.
- SỬ DỤNG ĐỊNH LuẬT ĐỒNG DẠNG



Mục tiêu cuối cùng là thành lập các công thức xác định các đặc trưng của plasma

CÔNG TRÌNH CỦA DRUYVESTEIN

Hàm phân bố điện tử theo năng lượng tỉ lệ với đạo hàm cấp hai của đòng đầu dò .

$$f(eV) = A\sqrt{V}\,\frac{d^2 i_e}{dV^2}$$

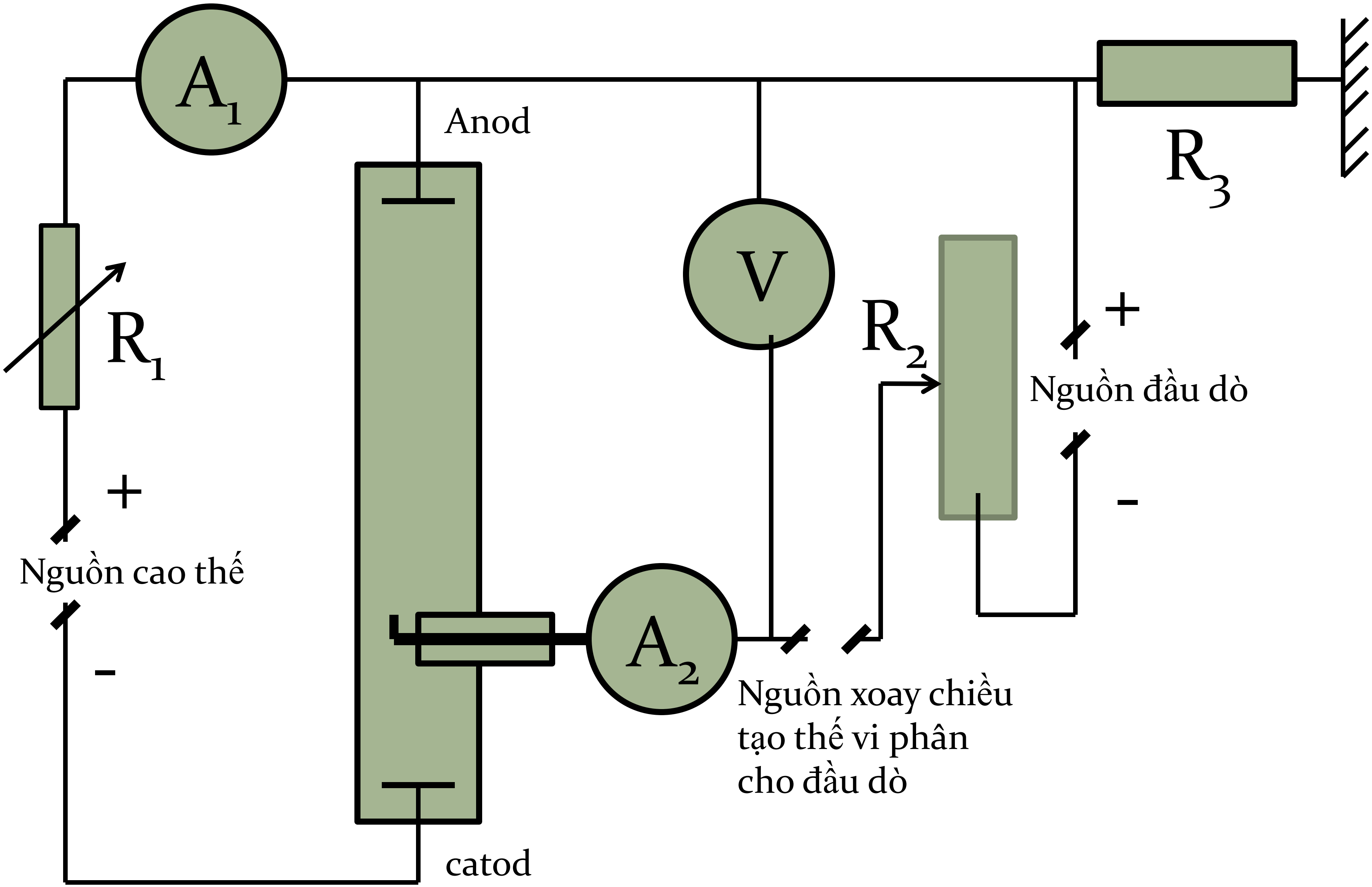
Trong đó :

+ V=Vp: là điện thế đầu dò plasma, tính bằng Volt (V).

+f(eV) : là năng lượng điện tử, tính bằng electron-volt (eV).

+i_e : là dòng điện tử đến đầu dò.

- Có nhiều cách để tìm đạo hàm bậc hai của dòng đầu dò. Phổ biến nhất hiện nay là sử dụng dòng điện xoay chiều với biên độ nhỏ



Mạch điện dùng để xác định đạo hàm bậc 2 của dòng đầu dò

Giả sử điện thế xoay chiều ΔV có dạng :

$$\Delta V = a\cos(\omega t)$$

Với a, ω là biên độ và tần số của điện thế xoay chiều.

Dòng đầu dò được khai triển Taylor theo các mức ΔV như sau :

$$i_e(V+\Delta V) = i_e(V) + i_e^{'}(V)\Delta V + \frac{1}{2!} i_e^{''}(V)(\Delta V)^2 + \ldots..$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = i_e(V) + \frac{a^2}{4} i_e^{''}(V) + \frac{a^4}{64} i_e^{''''}(V) + \ldots. + [a i_e^{'}(V) + \frac{a^3}{8} i_e^{'''}(V)\cos^2\omega t + \ldots]\cos\omega t$$

$$-[\frac{a^2}{4} i_e^{''}(V)\sin\omega t + \frac{a^4}{48} i_e^{''''}(V)(2\sin^2\omega t - \sin^4\omega t) + \ldots.]\sin\omega t + \ldots.$$

Đạo hàm bậc 2 dòng đầu dò có mặt trong thành phần không đổi và cả trong thành phần điều hòa của chuỗi

- Nếu bỏ qua thành phần điều hòa, ta có:

$$i_e(V+\Delta V) = i_e(V) + \frac{a^2}{4} i_e^{''}(V) + \frac{a^4}{64} i_e^{''''}(V) + ...$$

Suy ra :

$$\Delta i_e = i_e(V+\Delta V) - i_e(V) \approx \frac{a^2}{4} i_e^{''}(V)$$

$$\Rightarrow i_e^{''}(V) = \frac{4\Delta i_e}{a^2}$$

Trong đó a là giá trị cực đại của hiệu điện thế xoay chiều dùng để biến điệu dòng đầu dò.

xác định nồng độ điện tử n_e

Để tính nồng độ điện tử ne, ta áp dụng công thức :

$$n_e = \frac{2}{e}\sqrt{\frac{2m}{e}}\,\frac{i_{eo}}{S}\,\frac{\int_0^\infty \sqrt{V}\, i_e^{''} dV}{\int_0^\infty V i_e^{''} dV}$$

Trong đó :

i_{eo} cường độ dòng điện bão hòa (Vp=Vsp)

S: diện tích bề mặt đầu dò hình trụ

nếu ieo được tính bằng mA , S được tính bằng mm^2 khi đó ta có :

$$n_e = 4{,}2.10^{10}\,\frac{i_{eo}}{S}\,\frac{\int_0^\infty \sqrt{V}\, i_e^{''} dV}{\int_0^\infty V i_e^{''} dV}$$

Dẫn ra công thức xác định nồng độ điện tử

Khi điện thế đầu dò bằng điện thế không gian của plasma thì dòng đầu dò là dòng điện tử bão hòa i_{eo}:

$$i_{eo} = \frac{1}{4} n_e e \overline{\mathrm{v}} S$$

trong đó vận tốc trung bình của điện tử được xác định bởi công thức:

$$\overline{\mathrm{v}} = \frac{\sqrt{\frac{2}{m}} \int_0^\infty f(\varepsilon)\sqrt{\varepsilon}\, d\varepsilon}{\int_0^\infty f(\varepsilon)\, d\varepsilon}$$

Theo công thức Druyvestein thì :

$$f(eV) = A\sqrt{V}\,\frac{d^2 i_e}{dV^2}$$

Thay vào phương trình dòng đầu dò bão hòa i_{eo} ta tìm được n_e:

$$n_e = \frac{2}{e}\sqrt{\frac{2m}{e}}\,\frac{i_{eo}}{S}\,\frac{\int_0^\infty \sqrt{V}\,i_e'' dV}{\int_0^\infty V i_e'' dV}$$

Năng lượng trung bình của điện tử

Năng lượng trung bình của điện tử được xác định từ công thức :

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_0^\infty V^{3/2} i_e'' dV}{\int_0^\infty V^{1/2} i_e'' dV}$$

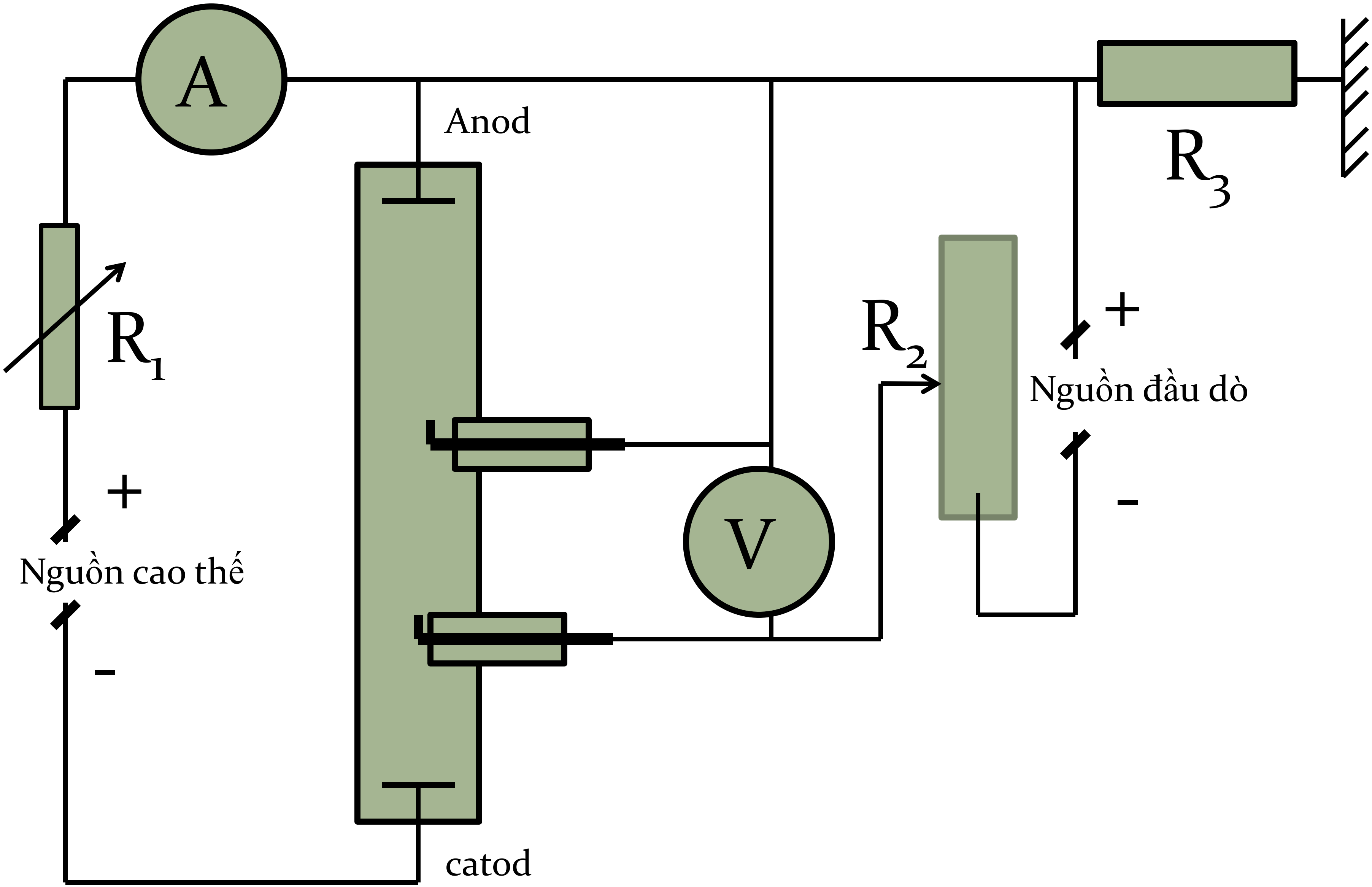
Các tích phân được tính từ diện tích hình phẳng của các đồ thị biểu diễn sự biến thiên của các hàm số $V^{1/2}i''_e$; Vi''_e và $V^{3/2}i''_e$ theo thế đầu dò V

Xác định cường độ điện trường ngang

Cường độ điện trường ngang trong ống phóng điện được xác định bởi công thức :

$$E = \frac{U_{12}}{d}$$

U_{12} : hiệu điện thế giữa hai đầu dò điện đặt trên trục của ống phóng điện, cách nhau một khoảng d



A
Anod
R3
R1
R2
+
Nguồn đầu dò
-
V
+
Nguồn cao thế
-
catod

TÓM TẮT

Nồng độ điện tử

$$n_e = \frac{2}{e}\sqrt{\frac{2m}{e}}\frac{i_{eo}}{S}\frac{\int_0^\infty \sqrt{V}i_e^{"}dV}{\int_0^\infty Vi_e^{"}dV}$$

Năng lượng trung bình điện tử

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_0^\infty V^{3/2}i_e^{"}dV}{\int_0^\infty V^{1/2}i_e^{"}dV}$$

Cường độ điện trường ngang

$$E = \frac{U_{12}}{d}$$

Các luật đồng dạng

Các giả thuyết cơ bản :

+ Nguyên tử khí hiếm tham gia vào quá trình dịch chuyển trong plasma, không tham gia vào quá trình mất mát năng lượng của điện tử.

+ Nguyên tử Hg đóng vai trò chính trong quá trình kích thích và ion hóa.

+ Hàm phân bố điện tử theo vận tốc gần với dạng đối xứng cầu $f_o(v)$.

+ tần số thay đổi điều kiện phóng điện rất nhỏ so với tần số va chạm đàn hồi của các điện tử với các nguyên tử khí hiếm v_a

Hai giả thuyết đầu phân chia vai trò của Hg và khí hiếm.

Giả thuyết thứ 3 xét đến hai thành phần tách biệt chức năng của hàm phân bố điện tử theo vận tốc dưới dạng Lơgrăngđơ:

$$f(\mathrm{v},t) = f_0(\mathrm{v},t) + \frac{\vec{\mathrm{v}}}{\mathrm{v}} f_1(\mathrm{v},t)$$

Giả thuyết thứ tư:

$$\overline{f_1}(v,t) = -\frac{e\vec{E}}{M v_a}\frac{\partial f_0}{\partial \mathrm{v}} - \frac{\mathrm{v}}{v_a}\bar{\mathrm{v}} f_0$$

Phương trình động học:

$$\frac{\partial f_0}{\partial t}+\frac{v}{3}vf_1+\frac{e}{3mv^2}\frac{\partial}{\partial v}[v^2 f_1]=$$

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial}{\partial v}\left\{v^2 v_e\left[A_1(v,t)\frac{\partial f_0}{\partial v}+vA_2 f_0\right]\right\}+S(f_0)+T(f_0)$$

Với : $S(f_o)$ toán tử va chạm không đàn hồi.

$T(f_o)$ toán tử diễn tả sự ion hóa và sự tái hợp.

Thành phần đầu tiên vế phải diễn tả sự tương tác điện tử

Chia 2 vế cho N_o^2 ta được :

$$\frac{\partial}{\partial(N_0 t)}\frac{f_0}{N_0} - \frac{\mathrm{v}}{3}\overline{\mathrm{v}'}\left(\frac{eR\vec{E}}{mN_0R^2v_a}\frac{\partial}{\partial \mathrm{v}}\frac{f_0}{N_0} + \frac{\mathrm{v}}{N_0R^2v_a}\overline{\mathrm{v}'}\frac{f_0}{N_0}\right.$$

$$\left. - \frac{e}{3m\mathrm{v}^2}\frac{\partial}{\partial v}\left(\frac{e\mathrm{v}^2}{m}\frac{R^2E^2}{N_0R^2v_a}\frac{\partial}{\partial \mathrm{v}}\frac{f_0}{N_0} + \frac{v3RE}{N_0R^2v_a}\overline{\mathrm{v}'}\frac{f_0}{N_0}\right)\right)$$

$$= \frac{1}{\mathrm{v}^2}\frac{\partial}{\partial x}\left[v^2\frac{\mathrm{v_e}}{\mathrm{N_0}}\left(\mathrm{A_1}\frac{\partial}{\partial \mathrm{v}}\frac{\mathrm{f_0}}{\mathrm{N_0}} + \mathrm{vA_2}\frac{\mathrm{f_0}}{\mathrm{N_0}}\right)\right] + \frac{S(f_0)}{N_0^{\ 2}} + \frac{T(f_0)}{N_0^{\ 2}}$$

Nếu $N_o t$ và $N_o pR^2 = Z_1$ không đổi thì f_o/N_o

Dòng phóng điện :

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

$$j(r) = n_e(r) e b_e E$$

$$j(r) = \frac{dI}{dS}$$

$$dI = j(r) dS$$

$$dI = j(r) 2\pi r dr$$

$$I = 2\pi e b_e E z \int_0^R n_e(r) dr$$

Phương trình để có dòng phóng điện có dạng:

$$i = 2\pi e b_e E_z \int_0^R n_e(r) r dr$$

Với E_z cường độ điện trường ngang, b_e độ linh động.

$$iRP^2 = 2\pi (b_e p) N_0 p R^2 . REz \int_0^1 \frac{n_e(S)}{N_0} S dS$$

$N_o pR^2 = Z_1$

$Z_2 = iRp^2$

LÀ CÁC THÔNG SỐ ĐỒNG DẠNG

Xác định nồng độ điện tử :

Áp dụng công thức: $n_e = Ai^{\alpha_n} N_0^{1-\beta_n}$

Suy ra : $\ln n_e = \ln A + \alpha_n \ln i + (1-\beta_n)\ln N_0$ (*)

Trong đó : n_e tính bằng m^{-3}, i tính bằng A, N_o tính bằng m^{-3}

Thay các số liệu thực nghiệm vào phương trình (*), giải ra ta tìm được các cặp giá trị hệ số đồng dạng α_n, β_n

Thay các cặp giá trị α_n, β_n vào công thức

$$\frac{ne}{N0} = B_n i^{\alpha_n} N_0^{-\beta_n} p^{2\alpha_n-\beta_n} R^{\alpha_n-2\beta_n}$$

Ta tìm được các B_n

n_e được tính theo công thức :

$$n_e = \exp\{\ln B_n + \alpha_n \ln i + (1-\beta_n)\ln N_0 + (2\alpha_n - \beta_n)\ln p + (\alpha_n - 2\beta_n)\ln R\}$$

Tính năng lượng trung bình điện tử :

Áp dụng công thức : $\bar{\varepsilon} = A_\varepsilon i^{-\alpha_\varepsilon} N_0^{-\beta_\varepsilon}$

Suy ra $\ln\bar{\varepsilon} = \ln A_\varepsilon + \alpha_\varepsilon \ln i - \beta_\varepsilon \ln N_0$

Thay các số liệu thực nghiệm vào phương trình trên ta tìm được các giá trị hệ số đồng dạng: $\alpha_\varepsilon, \beta_\varepsilon$

Thay các cặp giá trị $\alpha_\varepsilon, \beta_\varepsilon$ vào công thức :

$$\bar{\varepsilon} = B_\varepsilon i^{\alpha_\varepsilon} N_0^{-\beta_\varepsilon} p^{2\alpha_\varepsilon - \beta_\varepsilon} R^{\alpha_\varepsilon - 2\beta_\varepsilon}$$

Ta tìm được B_ε

$$\bar{\varepsilon} = \exp\{\ln B_\varepsilon - \beta_\varepsilon \ln N_0 - \alpha_\varepsilon \ln i - (2\alpha_\varepsilon + \beta_\varepsilon)\ln p + (\alpha_\varepsilon + 2\beta_\varepsilon)\ln R\}$$

Xác định cường độ điện trường ngang

Áp dụng công thức :

$$ER = (C_E - D_E i)(N_0{}^{\alpha_E} e^{-\beta_E} N_0)$$

ER được tính theo công thức :

$$ER = \exp\{\ln(C_E - D_E iRp^2) + \alpha_E \ln(N_0 pR^2) - \beta_E N_0 pR^2\}$$

PHẦN THỰC NGHIỆM

ống phóng điện

- Ống phóng điện hình trụ, làm bằng thuỷ tinh không chứa tạp chất, ống có đường kính và bề dày đồng điều.
- Ống thuỷ tinh dùng làm ống phóng điện phải có các đặc tính sau đây:

  + khả năng đề kháng tốt với nhiệt độ.

  + bề dầy và đường kính đều đặn.

  + Độ truyền qua lớn, nghĩa là khả năng hấp thụ ánh sáng yếu.

  + Khả năng hấp thụ tia tử ngoại lớn

  + Gia công hàn để nối và đưa các điện cực và các đầu dò vào ống phóng dễ dàng.

Đầu dò

Vật liệu làm đầu dò phải bền trước tác động va chạm, sự nung nóng và phản ứng hóa học. Ngoài ra công thoát điện tử phải đủ lớn để giảm đến mức tối thiểu sự phát xạ electron thứ cấp.

Các vật liệu thường được sử dụng làm đầu dò là :

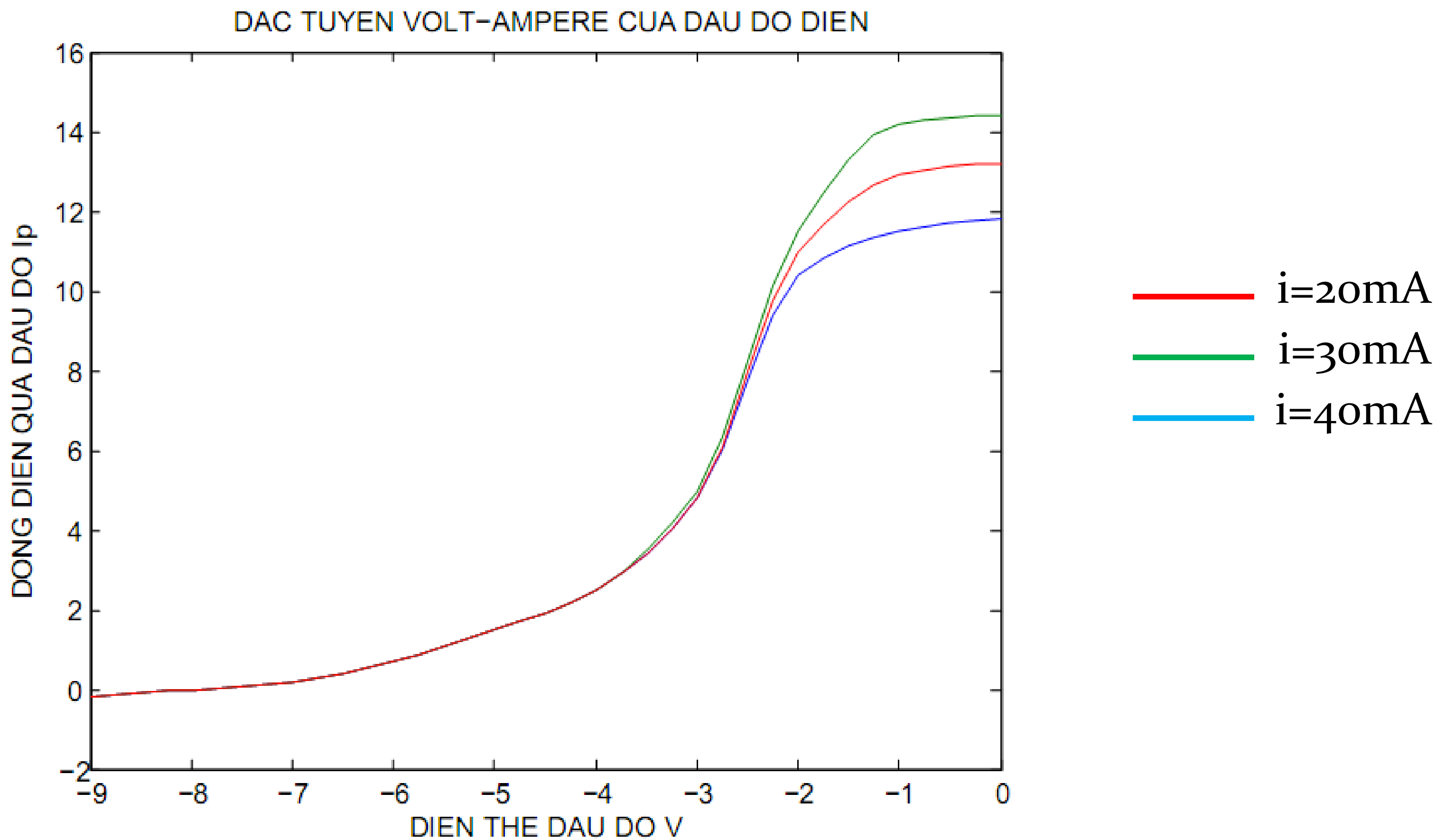
Mo(Molipden),W(Vonfram), Ti(Titan).

R=0.8 cm , t=50°c , i=20mA

Áp suất khí Ar : Par=1Torr				Áp suất khí Ar : Par=2Torr				Áp suất khí Ar : Par=3Torr			
V_p	I_p	I'_p	$I_p-I'_p$	V_p	I_p	I'_p	$I_p-I'_p$	V_p	I_p	I'_p	$I_p-I'_p$
(V)	$4,9.10^{-5}$ (A)			(V)	$4,9.10^{-5}$ (A)			(V)	$4,9.10^{-5}$ (A)		
0	11.0	12.7	1.7	0	11.8	14.2	2.4	0	12.5	15.5	3
1	10.8	12.4	1.6	1	11.5	13.7	2.2	1	12.3	15.2	2.9
2	9.8	11.3	1.5	2	10.4	12.6	2.2	2	10.9	13.7	2.8
3	4.5	5.3	0.8	3	4.7	6.1	1.4	3	5	6.3	1.3
4	2.5	3.2	0.7	4	2.5	3.5	1	4	2.5	3.3	0.8
5	1.5	2	0.5	5	1.5	2.1	0.6	5	1.5	2	0.5
6	0.7	1.05	0.35	6	0.7	1	0.3	6	0.7	1	0.3
7	0.2	0.4	0.2	7	0.2	0.4	0.2	7	0.2	0.4	0.2
8	0	0.1	0.1	8	0	0.2	0.2	8	0	0.1	0.1
9	-0.2			9	-0.2			9	-0.2		

Trích từ : Luận văn thạc sỹ Vật lý của tác giả NGUYỄN NGỌC AN

ĐƯỜNG ĐẶC TUYẾN VOLT-AMPERE CỦA DÒNG ĐẦU DÒ

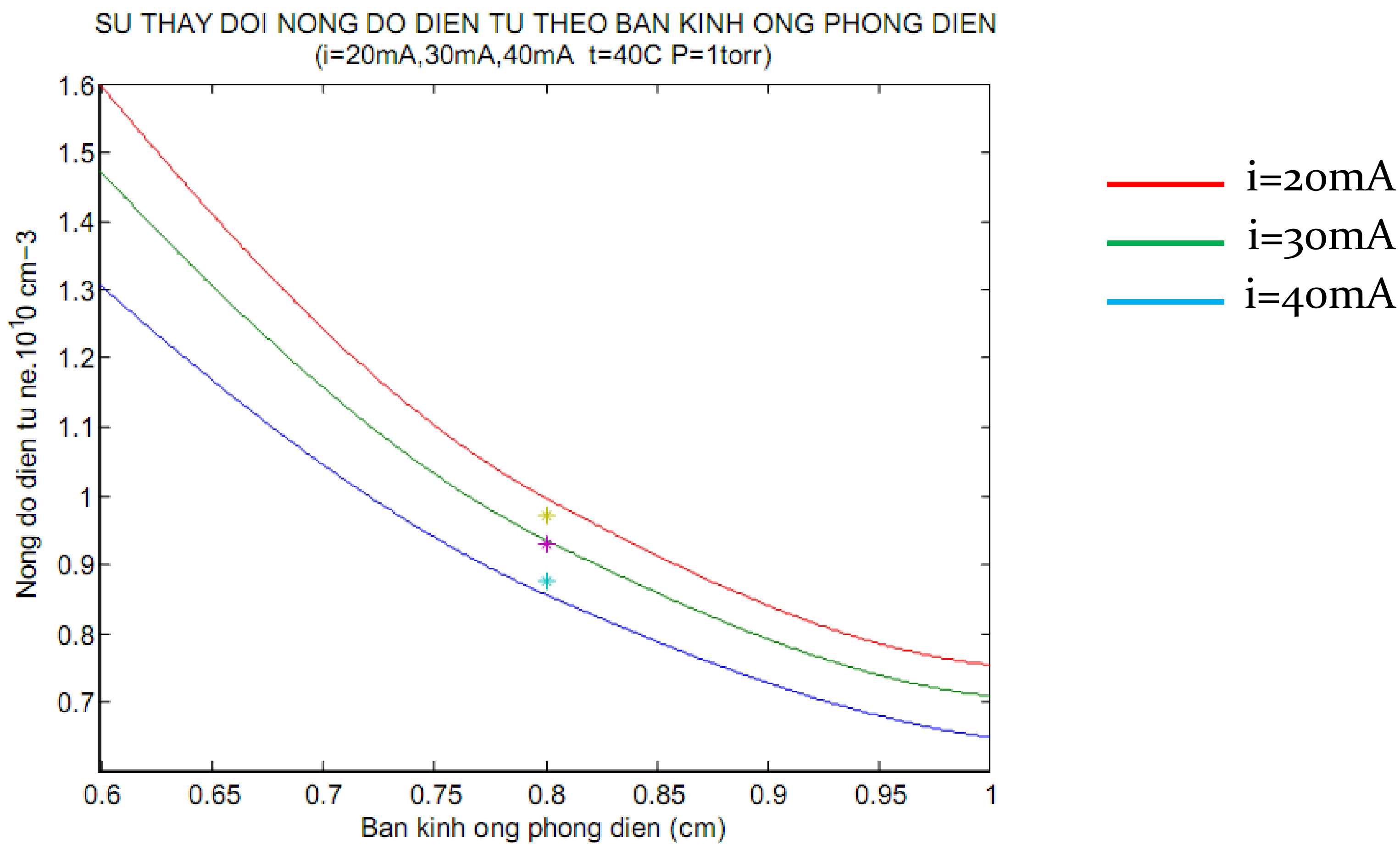


Nhận xét : dạng đường đặc tuyên V-A tương đối phù hợp với lý thuyết

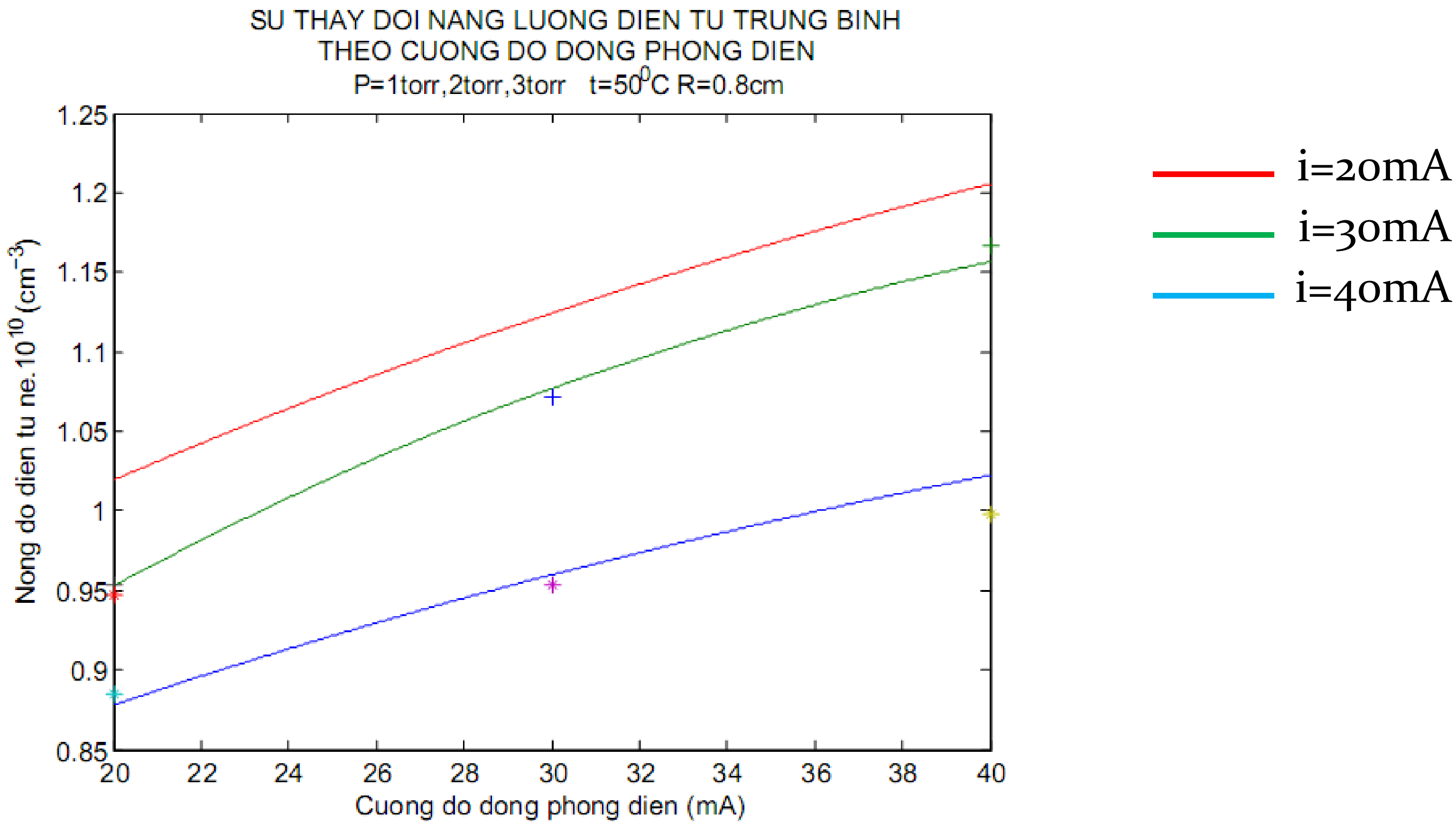
Bảng kết quả

Áp suất khí Ar (Torr)	1	2	3
NỒNG ĐỘ ĐiỆN TỬ $10^{10}(cm^{-3})$	0.9143	0.9232	0.9474
NĂNG LƯỢNG TRUNG BÌNH CỦA ĐiỆN TỬ (eV)	2.56	2.52	2.47

Sự thay đổi nồng độ điện tử theo bán kính ống phóng điện

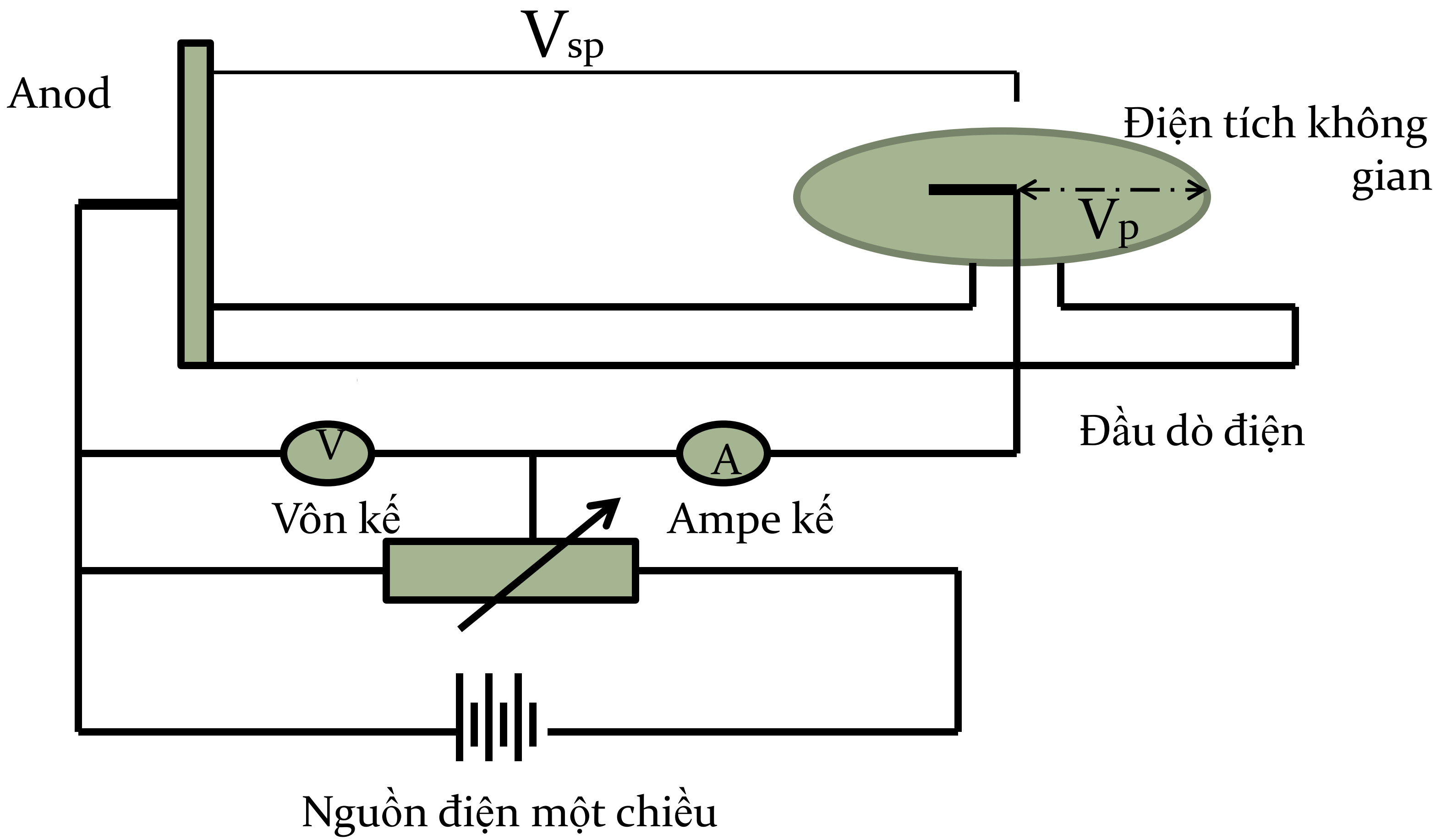


SỰ THAY ĐỔI NẰNG LƯỢNG ĐiỆN TỬ TRUNG BÌNH THEO CƯỜNG ĐỘ DÒNG PHÓNG ĐỆIN



PHẦN PHỤ LỤC

Sơ đồ hệ đo



Vsp
Anod
Điện tích không gian
Vp
Đầu dò điện
V
A
Vôn kế
Ampe kế
Nguồn điện một chiều

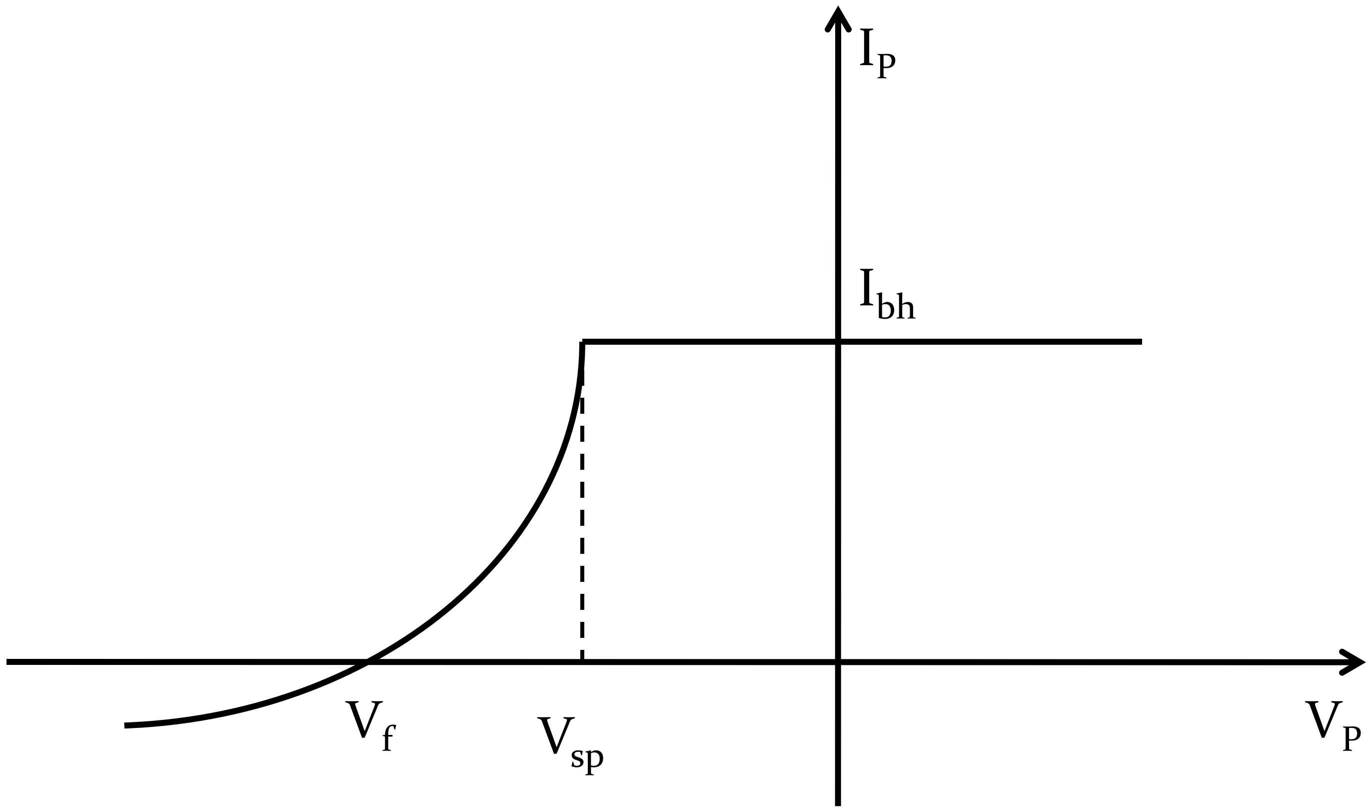
Vsp : hiệu điện thế giữa điện cực và lớp biên điện tích không gian bao quanh đầu dò, còn gọi là điện thế không gian

Vp : hiệu điện thế giữa bề mặt đầu dò và lớp biên điện tích không gian, còn gọi là điện thế đầu dò.

- Dòng qua đầu dò là sự kết hợp của dòng điện tạo bởi sự chuyển động có hướng của các điện tử và dòng điện tạo bởi sự chuyển động có hướng của các ion dương.

$$I_p = I_i + I_e$$

ĐẶC TUYẾN VOLT-AMPERE CỦA ĐẦU DÒ PHẲNG LÝ TƯỞNG



Ý nghĩa Vật lý của sự tồn tại các thông số liên hợp PR và i/R

Nếu sự phân bố điện tử theo bán kính ống phóng dạng hàm Bessel, ta có :

$$i = 0.43\pi R^2 e n_{0e} b_e E \qquad i = 2\pi e b_e E_z \int_0^R n_e(r) r dr$$

Với $b_e \sim 1/P$ ta có:

$$\frac{i}{R} = 0.43\pi e \frac{n_{0e}}{P} ER$$

Vì vậy, nếu các thông số PR và i/R không đổi, tất yếu đảm bảo cho các đặc trưng $\frac{f(v)}{P}, \frac{n_e}{P}, \bar{\varepsilon}$ cũng không đổi

```
clc
clear all
V=[0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9];
I1=[11.8 11.5 10.4 4.8 2.5 1.5 0.7 0.2 0 -0.2];
I2=[13.2 12.9 11 4.8 2.5 1.5 0.7 0.2 0 -0.2];
I3=[14.4 14.2 11.5 5 2.5 1.5 0.7 0.2 0 -0.2];
x1=0:-0.05:-9;
x2=0:-0.05:-9;
x3=0:-0.05:-9;
i=1
for i=1:length(x1)
   y1(i)=interp1(V,I1,x1(i),'cubic');
   y2(i)=interp1(V,I2,x2(i),'cubic');
   y3(i)=interp1(V,I3,x3(i),'cubic');
   i=i+1
end
plot(x1,y1,x3,y3,x2,y2)
```