

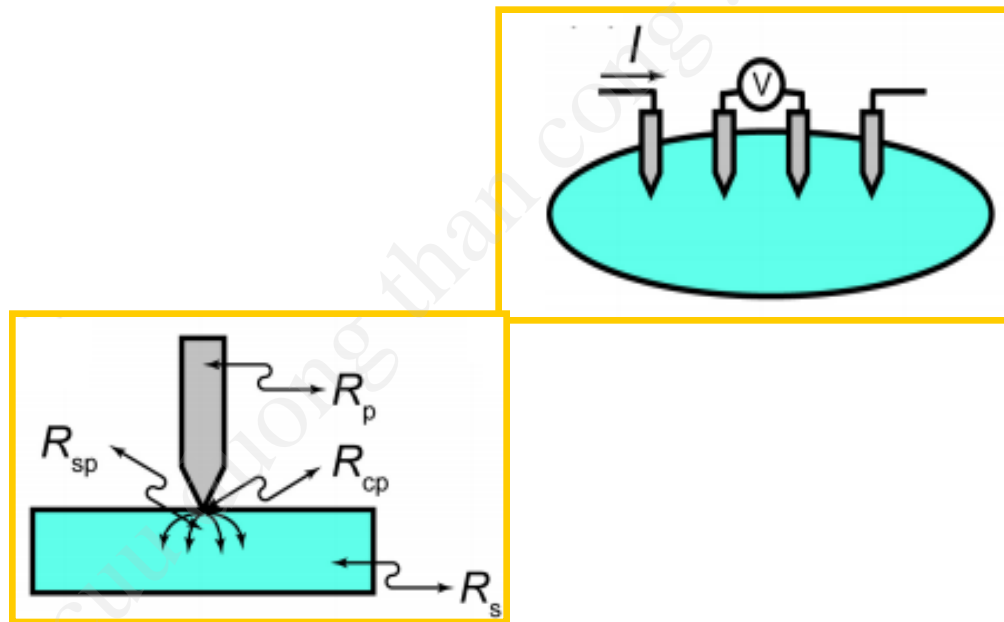
## Chương 4. Phân tích tính chất điện của Vật liệu

4.1.  
4 mũi dò

4.2.  
Hiệu ứng  
Hall

4.3.  
Đặc trưng  
 $I - V$

## 4.1. PHƯƠNG PHÁP 4 MŨI DÒ

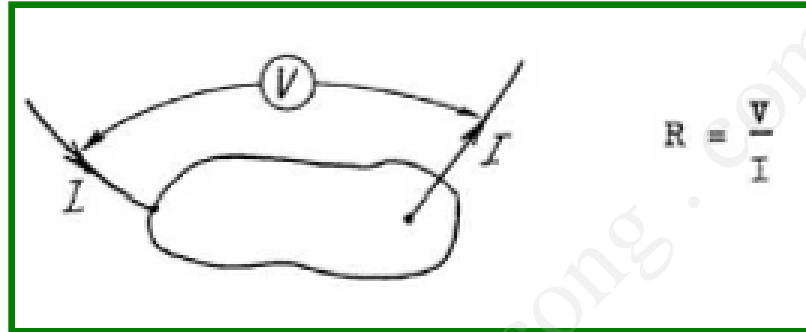


# NỘI DUNG

- ✦ Một số khái niệm
- ✦ Phương pháp 4 mũi dò

# Điện trở - điện trở suất

## Điện trở



## Điện trở suất

Đo được điện trở

Biết được hình dạng và kích thước của mẫu



## Điện trở suất

$$\rho = G \cdot \frac{V}{I}$$

G: thừa số hình học

# Điện trở mặt

Màng mỏng



Độ dày màng << Diện tích màng



Đặc trưng cho khả năng dẫn điện của màng mỏng. → **Điện trở mặt**

Giả sử có một mẫu dẫn điện như hình vẽ:

$$R = \rho \frac{a}{b \cdot t}$$



Nếu  $a = b$  thì:

$$R_s = \frac{\rho}{t}$$

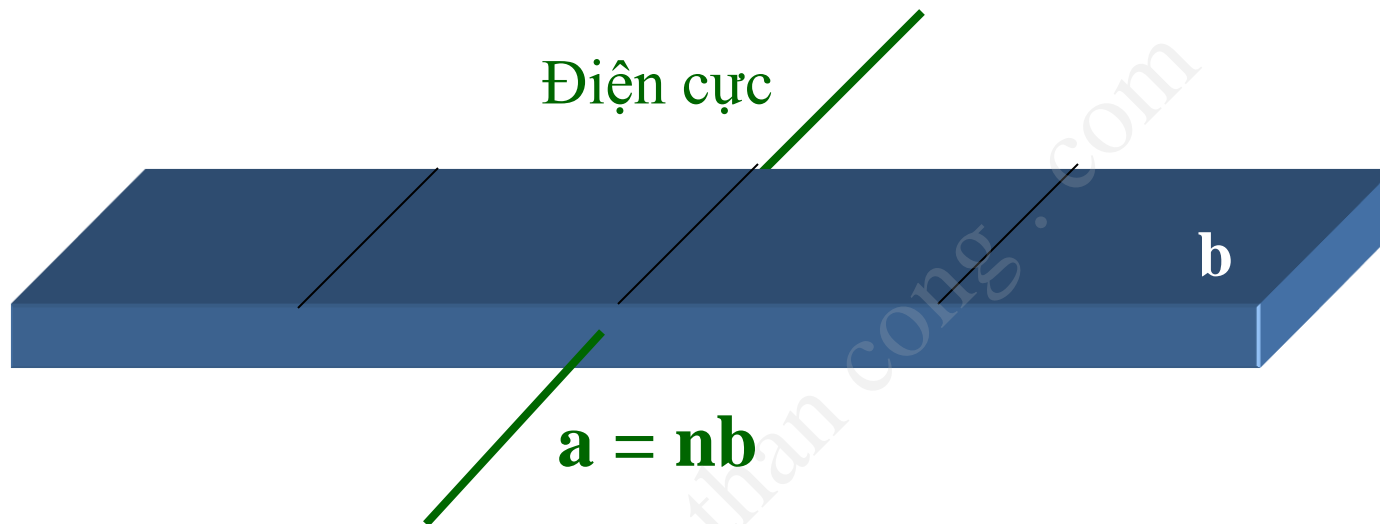
( $\Omega/\square$ )



Gọi là điện trở mặt

- Điện trở mặt không phụ thuộc vào diện tích của màng. Với độ dày xác định, điện trở mặt có thể đặc trưng cho độ dẫn điện của màng.
- Nếu  $a \neq b$ , chúng ta có thể tính được điện trở màng từ điện trở mặt bằng cách chia diện tích mẫu ra thành nhiều ô vuông nhỏ. Khi đó điện trở mặt sẽ có giá trị tùy thuộc vào vị trí của điện cực.

## ✦ Trường hợp điện cực mắc song song với mẫu:



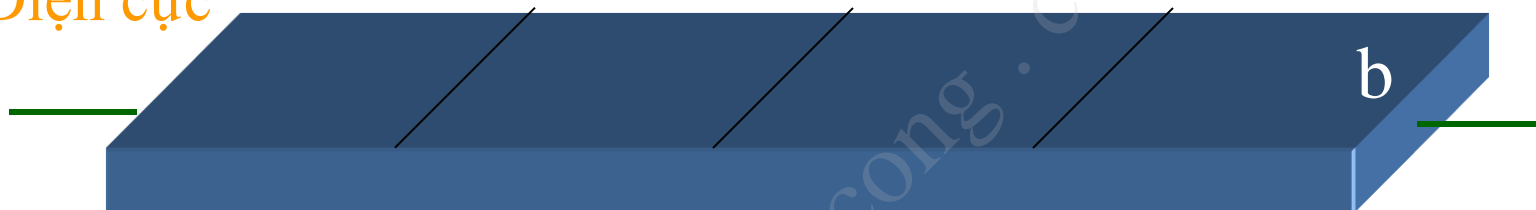
Điện trở của mẫu:

$$R = \frac{R_s}{n}$$

Với  $n = a/b$

## ✦ Trường hợp điện cực mắc nối tiếp với mẫu:

Điện cực



$$a = nb$$

Điện trở của mẫu:

$$R = n.R_s$$

Với  $n = a/b$



**Điện trở suất của đế  
phải rất cao**



Dòng điện chỉ đi qua lớp  
màng, không truyền xuống đế



**Giảm sai số của phép đo**

**Điện trở suất của đế nhỏ**



Dòng điện sẽ truyền xuống đế



Kết quả đo là tổng trở của hai  
điện trở song song

## Phương pháp 4 mũi dò

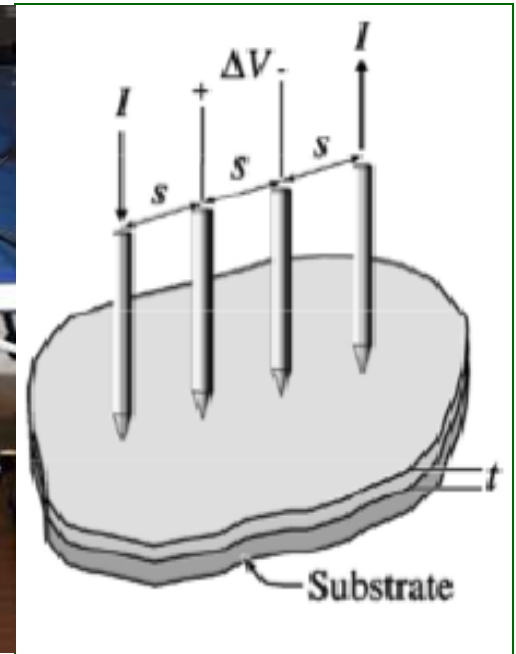
---

- Bốn mũi dò là thiết bị dùng để đo điện trở suất của vật liệu, bằng cách cho 4 mũi dò tiếp xúc với bề mặt vật liệu trên 1 đường thẳng.
- Bốn mũi dò được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp bán dẫn và được ứng dụng trong cả hai lĩnh vực: nghiên cứu và sản xuất.

## Cấu tạo

### Gồm 04 phần chính:

- Bộ trục di chuyển mẫu
- Bộ đệm di chuyển đầu dò
- Bốn mí
- Nguồn

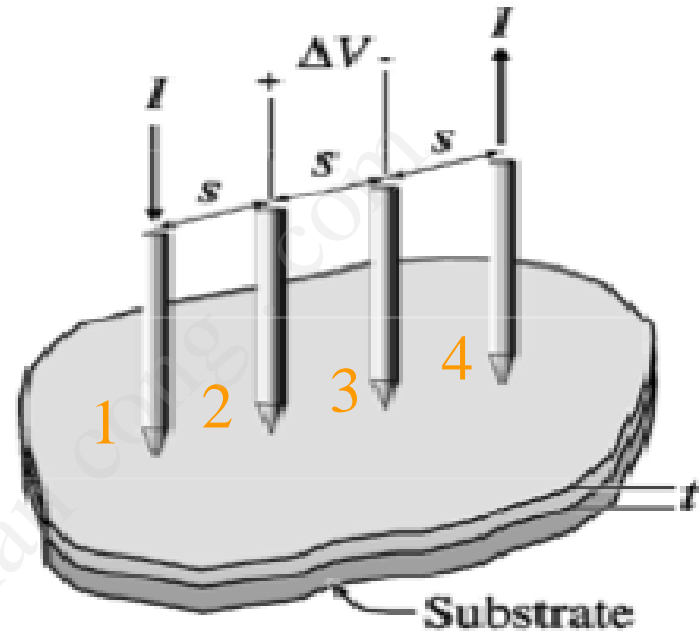


## Nguyên tắc:

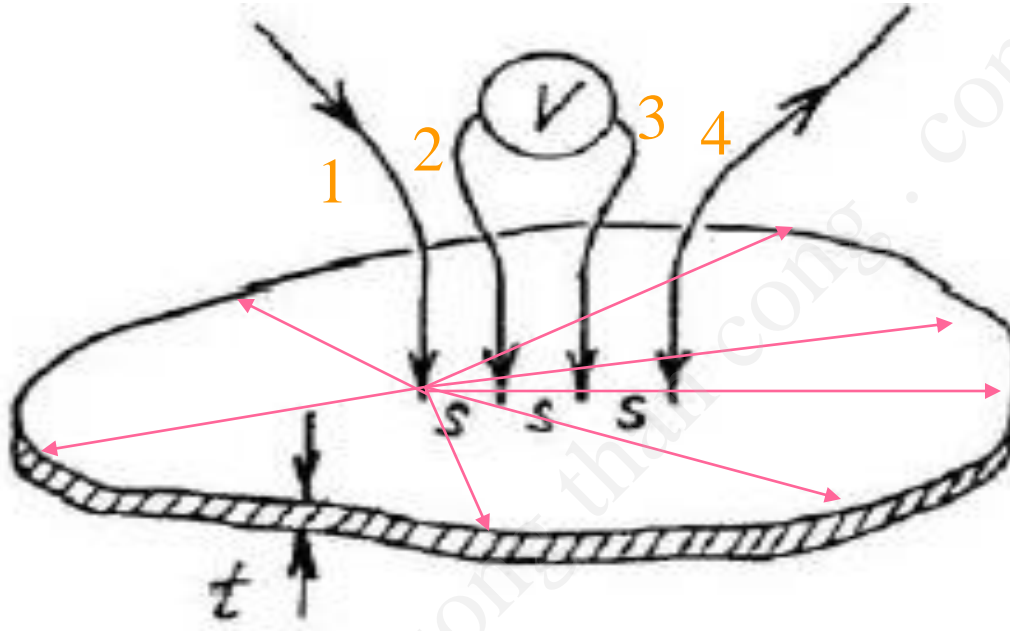
- Dòng điện được đưa vào mũi dò 1, lấy ra ở mũi dò 4.
- Đo hiệu điện thế giữa hai mũi dò 2 và 3.

Khi đó điện trở suất của màng được tính bởi biểu thức:

$$\rho = G(s, t) \frac{\Delta V}{I} \implies R_s = \frac{\rho}{t}$$



Thừa số hiệu chỉnh  $G$  phụ thuộc vào hình dạng mẫu, vị trí của các mũi dò trên mẫu và khoảng cách giữa các mũi dò.

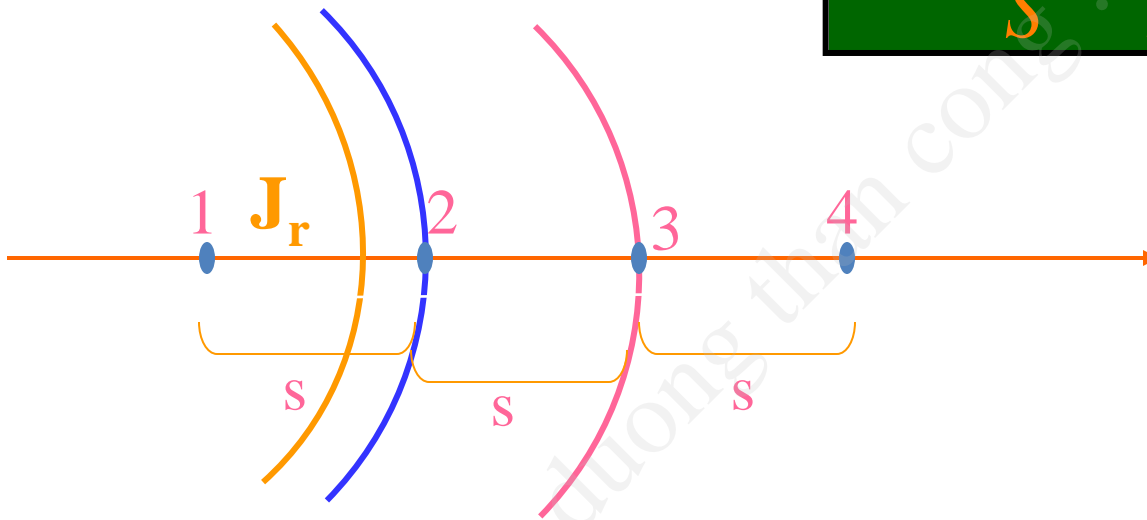


Độ dày màng  $t \ll s$  ( $t/s \ll 1$ ), do đó có thể xem phương của  $I$  song song bề mặt mẫu.

Khi đó mặt đẳng thế là các mặt trụ tâm ở vị trí mũi dò 1.

Mật độ dòng tại điểm bất kỳ trên mặt trụ đẳng thế có bán kính  $r$  tính từ mũi dò 1 là:

$$J_r = \frac{I}{S} = \frac{I}{2\pi r t}$$

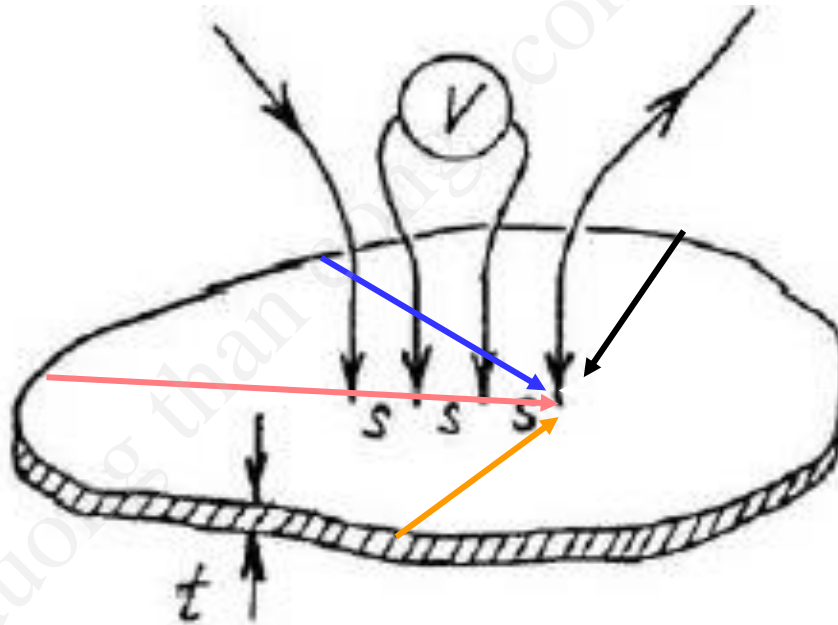


Hiệu điện thế giữa 2 mũi dò 2 và 3:

$$V_a = V_2 - V_3 = \int_s^{2s} E \cdot dr = \int_s^{2s} \rho \cdot J_r \cdot dr \Rightarrow V_a = \frac{\rho \cdot I \cdot \ln 2}{2\pi t}$$

Biểu thức mật độ dòng không đổi:

$$J_r = \frac{I}{S} = \frac{I}{2\pi r t}$$



Hiệu điện thế qua 3 và 2 tính tương tự:

$$V_b = V_3 - V_2 = - \int_{2s}^s E \cdot dr = \frac{\rho \cdot I \cdot \ln 2}{2\pi t}$$

**Kết hợp 2 trường hợp trên,  
ta có hiệu điện thế đo được tại 2 mũi 2 và 3:**

$$V = V_a + V_b = 2 \cdot \frac{\rho \cdot I \cdot \ln 2}{2\pi\pi}$$

**⇒ Điện trở suất:**

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \cdot \frac{V}{I}$$

**⇒ Điện trở mặt:**

$$R_s = \frac{\rho}{t} = \frac{\pi}{\ln 2} \cdot \frac{V}{I}$$

**⇒ Thừa số hình học:**

$$G_\infty = \frac{\pi}{\ln 2} \cdot t$$



Trường hợp t không nhỏ hơn nhiều so với s, có thêm thừa số hiệu chỉnh T(t/s). Do đó điện trở suất có dạng:

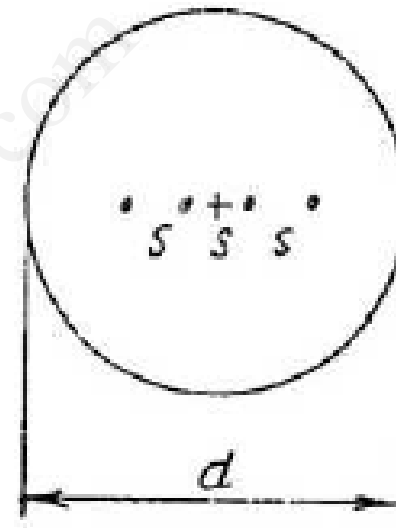
$$\rho = G_{\infty} \cdot \frac{V}{I} \cdot T\left(\frac{t}{s}\right)$$

t/s	T	t/s	T
0,4	0,9995	1,25	0,8490
0,5	0,9974	1,4286	0,7938
0,5555	0,9948	1,6666	0,7225
0,625	0,9898	2	0,6336
0,7143	0,9798	2,5	0,5276
0,8333	0,9600	3,3333	0,4067
1	0,9214	5	0,2753
1,1111	0,8907	10	0,1385

★ **Màng mỏng hình tròn ( $t < s/2$ )**

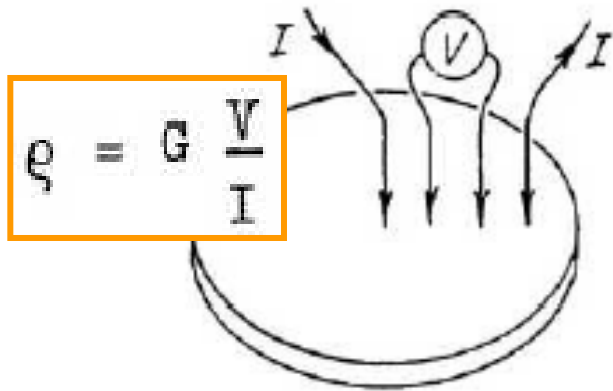
$$\rho = G_{\infty} \cdot \frac{V}{I} \cdot C\left(\frac{d}{s}\right)$$

$$C\left(\frac{d}{s}\right) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\ln 2} \ln \left[ \frac{1 + 3\left(\frac{s}{d}\right)^2}{1 - 3\left(\frac{s}{d}\right)^2} \right]}$$

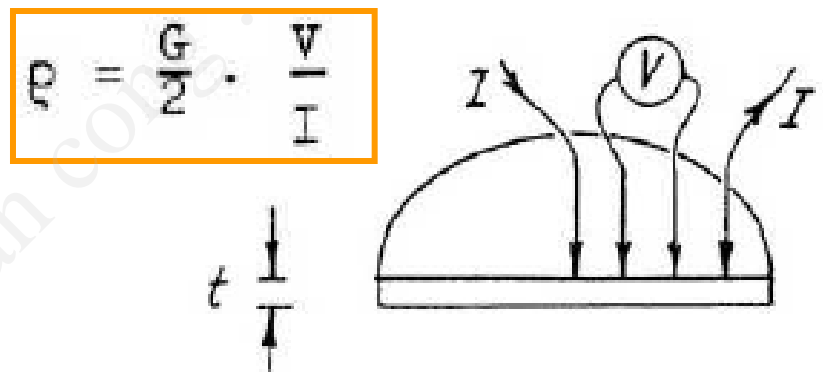


# Điện trở suất của mẫu khi đặt 4 mũi dò ở các vị trí khác nhau

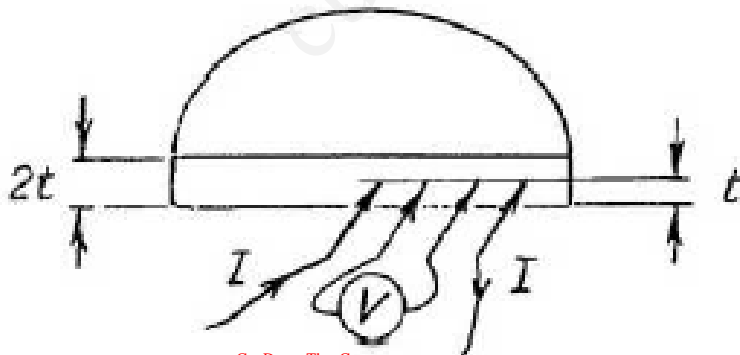
1) 4 mũi dò nằm trên đường kính của mẫu. Điện trở suất của mẫu:



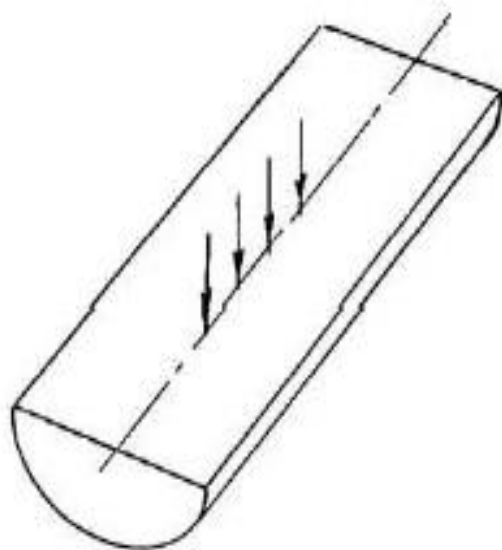
2) Nếu cắt mẫu như hình vẽ thì hiệu điện thế sẽ tăng gấp đôi với dòng điện I như nhau.



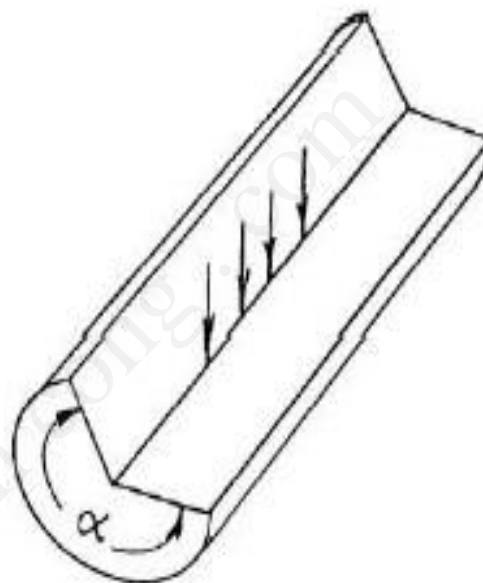
3) Nếu độ dày của mẫu tăng gấp đôi và vị trí 4 mũi dò như hình vẽ thì tỉ số giữa V và I tương tự như trường hợp 1)



$$\rho = G \frac{V}{I}$$

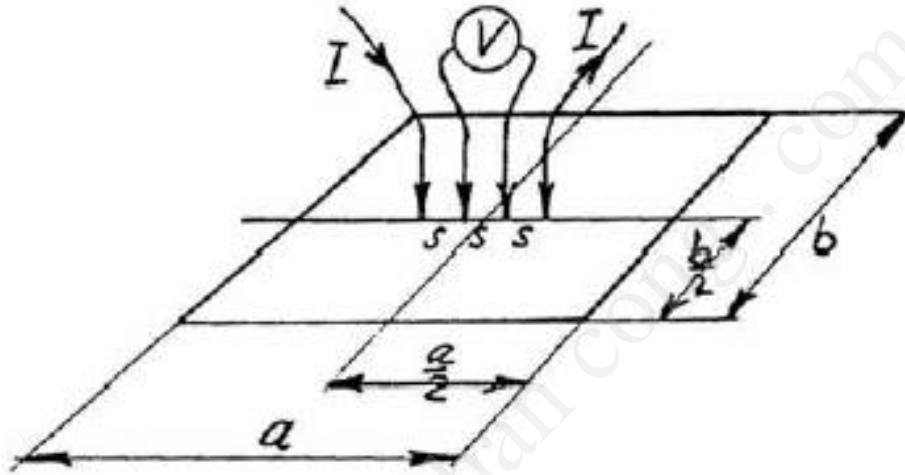


$$\varphi = G \frac{V}{I}$$



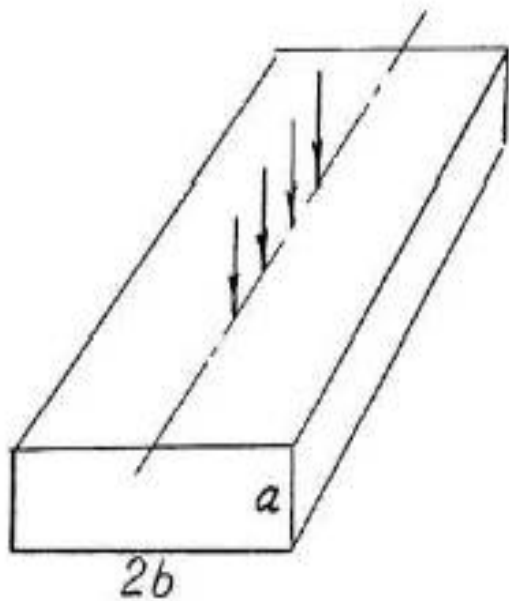
$$\varphi = \frac{\alpha^{\circ}}{180^{\circ}} G \frac{V}{I}$$

## ✦ Màng mỏng hình chữ nhật ( $t < s/2$ )

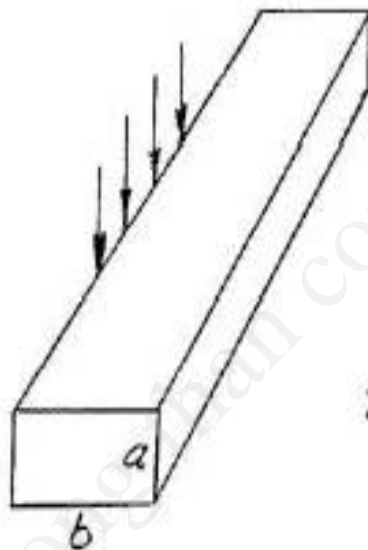


$$\rho = G_{\infty} \cdot \frac{V}{I} \cdot R\left(\frac{b}{s}, \frac{a}{b}\right)$$

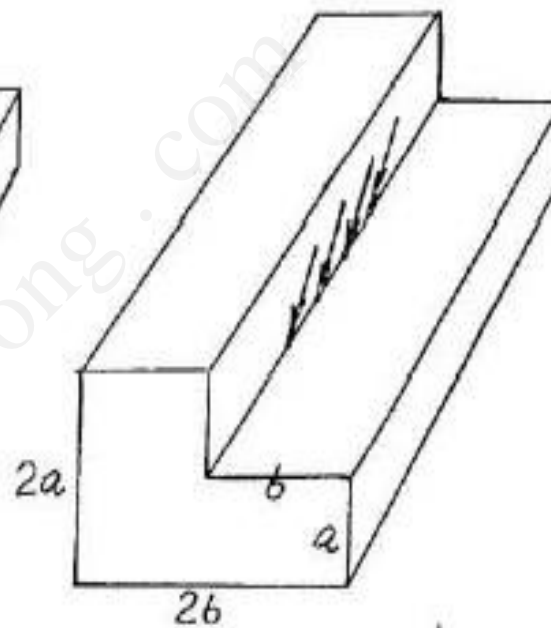
**R là thừa số hiệu chỉnh được đưa vào do mẫu có dạng chữ nhật hữu hạn.**



$$q = G \frac{V}{I}$$



$$q = \frac{1}{2} G \frac{V}{I}$$



$$q = \frac{3}{2} G \frac{V}{I}$$

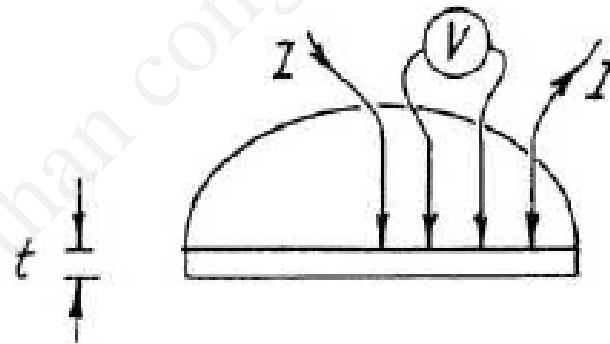
$$R\left(\frac{b}{s}, \frac{a}{b}\right)$$

$\frac{b}{s}$	$\frac{a}{b} = 1$	$\frac{a}{b} = 2$	$\frac{a}{b} = 3$	$\frac{a}{b} \geq 4$
1			0,2204	0,2205
1,25			0,2751	0,2751
1,5		0,3263	0,3286	0,3286
1,75		0,3794	0,3803	0,3803
2		0,4292	0,4297	0,4297
2,5		0,5192	0,5194	0,5194
3	0,5422	0,5957	0,5958	0,5958
4	0,6870	0,7115	0,7115	0,7115
5	0,7744	0,7887	0,7888	0,7888
7,5	0,8846	0,8905	0,8905	0,8905
10	0,9313	0,9345	0,9345	0,9345
15	0,9682	0,9696	0,9696	0,9696
20	0,9822	0,9830	0,9830	0,9830
40	0,9955	0,9957	0,9957	0,9957
$\infty$	1	1	1	1

**Ví dụ 1:** Dùng phương pháp phún xạ magnetron tạo ra màng mỏng ZnO pha tạp Ga (GZO):

- Có kích thước 4 cm × 2 cm. (**Đáp số:  $R_s = 22,27 \Omega/\square$ ;  $\rho = 1,11.10^{-3} \Omega\text{cm}$** )

- Có dạng bán hình tròn như *hình vẽ*, với diện tích bề mặt là 353.25 mm<sup>2</sup> và màng có độ dày  $t = 500$  nm. (**Đáp số:  $R_s = 20,66 \Omega/\square$ ;  $\rho = 1,03.10^{-3} \Omega\text{cm}$** )



Hãy xác định điện trở mặt và điện trở suất của màng bằng phương pháp bốn mũi dò, với khoảng cách giữa 2 mũi dò là 1mm, số chỉ ampe kế là 40 mA và số chỉ vôn kế là 200 mV. (*Lấy giá trị gần đúng  $\pi = 3.14$* )