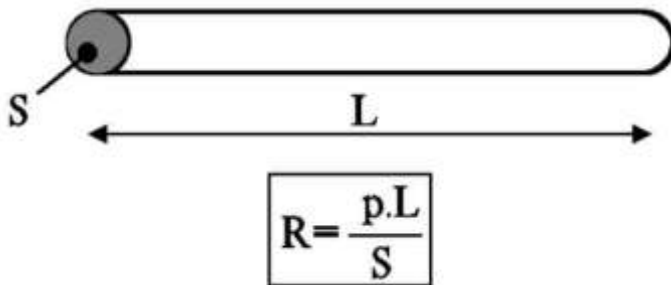


## Correction TD N°1

### Exo.1

#### 1.1. Resistance du fil

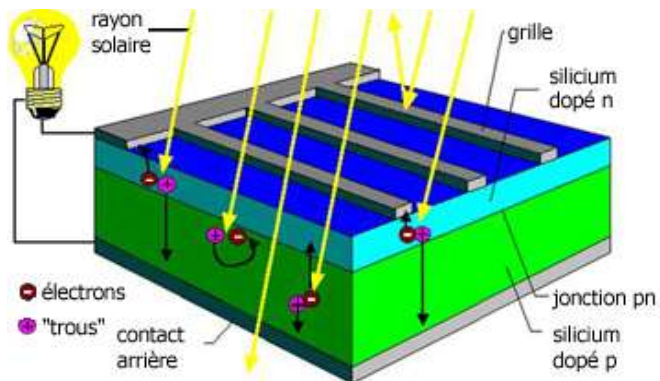


$$R = (\rho \cdot L) / S = (1.7 \cdot 10^{-8} \cdot 2) / 1.7 \cdot 10^{-6} = 0.02 \Omega$$

#### 1.2. Puissance dissipée dans le fil

$$P = RI^2 = 0.02 \cdot (2)^2 = 0.08 \text{ W}$$

### Exo.2

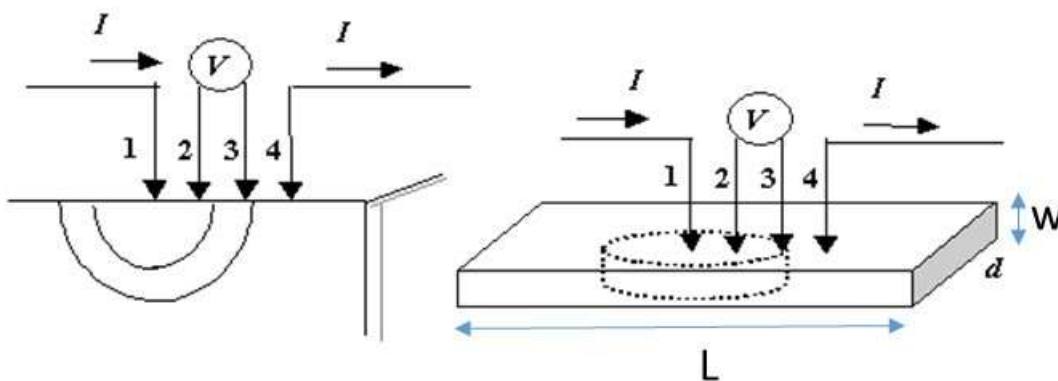
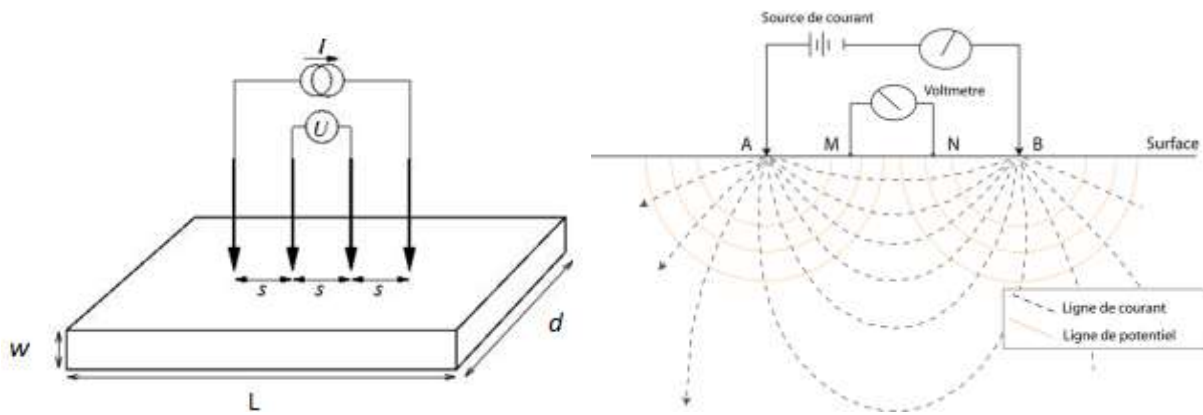


$$R = (\rho \cdot L) / S = (\rho \cdot L) / (W \cdot t) \leq R_i \Rightarrow t \geq (\rho \cdot L) / (W \cdot R_i)$$

$$t \geq (2.7 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 10^{-2}) / (1 \cdot 10^{-3} \cdot 10)$$

$$t_{\min} = 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2.7 \mu\text{m}$$

**Exo.3**



Cas d'un échantillon semi-infini

Cas d'une tranche d'épaisseur  $w \ll s$

**3.1. Cas d'un échantillon semi-infini**

$$J = \sigma E = E/\rho \quad J = I/S = I/(2\pi r^2) \quad E = -dV/dr$$

d'où

$$dV = -E dr = -\rho J dr = -\rho \left( \frac{I}{2\pi r^2} \right) dr$$

La ddp entre les pointes 2 et 3 due au courant injecté en 1 vaut :

$$V_{32} = \int_s^{2s} \left( -\frac{\rho I}{2\pi r^2} \right) dr = -\left( \frac{\rho I}{2\pi} \right) \int_s^{2s} \frac{1}{r^2} dr = -\left( \frac{\rho I}{2\pi} \right) \left[ -\frac{1}{r} \right]_s^{2s} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{2s} - \frac{1}{s} \right)$$

La ddp entre les pointes 3 et 2 due au courant injecté en 4 vaut:

$$V'_{32} = - \int_{2s}^s \left( - \frac{\rho I}{2\pi r^2} \right) dr = \frac{\rho I}{2\pi} \left( - \frac{1}{r} \right)_{2s}^s = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{2s} - \frac{1}{s} \right)$$

Selon le théorème de superposition :

$$|\Delta V| = V_{32} + V'_{32} = \frac{2\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{2s} - \frac{2}{2s} \right) = \frac{\rho I}{2s\pi}$$

Par conséquent:

$$\rho = 2\pi s \frac{|\Delta V|}{I}$$

### 3.2. Cas d'une tranche d'épaisseur $w \ll s$

En appliquant la formule

$$J = \sigma E = E/\rho \quad J = I/S = I/(2\pi W r) \quad E = -dV/dr$$

$$dV = -E dr = -\rho J dr = -\rho \left( \frac{I}{2\pi r w} \right) dr$$

On obtient:

La ddp entre les pointes 2 et 3 due au courant injecté en 1 vaut :

$$V_{32} = \int_s^{2s} \left( - \frac{\rho I}{2\pi r w} \right) dr = - \left( \frac{\rho I}{2\pi w} \right) \int_s^{2s} \frac{1}{r} dr = - \left( \frac{\rho I}{2\pi w} \right) [\ln r]_s^{2s} = - \frac{\rho I}{2\pi w} \ln 2$$

De même, La ddp entre les pointes 3 et 2 due au courant injecté en 4 vaut :

$$V'_{32} = \int_{2s}^s \left( - \frac{\rho(-I)}{2\pi r w} \right) dr = - \frac{\rho I}{2\pi w} \ln 2$$

Selon le théorème de superposition :

$$|\Delta V| = V_{32} + V'_{32} = \left| - \frac{2\rho I}{2\pi w} (\ln 2) \right| = \frac{\rho I}{\pi w} \ln 2 \Rightarrow \rho = \frac{\pi w}{\ln 2} \frac{|\Delta V|}{I}$$

Ce qui donne

$$\rho = 4,53w \frac{|\Delta V|}{I}$$

#### Exo. 4

##### 4.1. La résistivité du matériau

$$\rho = 2\pi s \frac{|\Delta V|}{I}$$

En appliquant la seconde formule

$$\rho = 2 \cdot 3.14 \cdot 10^{-3} (0.02/1 \cdot 10^{-3}) \approx 0.1256 \Omega \cdot m = 12.56 \Omega \cdot cm$$

##### 4.2 la concentration des électrons

$$\sigma = 1/\rho = en\mu_n \Rightarrow n = 1/(e \rho \mu_n) = 1/(1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 12.56 \cdot 10^{-2} \cdot 0.15) = 3.31 \cdot 10^{20} m^{-3} = 3.31 \cdot 10^{14} cm^{-3}$$

##### 4.3. La position du niveau de fermi

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{k_B T}\right) \approx N_D \Rightarrow \delta E_n = E_C - E_{FN} = k_B T \cdot \ln(N_C / N_D)$$

$$E_C - E_{FN} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \ln(2 \cdot 10^{19} / 3.31 \cdot 10^{14}) \approx 0.28 \text{ eV}$$

$$E_C - E_D = 0.044 \text{ eV}$$

$$E_{FN} - E_D = 0.044 - 0.28 = -0.236 \text{ eV}$$

##### 4.4. La concentration des atomes de phosphore non ionisés

$$f_p(E_D) = \frac{N_D^+}{N_D} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E_F - E_D}{k_B T}\right)} \Rightarrow N_D = N_D^+ \left(1 + \exp\left(\frac{E_F - E_D}{k_B T}\right)\right)$$

$$N_D - N_D^+ = N_D^+ \exp\left(\frac{E_F - E_D}{k_B T}\right) = 3.31 \cdot 10^{14} \exp\left(\frac{-0.236 \times 1.6 \cdot 10^{-19}}{1.38 \cdot 10^{-23} \times 300}\right) = 3.6 \cdot 10^{10}$$

## Exo.5

### 5.1. Résistivité de la couche

$$\rho = f \frac{\pi w}{2 \ln 2} (R_{CD,BA} + R_{DB,AC})$$

$$R_{CD,BA} = V_{BA}/I_{CD} = 12 \cdot 10^{-3} / 100 \cdot 10^{-6} = 120 \Omega$$

$$R_{DB,AC} = V_{AC}/I_{DB} = 13 \cdot 10^{-3} / 100 \cdot 10^{-6} = 130 \Omega$$

$$R_{CD,BA} \approx R_{DB,AC} \Rightarrow f \approx 1$$

$$\rho = [(3.14 \times 3 \cdot 10^{-6}) / (2 \ln 2)] (120 + 130) = 0.0017 \Omega \cdot m = 0.17 \Omega \cdot cm$$

### 5.2. La résistance carrée

$$R_{\square} = \rho/w = 0.0017 / 3 \cdot 10^{-6} = 566.66 \Omega/\square$$