

Propriétés diélectriques et introduction aux propriétés optiques

- Condensateurs et constant diélectrique
- Dipôle électrique et déplacement électrique
- Mécanisme de polarisation
- Exemple: circuits alternatifs
- Introduction lumière
- Les processus optiques

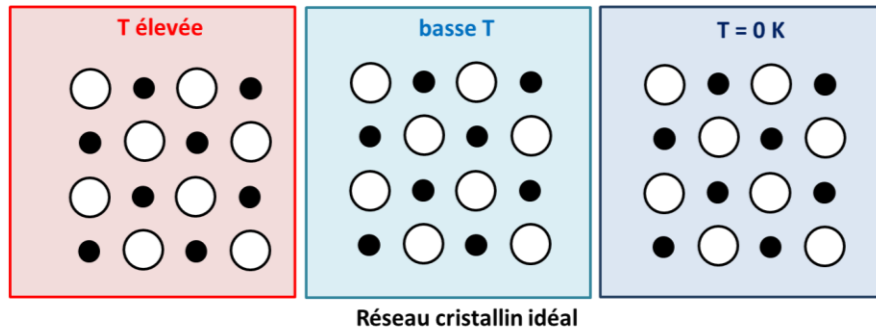
Faut de frappe – semaine passé

Résistivité et température dans les métaux

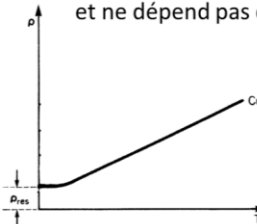
La résistivité des métaux décroît (de façon linéaire) avec la température jusqu'à une valeur finie.

$$\rho_2 = \rho_1 * [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

Ou α est le coefficient linéaire en température de la résistivité. On peut comprendre ceci si on considère que les atomes ne restent pas immobiles dans leur position sur le réseau cristallin. Ils vibrent et oscillent autour de leur position d'équilibre.



La résistivité à $T=0K$, ρ_{res} , est considérée comme étant celle due aux imperfections du cristal et ne dépend pas de T .



a) Calculer la conductivité ($\frac{1}{\Omega \cdot m}$) du cuivre à température ambiante en sachant sa densité d'électrons ($N = 8.47 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}$) et le temps moyen de collision ($\tau = 2.47 \cdot 10^{-14} \text{s}$).

$$\sigma = \frac{N * e^2 * \tau}{m} \quad \sigma [=] \frac{\text{cm}^{-3} * \text{C}^2 * \text{s}}{\text{kg}} [=] \frac{10^6 * \text{C}^2 * \text{s}}{\text{m}^3 * \text{kg}} [=] \frac{10^6 * \text{C}^2}{\text{m} * \text{s}} * \frac{\text{s}}{\Omega \cdot \text{m} * \text{C}^2} [=] \frac{10^6}{\Omega \cdot \text{m}}$$

$$\sigma_{Cu}^{298K} = \frac{8.47 \cdot 10^{22} * (1.602 \cdot 10^{-19})^2 * 2.47 \cdot 10^{-14}}{9.11 \cdot 10^{-31}} \frac{10^6}{\Omega \cdot \text{m}}$$

$$\sigma_{Cu}^{298K} = 5.89 * 10^7 \frac{1}{\Omega \cdot \text{m}}$$

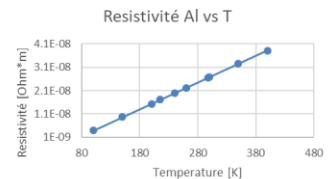
$$J = \frac{kg * m^2}{s^2} = \frac{\Omega \cdot m * C^2}{s}$$

	Symbol		Unité
Charge électron	e	$1.602 \cdot 10^{-19}$	C
Masse électron	m	$9.11 \cdot 10^{-31}$	kg

b) La résistivité de l'aluminium à température ambiante est de $2.65 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ et son coefficient de coefficient linéaire en température de la résistivité de 0.0043K^{-1} . À quelle température sa résistivité devient-elle égale à la résistivité du cuivre trouvée précédemment ?

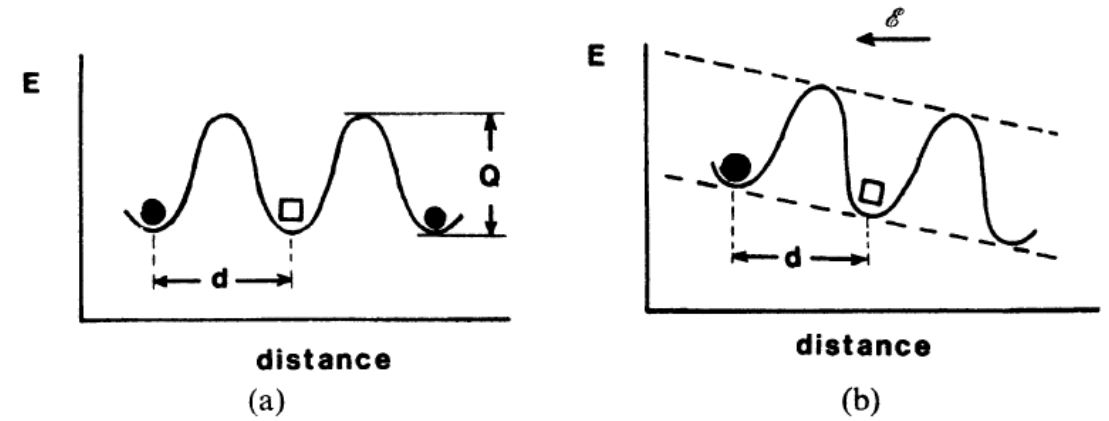
$$\rho_2 = \rho_1 * [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad \rho_{Al}^{T_2} = \rho_{Al}^{298K} * [1 - \alpha(T_2 - 298)] = \rho_{Cu}^{298K}$$

$$T_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\alpha \rho_1} + T_1 \quad T_2 = \frac{1.7 \cdot 10^{-8} - 2.65 \cdot 10^{-8}}{0.0043 * 2.65 \cdot 10^{-8}} + 298 = 215 \text{ K}$$

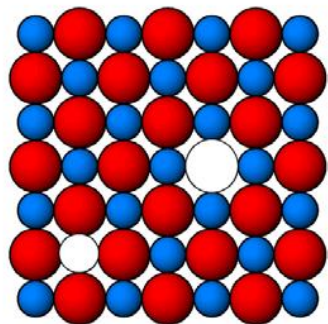


$$\rho_2 = \rho_1 * [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

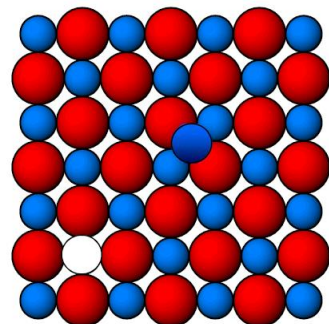
Le cours de la semaine passée en bref



Conductivité ionique

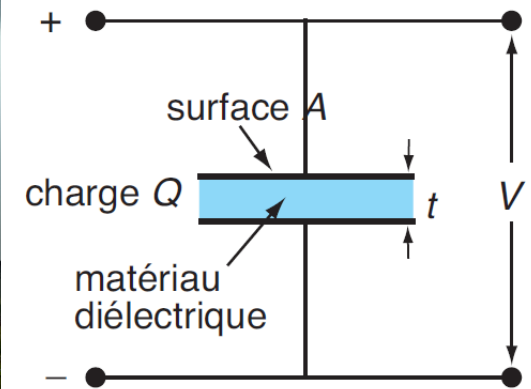


Schottky Defect
(i.e. NaCl)
 $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow V_{\text{Na}} + V_{\text{Cl}}$



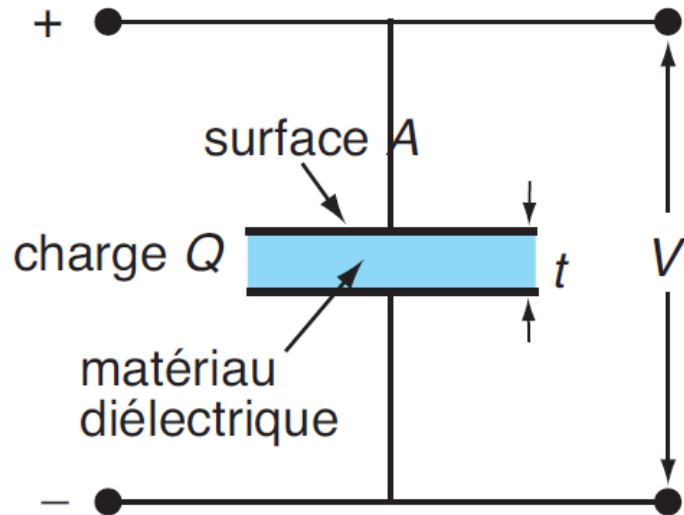
Frenkel Defect
(i.e. AgCl)
 $\text{Ag}^+ \rightarrow V_{\text{Ag}} + \text{Ag}^+_{\text{interstitial}}$

Vacances ou lacunes



Accumule de charges

Condensateur plan



Les condensateurs (aussi appelés capacités) sont un moyen de stocker des charges électriques.

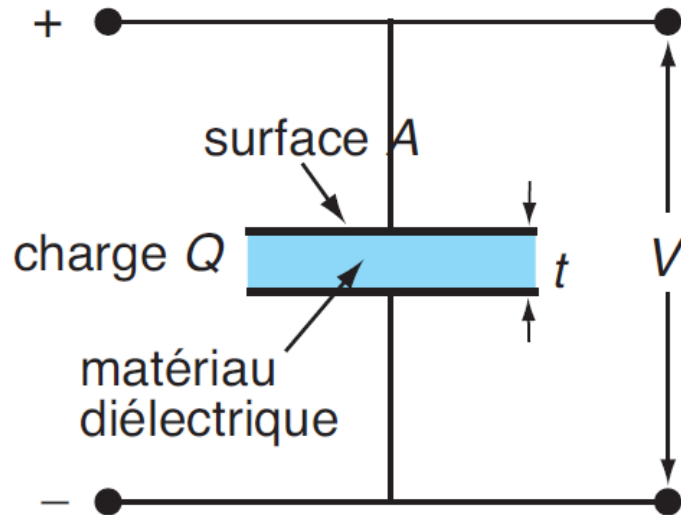
La charge Q (en coulombs) de chacune des plaques (en valeur absolue) est directement proportionnelle à la différence de potentiel, V (volts), entre les plaques:

$$Q = C * V$$

où C (farads ou $F = A*s/V$) est la capacité

La capacité d'un condensateur dépend de sa géométries (imaginez de rapprocher les nuages au terrain: il nous faut moins de charges pour avoir une champs électriques suffisant à créer un foudre).

La constant diélectrique



La relation entre la capacité d'un condensateur sans diélectrique et sa géométrie est:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{t} \quad \text{ou } \epsilon_0 \text{ est la permittivité du vide}$$

$(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})$

La relation entre la capacité d'un condensateur avec diélectrique et sa géométrie est:

$$C = \epsilon \frac{A}{t} \quad \text{ou } \epsilon \text{ est la permittivité du diélectrique}$$

Il est usuel de faire plutôt référence à la *permittivité relative* du diélectrique, appelée aussi *constante diélectrique*:

$$\epsilon_r = \frac{C_{\text{avec diélectrique}}}{C_{\text{sans diélectrique}}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Donc la capacité d'un matériau peut être indiqué comme:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{t}$$

Question (5 minutes):

Est-ce que la capacité d'un condensateur augmente ou décroît avec un matériau diélectrique?

Constant diélectrique des matériaux

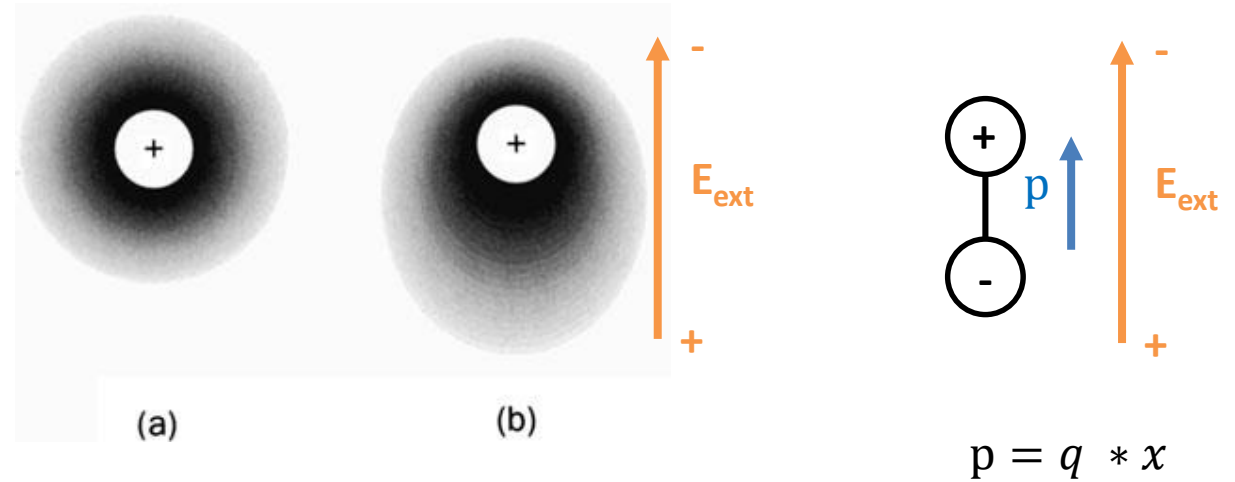
Question:

Est-ce que la capacité d'un condensateur augmente ou décroît avec un matériau diélectrique?

Dipôle électrique

Sous un champ électrique appliqué, les atomes des matériaux diélectrique modifient leur position d'équilibre. En particulier, les nucleus (positifs) et les électrons (négatifs) se déplacent en direction opposé. Comme résultat, un dipôle électrique se forme (où il bouge dans la direction du champ électrique, si il existait déjà).

Ce processus s'appelle polarisation.



ou

x est la séparation de charge
 q est la charge électrique du dipôle

La polarisation électrique P indique le déplacement relatif des charges a cause de la formation des dipôles dans un matériaux

$$P = N * q * x$$

ou N est la densité des dipôles

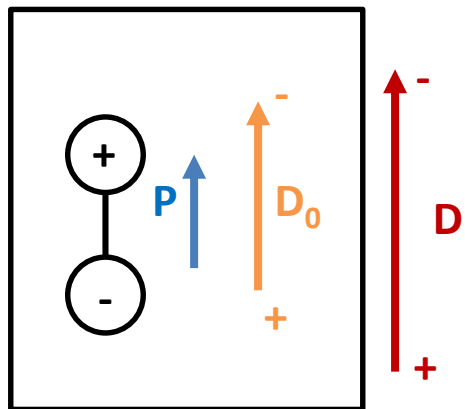
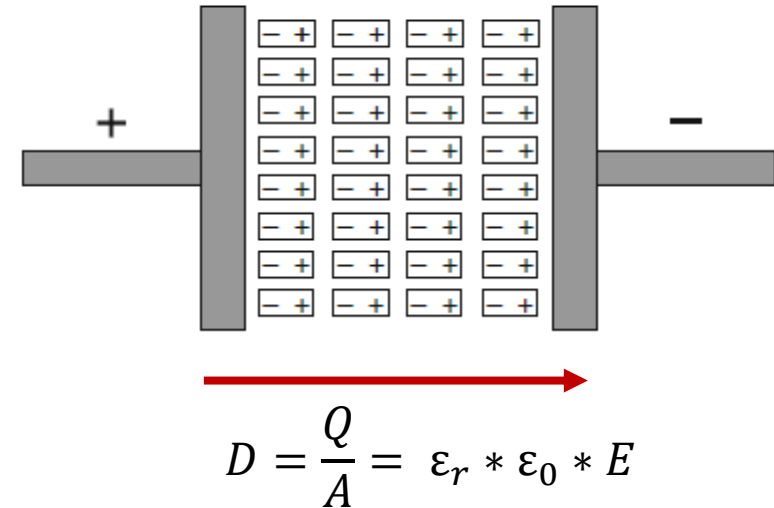
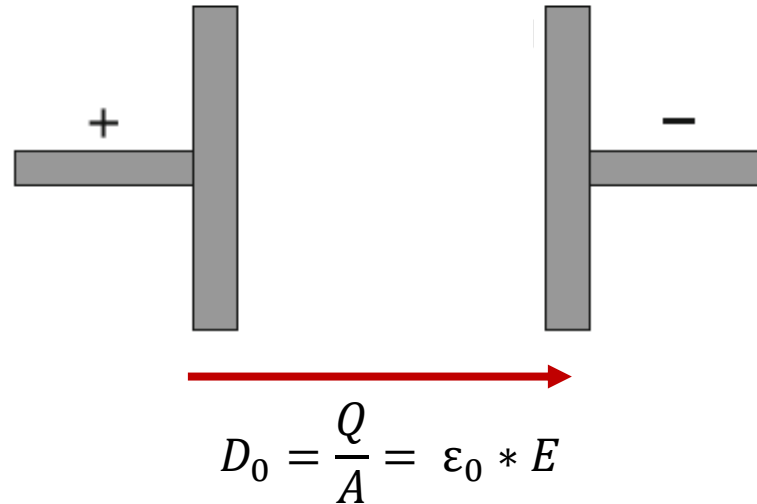
Déplacement électrique

L'effet total d'un champ électrique est le déplacement de charges qui s'accumulent dans le matériau.

Le déplacement total est indiqué par le vecteur de déplacement électrique (D), aussi appelé densité de charge de surface, car cela correspond à $\frac{Q}{A}$.

$$Q = C * V \quad C = \epsilon \frac{A}{t}$$

$$Q = \epsilon \frac{A}{t} * V \quad \frac{Q}{A} = \epsilon * E$$



Le déplacement total de charge est l'ensemble du déplacement dans le vide et du déplacement lié à la polarisation.

$$D = \epsilon_0 * E + P = \epsilon_r * \epsilon_0 * E$$

Exercice (5 minutes)

Utilisez les equations ci-dessous pour demontrer que $E_{dielec} = \frac{E_0}{\epsilon_r}$.

$$Q = C * V$$

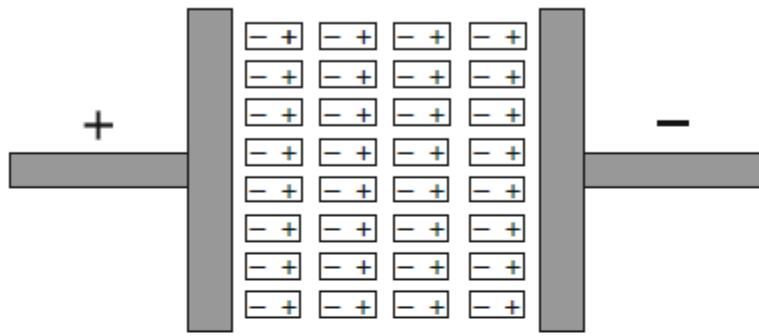
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{t}$$

$$\frac{Q}{A} = \epsilon * E$$

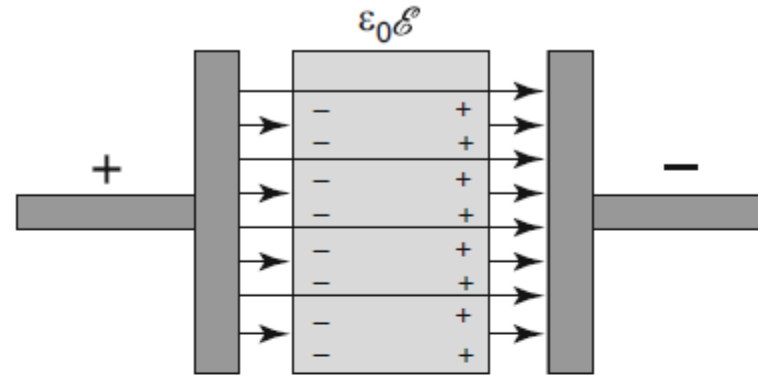
$$D = \epsilon_0 * E + P = \epsilon_r * \epsilon_0 * E$$

Polarisation dans les matériaux

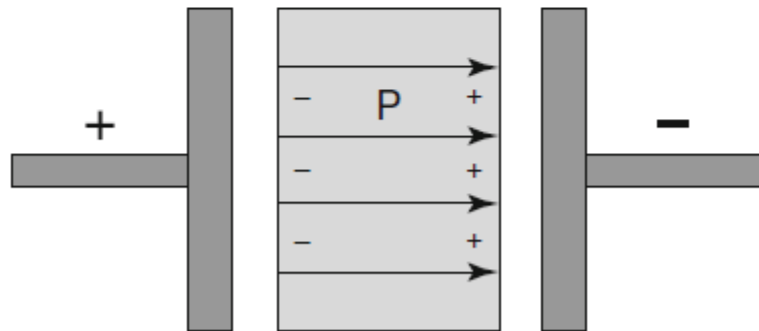
Pour résumer, la polarisation est la raison de l'augmentation de charge de surfaces dans les diélectriques par rapport au vide



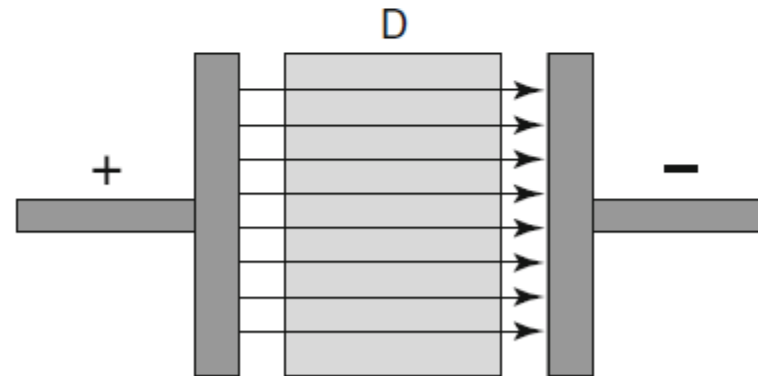
(a)



(b)



(c)



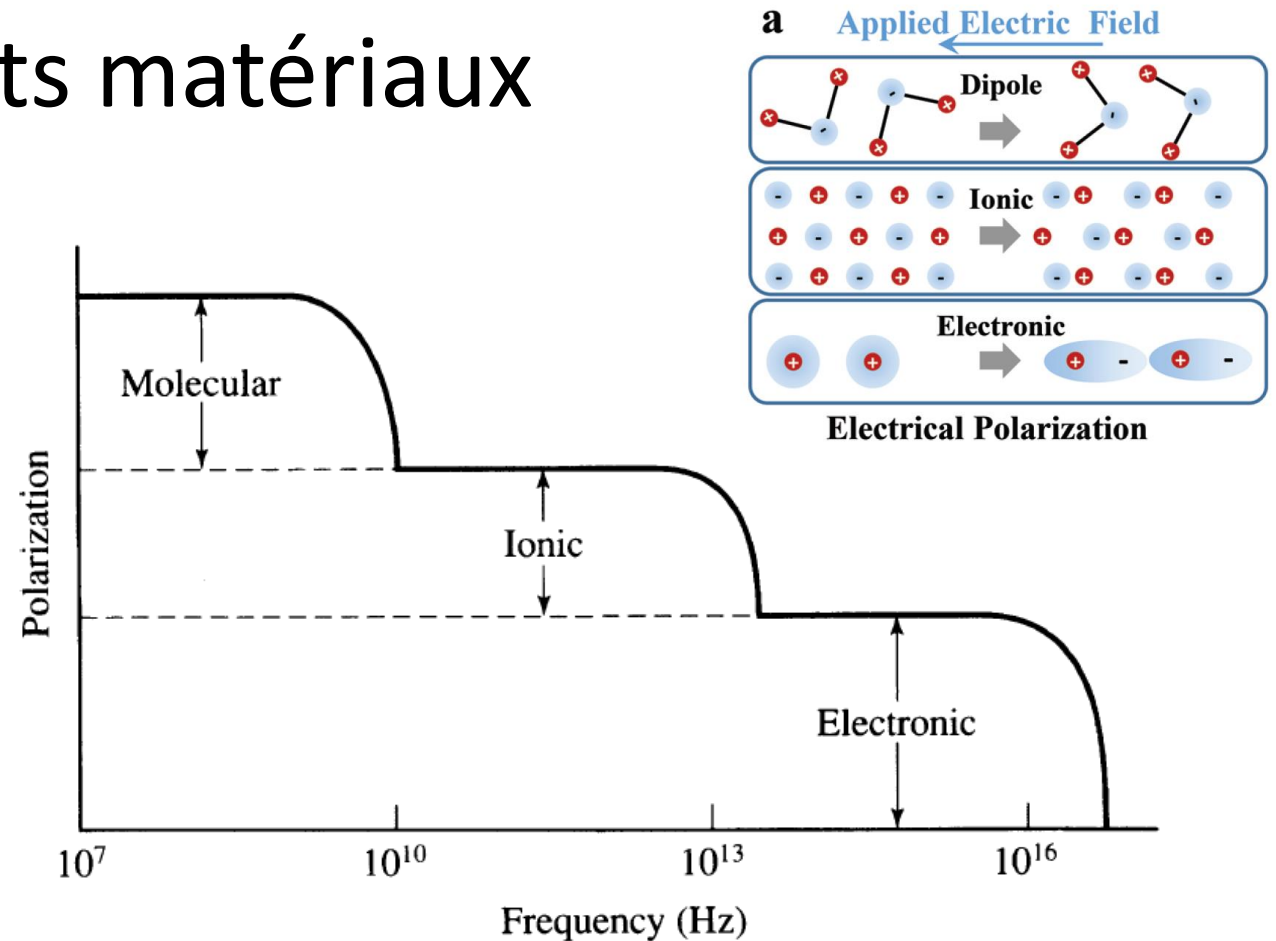
(d)

Polarisation dans différents matériaux

Le mécanisme décrit précédemment est connu sous le nom de polarisation électronique. Il se produit dans tous les matériaux diélectriques soumis à un champ électrique.

Dans les matériaux ioniques, tels que les halogénures alcalins, un processus supplémentaire peut se produire, appelé polarisation ionique. En résumé, les cations et les anions sont quelque peu déplacés de leurs positions d'équilibre sous l'influence d'un champ externe, ce qui génère un moment dipolaire net.

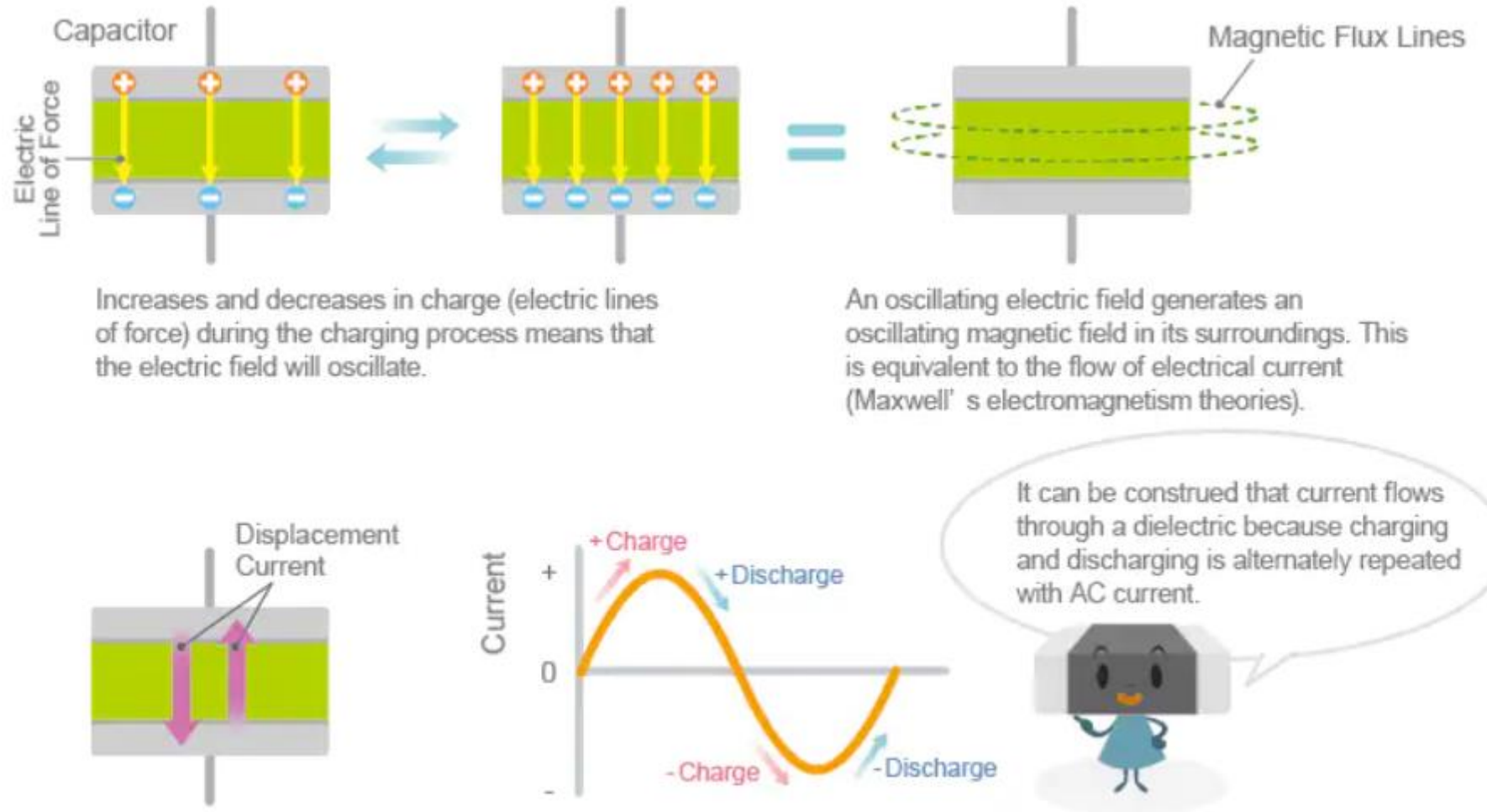
Enfin, de nombreux matériaux possèdent déjà des dipôles permanents qui peuvent s'aligner dans un champ électrique externe. Parmi eux, on trouve l'eau, les huiles, les liquides organiques, les cires, les polymères amorphes, le polychlorure de vinyle et certaines céramiques, telles que le titanate de baryum (BaTiO_3). Ce mécanisme est appelé polarisation d'orientation, ou polarisation moléculaire. Les trois processus de polarisation sont cumulatifs, si applicable.



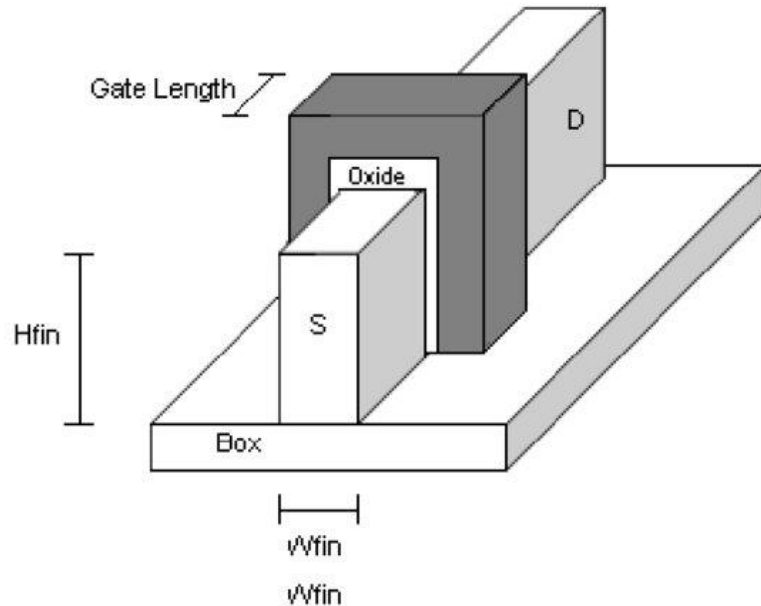
Exemple: circuits électriques alternés

La plupart des condensateurs sont utilisés dans des circuits électriques alternatifs. Cela nécessite que les dipôles se réorientent rapidement sous un champ électrique en rapide évolution.

Tous les mécanismes de polarisation ne réagissent pas aussi rapidement à un champ électrique alterné.



Exercice (1 semaine)



Voici le dessin d'un finFET (FET = field effect transistor ou transistor à effet de champ). C'est la base de la fabrication des dispositifs semi-conducteurs nanoélectroniques modernes. Les microprocesseurs utilisant des grilles FinFET ont été commercialisés pour la première fois dans la première moitié des années 2010, et sont devenus le design de grille dominant pour les nœuds technologiques de 14 nm, 10 nm et 7 nm.

Le FinFET est composé de deux contacts métalliques (source, S, et drain, D), d'un canal semi-conducteur au milieu, d'un diélectrique au-dessus, couvert par un troisième contact métallique (gate). Le gate agit comme un condensateur pour accumuler des charges à l'interface avec le canal. La même quantité de charge sont donc injecté dans le canal.

Questions:

1. Quelles est la géométrie idéal pour profiter aux maximum du diélectrique? Quelles dimensions (épaisseur, largeur, longueur) sont d'intérêt?
2. Choisissez 2 matériaux idéal pour cette application entre les suivants:
Au Cu Si SiO₂ TiO₂ H₂O HfO₂ Al₂O₃
3. En utilisant ces matériaux, combien d'électrons sont injecté dans le canal avec un potentiel de gate de 1V pour si le diélectrique a une géométrie cubique avec coté de 14 nm?

Pause (5 minutes)

Introduction aux propriétés optiques

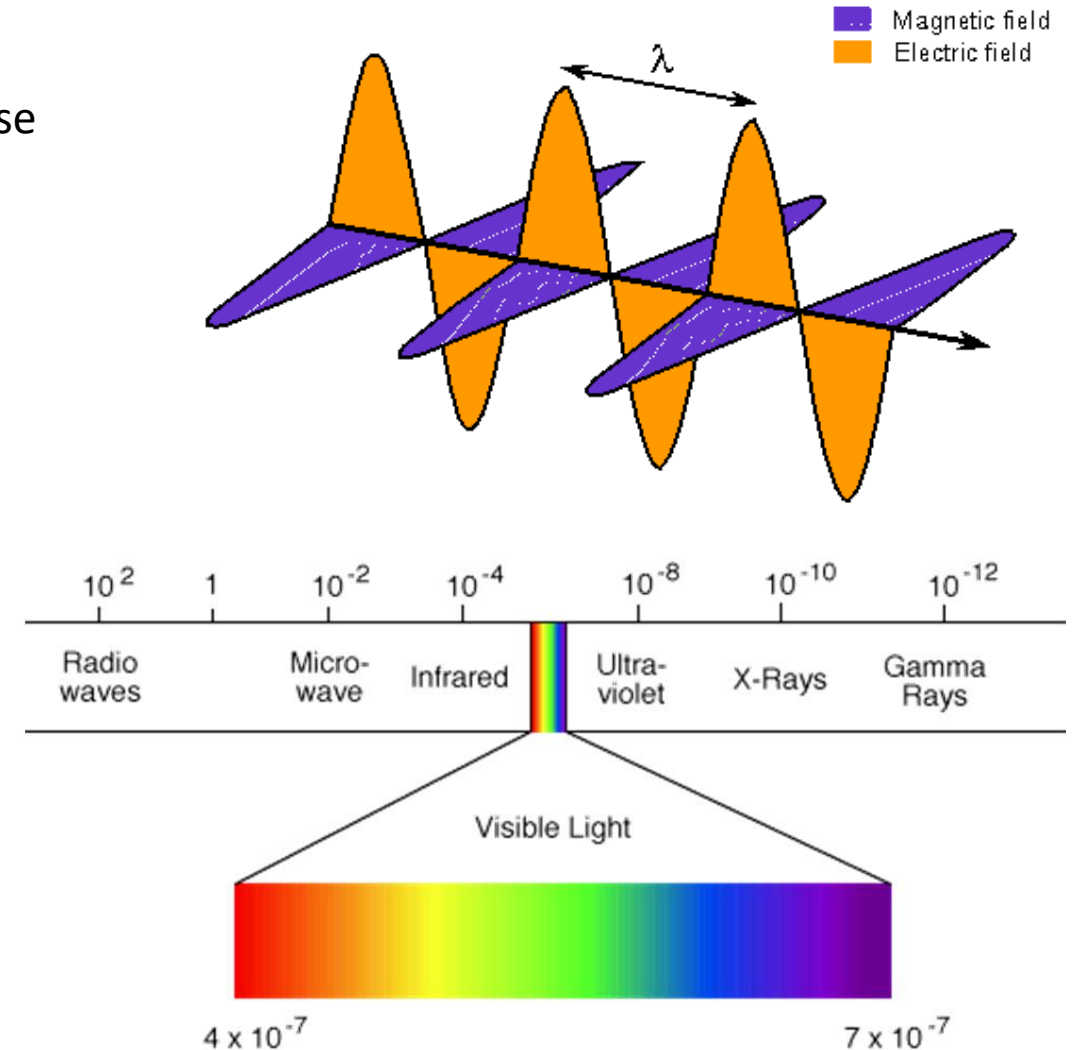
La lumière est une onde électromagnétique. Cela veut dire que simultanément le champ électrique et magnétique oscillent et se propagent dans l'espace et/ou la matière.

Les champs électriques et magnétiques oscillent en phase et le vecteur directeur des champs est perpendiculaire:

$$\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{r}$$

Toute radiation électromagnétique (pour n'importe quelle longueur d'onde) traverse le vide à la même vitesse, celle de la lumière ($c=300\,000\text{ km/s}$). La vitesse, la fréquence ν et la longueur d'onde λ sont liées par la relation :

$$c = \lambda \cdot \nu$$



Introduction aux propriétés optiques

Nous pouvons décrire la lumière aussi comme un flux de paquets d'énergie (E) nommés photons. Celle-ci fait partie de la description faite par la mécanique quantique. A partir de cette description on trouve :

$$E = h \cdot \nu$$

Où h est la constante de Planck : 6.63×10^{-34} J.s

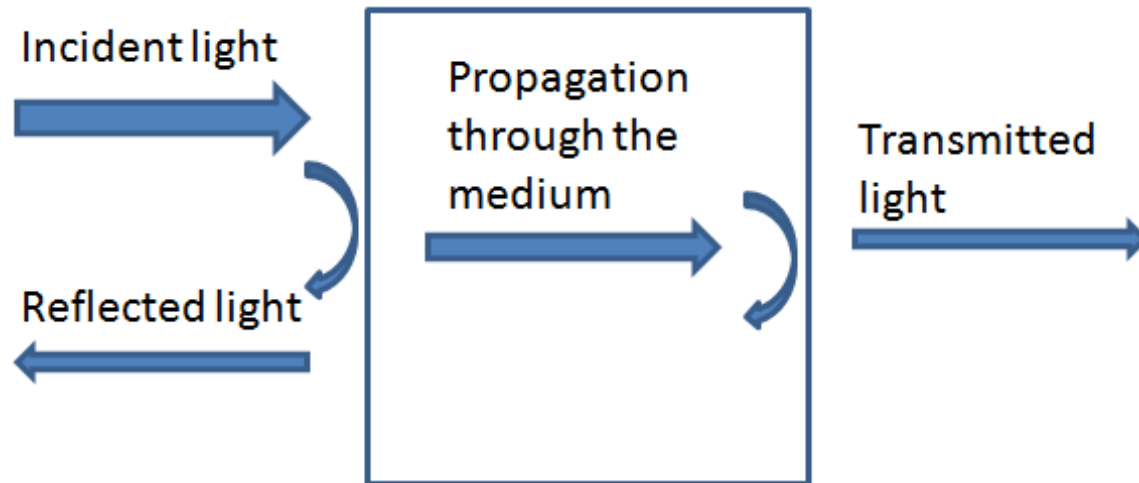
Range	Wavelength	Energy
Deep ultraviolet (DUV)	< 250 nm	> 5 eV
Ultraviolet (UV)	250-400 nm	3-5 eV
Visible (VIS)	400-800 nm	1.6-3 eV
Near infrared (NIR)	800 nm- 2 μ m	0.6-1.6 eV
Mid infrared (MIR)	2-20 μ m	60-600 meV
Far infrared (FIR)	20- 80 μ m	1.6-60 meV
Terahertz (THz)	> 80 μ m	< 1.6 meV

Quiz



Comment ces objets interagissent avec la lumière?

Les processus optiques



En fait, on peut réduire le grand nombre de processus en un petit groupe de phénomènes:

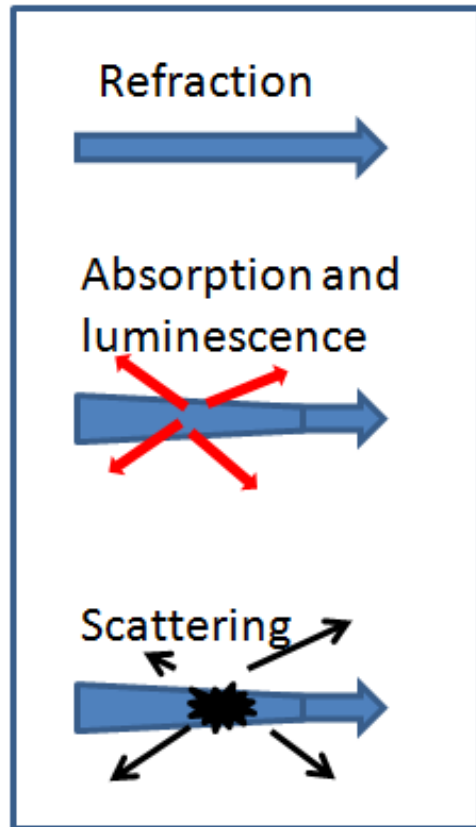
réflexion, propagation et transmission.

Lorsqu'un faisceau lumineux (faisceau incident) frappe la surface d'un matériau, une partie est réfléchi et l'autre est transmise dans la matière où elle se propage.

Dans le cas où une partie de la lumière arrive à la surface arrière, elle peut être réfléchi à nouveau ou transmise hors du matériel.

Les processus optique

Dans le milieu



Les phénomènes qui peuvent arriver lorsque la lumière se propage dans le matériau sont :

Réfraction: Elle fait référence à la propagation de la lumière dans la matière et à la correspondante réduction de vitesse de propagation. La réfraction en elle-même ne diminue pas l'intensité de la lumière.

Absorption: Elle fait référence à la perte d'intensité lumineuse lors de sa propagation. Elle a lieu quand l'énergie de la lumière entre en résonance avec une transition dans le matériau. Les particules excitées peuvent être des électrons mais aussi d'autre type de 'particules' comme les vibrations entre les atomes.

Luminescence: Il s'agit d'un processus assez compliqué qui peut accompagner l'absorption, mais pas toujours. La luminescence correspond à l'émission spontanée de la lumière par un solide.

Diffusion: Il s'agit du phénomène pour lequel la lumière change de direction et parfois aussi de fréquence après avoir interagit avec le matériau. Le nombre total de photons ne change pas, mais le nombre de photons qui avance dans la direction incidente diminue.

Quiz



Comment ces objets interagissent avec la lumière?

