

Zusammenfassung 12 - Frequenzabhängigkeit der Polarisation

Elektronische und Ionische Polarisation:

Bei niedrigen Frequenzen kann man von der quasistatischen Polarisation ausgehen und mit den Formeln aus Zusammenfassung 11 rechnen. Wenn aber die Frequenz zu hoch ist, dann kann man die Effekte der Trägheit der Elektronenhülle oder Ionen, die mit den Dipolschwingungen verbundenen Abstrahlungsverluste nicht vernachlässigen. → Deswegen arbeitet man mit einem anderen Modell und leitet die Formel für frequenzabhängige komplexe Polarisierbarkeit $\alpha(\omega)$ her:

$$\alpha(\omega) = \alpha(\omega=0) \cdot \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + j\gamma\omega} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} \omega_0: \text{Eigenresonanzfrequenz} \\ \gamma: \text{Dämpfung} \end{array}$$

$$\epsilon_r = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega)$$

→ Aus dieser Formel kann man den frequenzabhängigen Verlauf der komplexen relativen Permittivität und auch der kompl. Suszeptibilität herleiten. Dieser Verlauf ist ähnlich für die elektronische und ionische Polarisation (siehe Bild 7.7 im Skript), aber mit verschiedenen Resonanzfrequenzen.

→ Aus diesem Verlauf folgt, dass für $\omega \rightarrow 0$ χ' nicht verschwindet, d.h. $\epsilon'(0) = \epsilon_{\text{stat}} \gg 1$ gilt. Für $\omega \rightarrow \infty$ gilt $\chi' \rightarrow 0$ und $\epsilon' \rightarrow 1$.

Orientierungspolarisation:

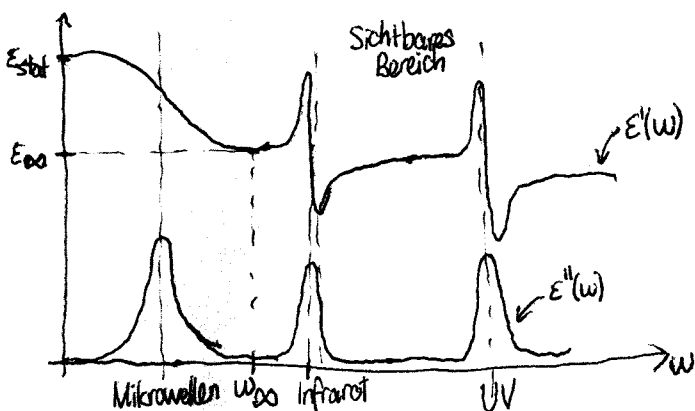
Bei niedrigen Frequenzen können die permanenten Dipole (falls existent) das veränderliche elektrische Feld folgen. Wenn die Frequenz hoch ist, dann können die Dipole das Feld nicht mehr gut folgen und es entsteht Verluste.

→ Die Dynamik der Orientierungspolarisation ist mit einer Relaxationszeit τ verbunden. Mit diesem Wert kann man die Formeln für die ^{kompl.} Suszeptibilität $\chi_{\text{Dipol}}(\omega) = \chi'_{\text{Dipol}}(\omega) - j\chi''_{\text{Dipol}}(\omega)$ wegen dieser Dipolrelaxation herleiten (siehe Skript!):

$$\chi'_{\text{Dipol}}(\omega) = \chi_{\text{Dipol}}(0) \cdot \frac{1}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad \chi''_{\text{Dipol}}(\omega) = \chi_{\text{Dipol}}(0) \cdot \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}$$

⇒ $\chi''_{\text{Dipol}}(\omega)$ beschreibt die Verluste. Die Verluste sind für Dipolrelaxationsfrequenz $\omega = \frac{1}{\tau}$ maximal (d.h. $\omega\tau = 1$). Bei $\omega \rightarrow 0$ und $\omega \rightarrow \infty$ gilt $\chi''_{\text{Dipol}}(\omega) \rightarrow 0$. Die Suszeptibilität wird mit $\chi'_{\text{Dipol}}(\omega)$ beschrieben. Bei niedrigen Frequenzen ist sie $\chi_{\text{Dipol}}(0)$, bei sehr hohen Frequenzen ist sie 0, da die Dipole das schnell veränderliche Feld nicht mehr folgen können.

→ Wenn ein Körper alle drei Polarisationsmechanismen besitzt, so sieht der Verlauf von ϵ' und ϵ'' folgendermaßen aus:



→ ω_{00} ist die höchste technisch übliche Kreisfrequenz. Es gilt

$$\epsilon'(\omega_{00}) = \epsilon_{00}$$

→ Es gilt $\epsilon'(0) = \epsilon_{\text{stat}}$

→ $\epsilon''(\omega)$ ist nur bei Resonanzfrequenzen, d.h. beim Ausfall verschiedener Polarisationsmechanismen wesentlich von 0 verschieden.

→ Bei Mikrowellenbereich fällt die Orientierungspolarisation aus, die Dipole können das Feld nicht mehr folgen. Das gleiche passiert für Ionenpolarisation im Infrarotbereich und für elektronische Polarisation im UV-Bereich.

→ Es gilt $\epsilon'(\omega \rightarrow \infty) = 1$.

→ Wenn man diesen Verlauf bis ω_{00} betrachtet, so definiert man:

$$\epsilon'(\omega) = 1 + \underbrace{\chi_{\text{ion}}(0) + \chi_{\text{el}}(0)}_{\epsilon_{\text{stat}}} + \chi_{\text{Dipol}}(\omega), \quad \epsilon''(\omega) = \chi''_{\text{Dipol}}(\omega)$$

$$\Rightarrow \epsilon'(\omega) = \epsilon_{00} + \frac{\epsilon_{\text{stat}} - \epsilon_{00}}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad \epsilon''(\omega) = \frac{\epsilon_{\text{stat}} - \epsilon_{00}}{1 + \omega^2\tau^2} \cdot \omega\tau$$

• Verluste durch Restleitwert: Die niedrige Leitfähigkeit eines Isolators folgt aus ϵ'' . Es gilt: $\epsilon'' = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}$.

• Ferroelektrizität: Ferroelektrika besitzen spontan polarisierte Domänen, d.h. sie sind auch ohne ein äußeres elektrisches Feld polarisiert. Zwischen die Feldstärke E und Polarisation P gibt es einen charakteristischen Zusammenhang, der durch die Hysteresekurve beschrieben wird, (siehe Bild 7.10 im Skript).

→ Hysteresekurve besagt, dass es keinen linearen Zusammenhang zwischen E und P gibt. Wenn man ^{auf} ein äußeres Feld anlegt, dann wird die Polarisation in Richtung dieses Felds verstärkt. Hebt man das Feld auf, trotzdem bleibt eine Polarisation übrig, also ist der Körper ohne ein äußeres Feld polarisiert. Erst ein entgegengerichtetes Feld baut diese Polarisation ab.

→ Wenn die sogenannte ferroelektrische Curietemperatur T_c überschritten wird, dann verliert das Ferroelektrikum seine ferroelektrischen Eigenschaften. Für $T > T_c$ gilt das Curie-Weiss-Gesetz für die Suszeptibilität:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta} \quad \text{mit } \theta \approx T_c$$

• Piezoelektrizität:

Piezoelektrika haben die Eigenschaft, dass eine mechanische Verformung dieses Piezoelektrikums zu einer Polarisation ohne ein äußeres elektrisches Feld führt. Der inverse Effekt tritt bei Piezoelektrika auch auf, d.h. ein äußeres Feld führt zur mechanischen Verformung. Ferroelektrika sind immer stark piezoelektrisch.

• Pyroelektrizität:

Pyroelektrika sind spontan polarisiert, aber diese Polarisation ist temperaturabhängig. Mit der pyroelektrischen Koeffizient α ($\approx 10^{-8} \frac{As}{cm^2K}$ für übliche Pyroelektrika) gilt: $\Delta P = \alpha \Delta T$.