

Lichttechnisches Institut  
 Karlsruher Institut für Technologie  
 Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer  
 Prof. Dr.-Ing. Ulrike Krewer (IAM-WET)  
 Dr.-Ing. Stefan Wagner (IAM-WET)  
 Janis Geppert, M.Sc. (IAM-WET)

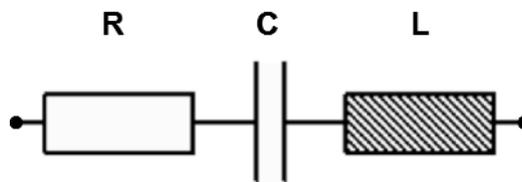
**Optik und Festkörperelektronik**  
 9. Übungsblatt  
 Besprechung: Übung 17. Juli 2020

**1. Dielektrika**

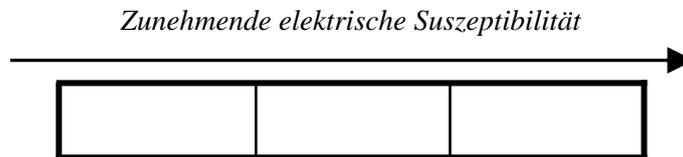
a) Nennen Sie drei dielektrische Polarisationsmechanismen und ordnen Sie diese nach steigender Resonanz- bzw. Relaxationsfrequenz des jeweiligen Ausfallmechanismus.



b) Nennen Sie eine dielektrische Polarisationsart, die durch das unten gezeigte elektrische Ersatzschaltbild beschrieben werden kann.



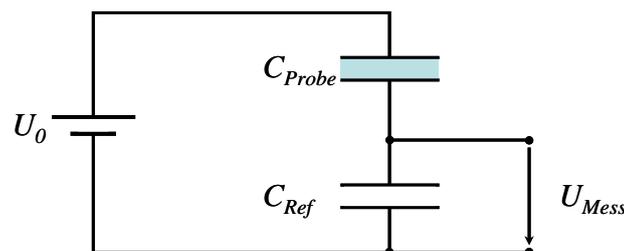
c) Ordnen Sie die Gase Neon (Ne), Helium (He) und Xenon (Xe) nach zunehmender elektrischer Suszeptibilität  $\chi_{el}$ . Begründen Sie Ihre Antwort.



**2. Messung der Dielektrizitätszahl / Sawyer-Tower-Schaltung**

Zur Bestimmung der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  einer Polyesterprobe wird die unten dargestellte Schaltung (Sawyer-Tower-Schaltung) realisiert: Zwei baugleiche Plattenkondensatoren werden dazu in Reihe geschaltet. In einen davon wird die Polyesterprobe eingebracht. Der zweite Kondensator dient als Referenz und ist luftleer.

Hinweis: In der umseitigen Tabelle ist die am Referenzkondensator gemessene Spannung für zwei verschiedene Temperaturen bei einer angelegten Gleichspannung von  $U_0 = 10 \text{ V}$  gegeben.



- a) Berechnen Sie die Dielektrizitätszahlen  $\epsilon_r$  und die Suszeptibilitäten  $\chi_e$  für die angegebenen Temperaturen und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

**Tabelle:**  $U_{\text{Mess}}$  bei unterschiedlichen Temperaturen

$T / ^\circ\text{C}$	$U_{\text{Mess}} / \text{V}$	$\epsilon_r$	$\chi_e$
$T_1 = 25$	7,5	3,0	2,0
$T_2 = 225$	7,0	2,33	1,33

- b) Die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität  $\chi_e$  lässt sich mit folgender Formel beschreiben:

$$\chi_e(T) = a + \frac{b}{T}$$

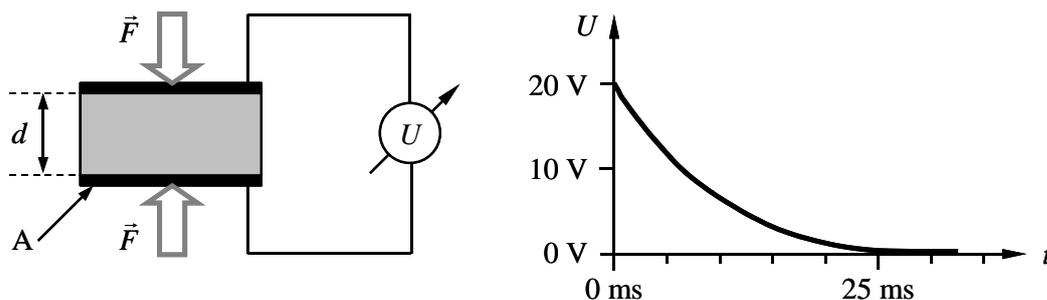
Bestimmen Sie die temperaturunabhängige Konstante  $a$  und das Maß für die Temperaturempfindlichkeit  $b$ .

- c) Berechnen Sie die Anteile  $\chi_{\text{el}}$  und  $\chi_{\text{or}}$  an der Suszeptibilität  $\chi_e$  bei  $T_1$ , wenn davon ausgegangen wird, dass lediglich Elektronen- und Orientierungspolarisation auftreten. Die Konzentration  $n$  der permanenten Dipole im Dielektrikum sei unabhängig von  $T$ .
- d) Die Gleichspannung  $U_0$  wird nun durch eine Wechselspannung  $U_{\sim}$  ersetzt. Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Probenkondensators für das gesamte Frequenzspektrum und kennzeichnen Sie die entsprechenden Bauteile.

### 3. Piezoelektrizität, Anwendung: Vielschichtaktor

- a) Geben Sie die relative Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  für den allgemeinen Fall anisotroper Materie an.
- b) Welche Beziehung (welcher Unterschied) besteht zwischen ferroelektrischen und piezoelektrischen Kristallen?
- c) Piezokeramiken werden in Einspritzdüsen von Dieselmotoren eingesetzt, um präzise die optimale Einspritzmenge/-dauer zu gewährleisten. Zunächst soll die Funktionsweise eines einzelnen Piezo-Elements des Vielschichtaktors untersucht werden.

Eine piezoelektrische Keramik wird gemäß der skizzierten Anordnung kontaktiert und an ein Oszilloskop mit dem Innenwiderstand  $R$  angeschlossen. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird die Kraft  $F$  auf die Stirnflächen  $A$  ausgeübt. Gleichzeitig wird der Verlauf der Spannung  $U$  aufgezeichnet.

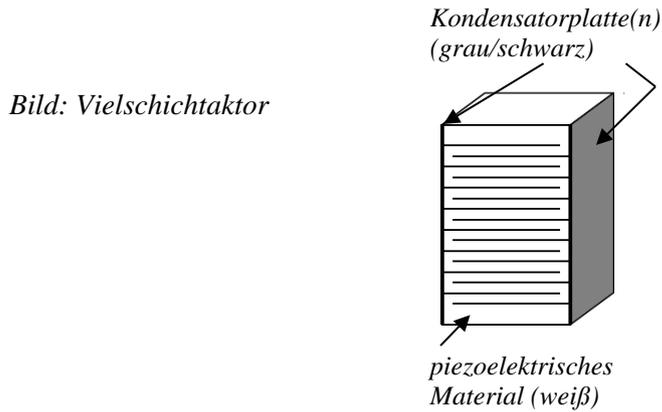


Es sind folgende Zahlenwerte gegeben:

$$\begin{aligned} R &= 1 \text{ M}\Omega & A &= 10 \text{ cm}^2 \\ F &= 400 \text{ N} & d &= 4,425 \text{ mm} \end{aligned}$$

Bestimmen Sie die Kapazität  $C$  der Anordnung, die relative Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  und die Materialkonstanten  $g_p$  und  $d_p$  der Piezokeramik.

- d) Aus dem Werkstoff wird ein Vielschichtaktor (Bild unten) hergestellt. Die technologisch bedingte minimale Dicke der einzelnen Schichten beträgt  $100 \mu\text{m}$ . Bestimmen Sie die minimale Gesamtdicke des Aktors, damit im unbelasteten Zustand bei einer Spannung von  $U = 20 \text{ V}$  eine Längenänderung von  $1 \mu\text{m}$  erreicht wird?



Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Vielschichtaktors. (Die Elektroden seien vernachlässigbar dünn.)