

Das Temperaturverhalten der Dielektrizitätskonstante von Seignettesalz im Mikrowellengebiet

H. DEYDA

Sektion Physik der Universität München

(Z. Naturforschg. 22 a, 1139—1140 [1967]; eingegangen am 16. Juni 1967)

Der Realteil der Dielektrizitätskonstante (DK) von ferroelektrischem Seignettesalz (Kalium-Natrium-Tartrat, KNT) nimmt bei Messungen mit niedrigen Frequenzen (bis zu kHz) an beiden CURIE-Temperaturen (-18°C und $+24^{\circ}\text{C}$) Werte bis zu einigen 1000 an. Der Temperaturverlauf (des Realteils) der DK ist somit durch zwei scharf ausgeprägte Maxima bei den CURIE-Temperaturen charakterisiert. Bei wachsenden Meßfrequenzen bis zu einigen 100 MHz nimmt die DK ab; der qualitative Temperaturverlauf mit den beiden Maxima bleibt jedoch erhalten.

Es gelang MASON¹ auf Grund modellmäßiger Vorstellungen eine Theorie für die Temperaturabhängigkeit der DK von KNT aufzustellen, die insbesondere die „geklemmte“ DK (d. h. die DK ohne piezoelektrischen Anteil) in guter Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen darstellte.

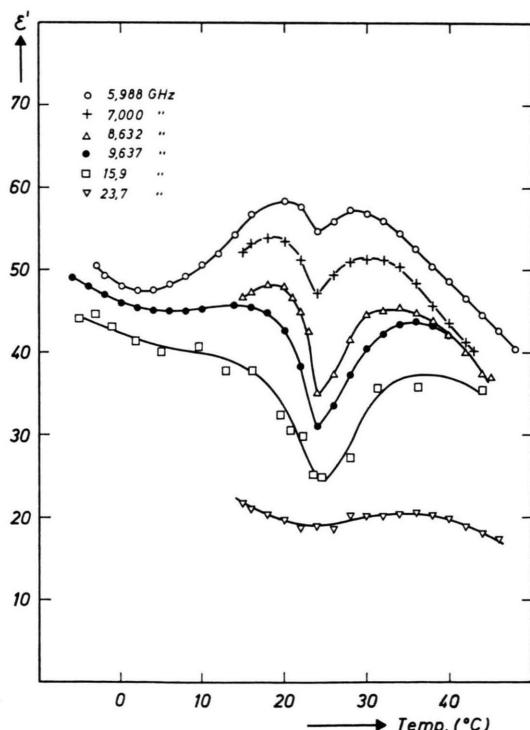


Abb. 1. Experimentelle Ergebnisse: Realteil der DK (ϵ') gegen Temperatur; Parameter ist die Frequenz.

¹ W. P. MASON, Phys. Rev. 72, 854 [1947].

1960 veröffentlichte JÄCKLE² Messungen der DK von KNT bei ca. 10 GHz, die einen qualitativ anderen Temperaturverlauf des Realteils der DK zeigten: die DK hatte an den CURIE-Punkten relative Minima. Diese Ergebnisse waren Anlaß für eigene Untersuchungen, bei denen die Messungen über einen Frequenzbereich von 6 GHz bis 24 GHz ausgedehnt wurden. Die (komplexe) DK wurde aus den mit Hohlleitertechnik ermittelten (komplexen) Reflexions- und Durchlaßfaktoren von KNT bestimmt. Es zeigte sich, daß der Realteil der DK an den CURIE-Punkten bei allen verwendeten Frequenzen relative Minima besitzt. Der Temperaturverlauf der DK hängt dabei noch von der Frequenz ab. Diese Ergebnisse sind in Abb. 1 für den oberen CURIE-Punkt zusammengefaßt.

Dieser experimentelle Befund schien zunächst nicht mit der MASONschen Theorie übereinzustimmen, da MASON für den Realteil der DK an den CURIE-Punkten Maxima erhält. MASON gibt folgenden Ausdruck für die temperaturabhängige DK an¹:

$$\epsilon = \epsilon_0 + \frac{(4 \pi A / \beta) [1 - (P_s/N \mu)^2]}{1 - A[1 - (P_s/N \mu)^2] + j \omega e^{\Delta U/kT} / \Gamma \cosh(AP_s/N \mu)} \quad (1)$$

mit $A = \frac{e \delta N \mu \beta}{2(1 - \beta \gamma) k T}$;

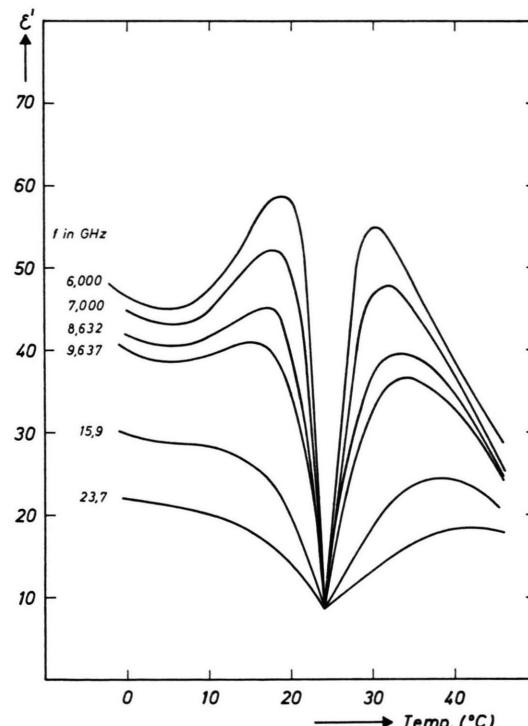


Abb. 2. Theoretische Ergebnisse: Realteil der DK (ϵ') gegen Temperatur [berechnet aus Gl. (1)]; Parameter ist die Frequenz.

² W. JÄCKLE, Z. Angew. Phys. 7, 148 [1960].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

e = Ladung des Elektrons; δ = Abstand zweier Potentialminima; ΔU = Potentialschwelle zwischen diesen Minima; N = Anzahl Dipole pro cm^3 ; μ = Dipolmoment in Richtung der polaren Achse; β = Konstante des inneren Feldes ($= 4\pi/3$ für isotrope Medien); γ = Polarisierbarkeit (ohne H-Brückenanteil); k = BOLTZMANN-Konstante; P_s = spontane Polarisation; ω = Kreisfrequenz; $\Gamma = kT/h$ (h = PLANCKSche Konstante); ϵ_0 = DK mit Elektronen- und Ionenanteil (ohne H-Brückenanteil).

Tatsächlich folgt aus diesem Ausdruck bei Vernachlässigung des zweiten Summanden im Nenner, daß in den CURIE-Punkten (in welchen $P_s = 0$ und $A = 1$) die DK unendlich hohe Werte annimmt. Wird der Quotient jedoch streng ausgewertet, so zeigt sich, daß in den CURIE-Punkten der Realteil der DK gegen ϵ_0 geht, also ein scharfes relatives Minimum besitzt. Mit wachsender Frequenz ω wird dieses Minimum verbreitert, bis sich bei Frequenzen im Mikrowellengebiet ein Temperaturverhalten entsprechend Abb. 2 ergibt, das mit den experimentellen Ergebnissen (Abb. 1) bis auf die Größe des relativen Minimums gut übereinstimmt. Insbesondere werden die Lage und die Höhe der relativen Maxima unter- und oberhalb des oberen CURIE-Punktes richtig wiedergegeben (für den unteren CURIE-Punkt gelten die entsprechenden Überlegungen); zwangsläufig folgt aus der Theorie das Verschwinden des relativen Maximums unterhalb des oberen CURIE-Punktes ab einer bestimmten Frequenz (zwischen 9,6 und 16 GHz).

Ebenso wie den Realteil gibt die Theorie den Imaginärteil der DK richtig wieder (bis auf prozentuale Abweichungen von den experimentellen Ergebnissen).

Zur Berechnung der DK war es notwendig, bestimmte Parameter der MASONschen Theorie zu verändern. Abweichend von MASON wurden ΔU und δ verkleinert; der Temperaturgang beider Größen wurde beibehalten. Dieses Verfahren ändert nichts an den Ergebnissen von MASON; doch ist möglicherweise eine andere H-Brücke in der KNT-Struktur als ferroelektrisch wirksam anzusehen als die von BEEVERS und HUGHES³ vorgeschlagene (von MASON in seinen Rechnungen verwendet). Wenn man an der genannten H-Brücke festhalten will, muß ein asymmetrischer Potentialverlauf für das H-Atom angenommen werden, um eine Änderung der MASONschen Parameter zu rechtfertigen.

Herrn Prof. Dr. A. FAESSLER danke ich für die Bereitstellung von Institutsmitteln. Herrn Dr. E. BÖHRINGER möchte ich für wertvolle Diskussionen danken. Mein Dank gilt ferner der Fa. Siemens & Halske AG für die leiweise Überlassung von Hohlleiterapparaturen sowie der Fa. Dual, Gebr. Steidinger (St. Georgen) für die Anfertigung größerer Seignettesalz-Proben. — Die Durchführung der Arbeit wurde durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht.

³ L. A. BEEVERS u. W. HUGHES, Proc. Roy. Soc. London A 177, 251 [1941].