

Lucrarea 2:MATERIALE FEROELECTRICE

Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări este determinarea dependenței de frecvență și temperatură a permitivității complexe relative și studiul efectului piezoelectric pentru materiale ceramice feroelectrice.

Conspectul platformei:

Momentul electric nenul al unitatii de volum in absenta unui camp electric exterior este cel care caracterizeaza cel mai bine materialele cu polarizare spontana.

Momentul dipolar spontan este o caracteristica a celulei elementare existente intr-un astfel de metal.

Principiul lui Neumann este cel dupa care polarizatia spontana poate fi incadrata intr-o serie de aspecte necesare studiului, astfel: „Simetria structurala a atomului sa constituie un subgrup al clasei de simetrie limita ∞m ”.

Starea feroelectrică reprezintă o stare de ordine a materiei, rezultată spontan din tendința către stabilitate care corespunde unui minim al energiei libere totale a materialului.

Efectul perturbator este fenomenul prin care temperatura influenteaza starea de polarizatie spontana.

Temperatura Curie T_c este temperatura la care agitatie termica distruge starea de ordine dielectrica, materialul pierzandu-si polarizarea sa spontana. Indiferent de structura cristalina a metalului (monocristalina sau policristalina) se constata ca in aceste metale ordinea dielectrica spontana se caracterizeaza prin formarea de domenii dielectrice in interiorul carora momentele electrice ale celulelor elementare sunt orientate in aceeasi directie si sens.

Materialele feroelectrice care prezintă la nivel macroscopic **polarizație remanentă nenulă** se caracterizează prin efect piezoelectric direct și invers, care constă în interacțiunea dintre mărimile electrice (intensitatea câmpului electric \vec{E} și inducția electrică \vec{D}) și mărimile mecanice (tensiunea mecanică \vec{T} și deformația mecanică relativă \vec{S}). În domeniul liniar, de semnal mic, în regim armonic (când mărimile cauză mecanice și electrice variază sinusoidal în timp) efectul piezoelectric poate fi descris cantitativ prin următorul sistem de ecuații:

$$\begin{aligned} [D] &= \epsilon_0 [\epsilon^T] [E] + [d] [T] \\ [S] &= [d_t] [E] + [s^E] [T] \end{aligned} \quad (1)$$

unde

[E] este reprezentarea în complex simplificat a vectorului câmp electric;

[T] - reprezentarea în complex simplificat a tensorului tensiune mecanică;

[D] - reprezentarea în complex simplificat a vectorului inducție electrică;

[S] - reprezentarea în complex simplificat a tensorului deformație elastică

Desfășurarea lucrării

Metoda de masura:

Se utilizează o plachetă din material feroelectric ceramic de tip PZT de suprafață S și grosime

b. Schema electrică echivalentă a probei este compusă dintr-un condensator plan C_0^S și un rezistor R_0 , în paralel.

Valorile condensatorului plan C_0^S și a rezistorul R_0 se măsoară cu ajutorul Analizorului de Rețea E 5061A, într-o gamă de frecvențe date, la temperatura ambiantă.

Se determină permitivitatea relativă reală ϵ' , permitivitatea relativă imaginară ϵ'' și tangenta unghiului de pierderi $\tan\delta_\epsilon$ cu relațiile:

$$\epsilon' = \frac{C_0^S b}{S \epsilon_0}; \tan\delta_\epsilon = \frac{1}{Q_e} \text{ si } \tan\delta_\epsilon = \frac{G_0}{\omega_0 C_0^S} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

unde ϵ_0 este permitivitatea electrică absolută a vidului: $\epsilon_0 = 8,856 \cdot 10^{-12}$ F/m

și $\omega_0 = 2\pi f$ este frecvența unghiulară a semnalului.

Mod de lucru :

Se folosește o plachetă de PZT cu grosimea b se introduce într-un dispozitiv de proba cu aria armaturilor S

a) Stabilim domeniul de frecvență 300kHz- 40MHz

b) Programăm markeri la frecvențele de măsură

c) Notăm datele în tabel

d) Calculăm ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$

Tabelul 2-1

F [MHz]	0.3	0.5	1	4	7	10	20	30	40
C_0^S [pF]	89.6	86.6	76.2	76	76.7	77.6	82.6	92.7	113.3
G_0 [μ S]	60.5	62.5	43.6	58.3	86.3	126.6	217	510	1250
ϵ'	379.4	366.7	322.7	321.8	324.8	328.6	349.8	392.6	479.8
ϵ''	135.9	84.2	29.4	9.8	8.3	8.5	7.3	11.5	21.1
$\tan\delta_\epsilon$	0.35	0.23	0.09	0.03	0.026	0.026	0.02	0.03	0.04

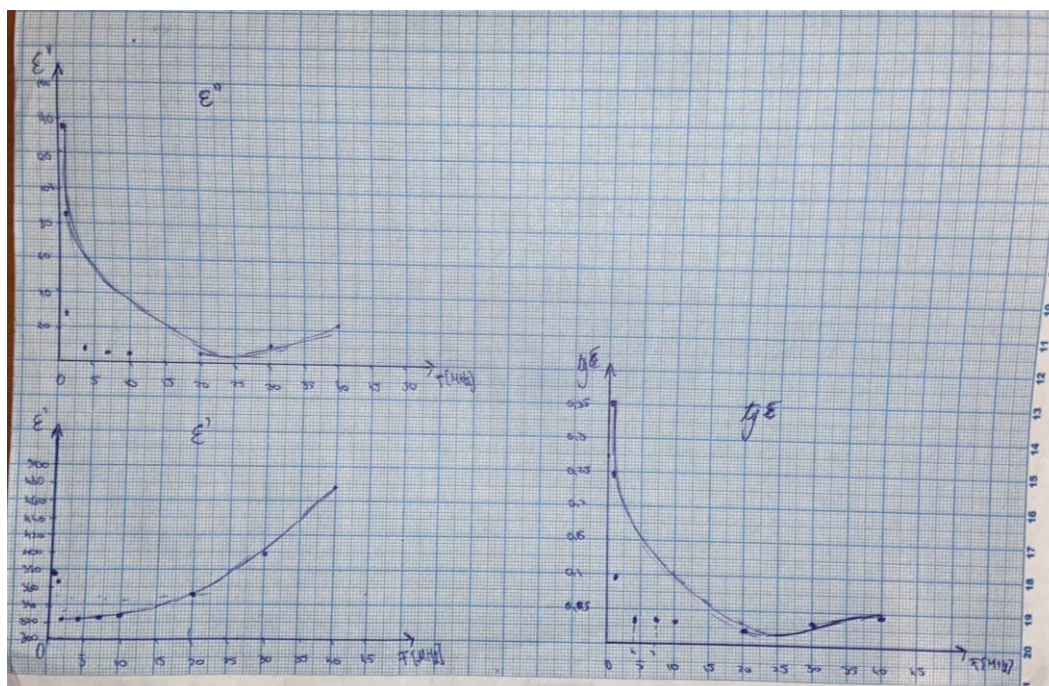
Formule folosite:

$$\varepsilon' = \frac{bC_0^S}{S\varepsilon_0}; \quad \operatorname{tg} \delta_\varepsilon = \frac{G_0}{\omega_0 C_0^S} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

2.4.2 Determinarea dependentei de temperatura a permitivitatii complexe relative

Metoda de masura

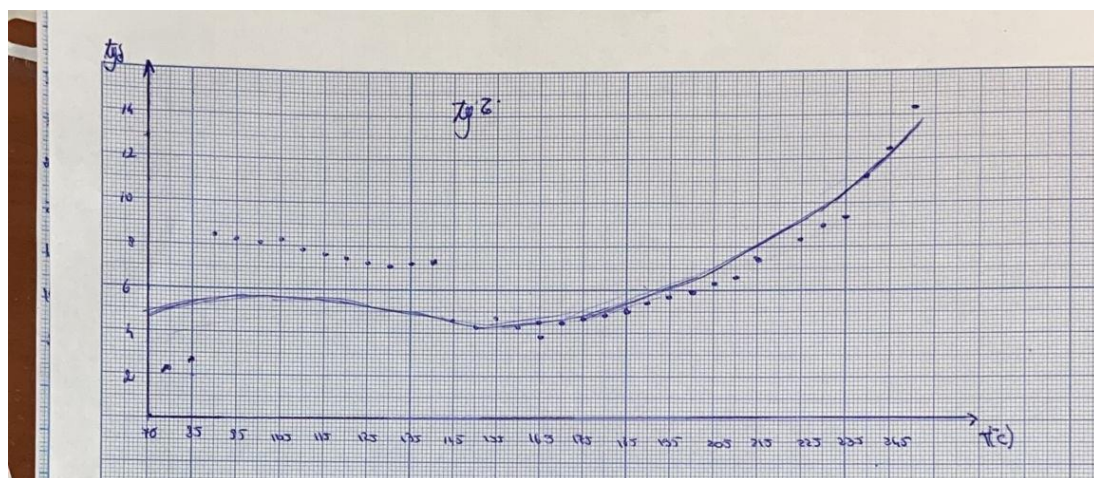
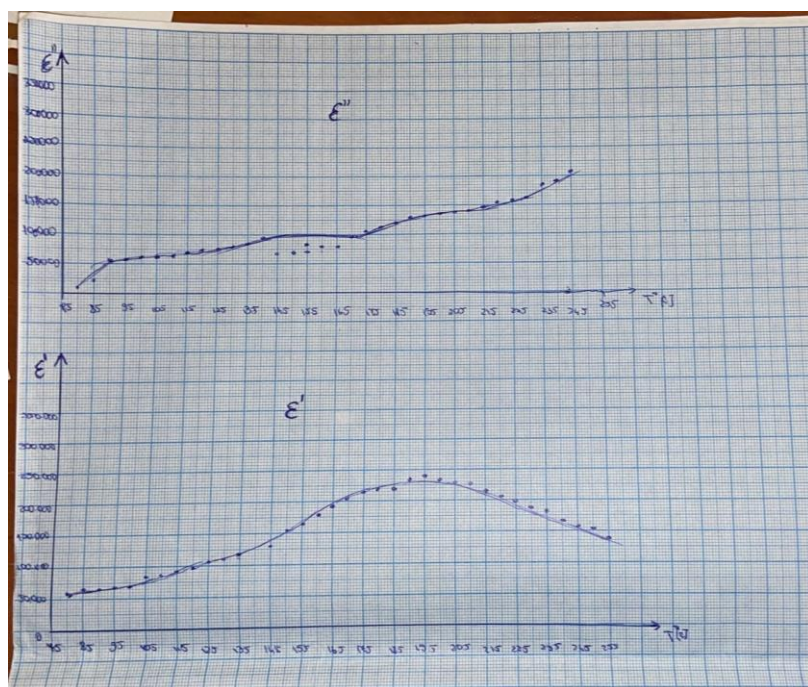
Se determină variația cu temperatura a capacității C_0^S și a conductanței $G_0 = 1/R_0$ unei probe de PZT fixată în interiorul unui cuptor. Cuptorul este încălzit cu o rezistență aflată în peretii cuptorului. Rezistența de încălzire este alimentată de la rețea prin intermediul unui autotransformator. Temperatura din interiorul cuptorului se determină cu ajutorul termometrului. Proba este fixată cu ajutorul a două tije de ceramică. Prin aceste două tije trec două fire de conexiune, conectate la o punte RLC care măsoară elementele C_0^S și G_0 ale probei.



Tabelul 2-2.

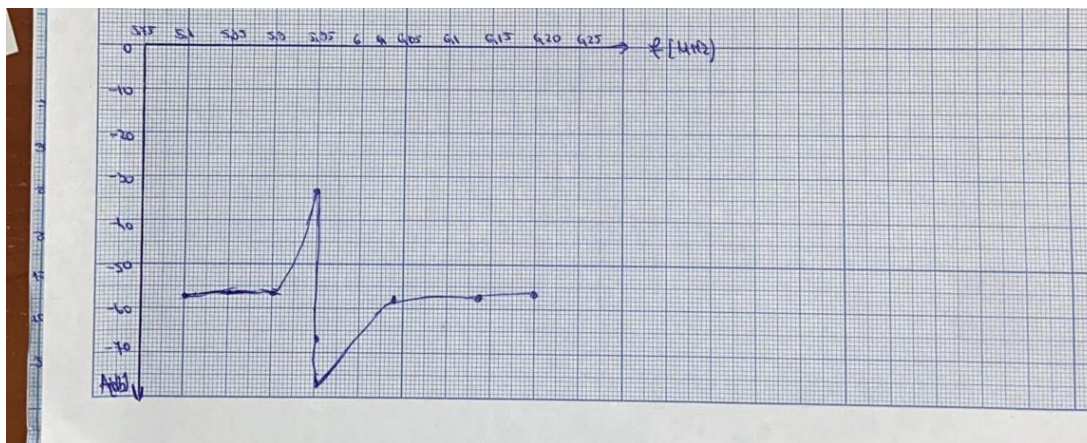
T [°C]	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
C_0^S [nF]	1.47	1.5	1.52	1.66	1.71	1.89	2	2.15	2.36	2.5	2.7	2.9	3.1	3.6	3.9	4.2
G_0 [μ S]	1.08	1.34	4	4.2	4.6	4.9	5	5.3	5.6	5.7	6.1	6.6	7.2	5.2	5.2	6.3
ϵ'	6224.5 9	6351. 63	6436. 31	7029. 13	7240. 85	8003. 05	8468. 83	9104	9993. 22	10586	11432 .9	12279.8 1	13126.6 9	15243. 9	16514. 22	17784. 6
ϵ''	14564. 22	1807 0.45	5394 1.58	5663 8.68	6203 2.19	6607 8.86	6742 6.85	7147 2.53	75518 .23	76866 .71	82260 .84	89003.2 8	97094.3 7	70124. 09	70124. 08	84958. 29
$\text{tg}\delta_\epsilon$	2.33	2.82	8.39	8.3	8.05	8.25	7.96	7.85	7.55	7.26	7.19	7.24	7.39	4.6	4.24	4.77

160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
4.5	4.8	5.1	5.3	5.5	5.6	5.7	5.6	5.5	5.39	5.19	4.97	4.74	4.47	4.24	3.98	3.75	3.57	3.35
6	6	7.1	7.3	8.3	8.7	9.1	9.5	9.7	10.07	10.37	10.71	11.07	11.52	11.99	12.39	13.3	13.96	15
19054. 9	20325 .2	2159 5.53	22442 .41	2328 9.3	237 12.7	2413 6.18	23712 .7	23289 .3	22823 .51	21976 .63	21045 .05	20071 .1	18927 .85	17953 .9	16853	1587 9.1	15116 .87	1418 5.3
80912. 33	80912 .42	9844 3.63	98443 .58	1118 29.1	117 322. 2	1227 17.2	12811 1.1	13080 8.1	13579 8.6	13984 3.9	14442 8.5	14928 3.4	15535 1.3	16168 9.1	16708 4.8	17935 6.6	1882 56.5	2022 80.5
4.24	3.98	4.55	4.38	4.8	4.94	5.08	5.4	5.61	5.95	6.36	6.86	7.43	8.21	9.01	9.92	11.29	12.4 5	14.2 6



Tabelul 2-3.

	f_m			f_n				
$f(\text{MHz})$	5.8	5.9	6	6.004	6.006	6.04	6.12	6.2
$A(\text{db})$	-57	-56.9	-33.9	-68	-76.6	-58.6	-57.3	-56.9



Concluzie

Prin această lucrare am determinat valorile permitivității relative complexe ale diferitelor materiale utilizate în industria electronică la anumite frecvențe și timpi de lucru. Analizând comportarea lor într-un interval de frecvență, apoi într-un interval de timp dat am observat că valoarea părții reale, a părții imaginare a permitivității relative complexe și valoarea tangentei unghiului de pierderi variaza o data cu creșterea frecvenței mai mult sau mai puțin

Întrebări și probleme

1. Prezentați elementele de simetrie caracteristice cristalelor dielectrice din clasele de simetrie **mm**, **3m** și **6mm**. Căror sisteme cristalografice le aparțin aceste cristale?

Elementele de simetrie caracteristice cristalelor dielectrice din clasa de simetrie mm, 3mm și 6mm sunt planul de simetrie, axa de simetrie și centrul de simetrie.

Cristalele dielectrice din clasa de simetrie mm prezintă :

- o axă de rotație de ordin 1
- plane de reflexie care conțin această dreaptă
- sistem cristalin

Cristalele dielectrice din clasa de simetrie 3mm prezintă :

- o axă de rotație de ordin 3
- plane care conțin această dreaptă

Cristalele dielectrice din clasa de simetrie 6mm prezintă :

- o axa de rotație de ordin 6
- plane care contin aceasta dreapta
- sistem cristalin hexagonal

2. Să se determine configurația concretă a tensorului de permitivitate pentru cristalul de niobat de litiu care face parte din clasa de simetrie **3m**.

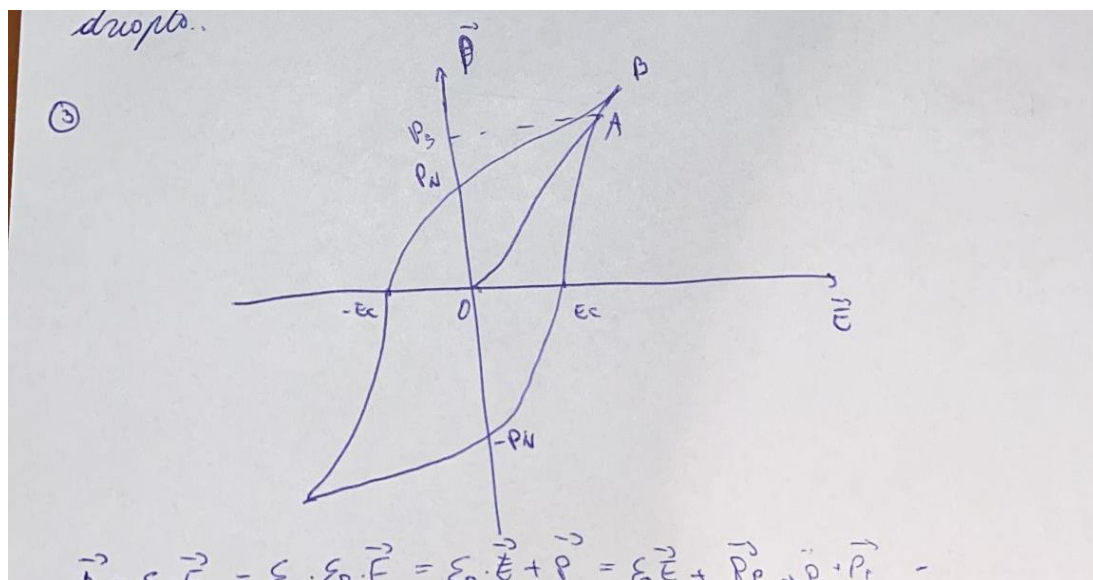
②
$$\epsilon' = \begin{bmatrix} \epsilon'_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon'_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon'_{33} \end{bmatrix}, \quad \epsilon' = \frac{c_0 b}{\pi \cdot a^2}$$

Pentru a descrie tensorul proprietăților fizice ale niobatului de litiu (LiNbO_3) se utilizează sistemul cartezian de coordonate xyz în corelație cu axele cristalografice hexagonale. Astfel, axa z este clară ca fiind paralelă la axa c cunoscută sub numele de axă optică.

Axa x este clară ca să coincidă cu oricare din axele a_1, a_2 , sau a_3 , fiind perpendiculară pe planul de simetrie.

Axa y este clară să fie în sensul restului de dreaptă.

3. Să se prezinte dependența de tip histerezis a inducției electrice (\vec{D}) de intensitatea câmpului electric (\vec{E}) caracteristică unui material ferroelectric.



4. Prin ce proprietăți fizice diferă materialele feroelectrice cu tranziție de fază de ordinul I de materialele feroelectrice cu tranziție de fază de ordinul II?

În funcție de modul în care are loc tranziția de fază la temperatura Curie T_C , materialele feroelectrice se împart în două categorii :

- Materiale cu tranziție de fază de ordin I caracterizate prin anularea cu salt a polarizării spontane la T_C
- Materiale cu tranziție de fază de ordin II caracterizate prin scăderea monotona și continuă a polarizării spontane la T_C

5. Pe baza rezultatelor măsurărilor efectuate la punctul 2. 2.3.b să se calculeze impedanța corespunzătoare a rezonatorului măsurat la frecvențele f_n și f_m și să se precizeze ce reprezintă aceste impedanțe. Pentru aceasta trebuie ținut cont de următoarele:

- 0dB corespunde unei tensiuni de 226mV.
- În paralel cu cele două rezistențe de 780Ω este prezentă și impedanța de intrare a portului 2 a analizorului de rețele în valoare de 50Ω .

