

Piezo elektricitost

Kristali v feroelektričnem stanju so tudi piezoelektrici: mehanska obremenitev spremeni električno polarizacijo, in obratno. Zunanje električno polje povzroči deformacijo kristala. Vzrok za to je sklopitu med mehansko in električno energijo kristala. (Primeri BaTiO_3 , fosfatni sol, triglicinsulfat). Piezoelektrični učinki dobimo pri kristalih, ki nimajo centra simetrije. (npr. kremen). Pogosto sičunge mo tudi podskupino imenujemo piroelektriki, ki pa imajo polarna os in je njihova polarizacija temperaturno odvisna. Lokalno deformacijo povzročeno v neki točki s silo $d\vec{F} = (dF_i)_{i=1,2,3}$ podamo z napetostnim tenzorjem T_{ij} , $i, j = 1, 2, 3$:

$$T_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{dF_i}{ds_j} + \frac{dF_j}{ds_i} \right)$$

Kjer so ds_i $i=1, 2, 3$ tri med seboj ~~paralelne~~ pravokotne površine delovne sile $d\vec{F}$. Elemente tenzorja dveh imenujemo "piezoelektrični moduli". Praktično jih merimo v izbranih smereh kristala. E. n. n. merimo na izbrani površini, mehansko obremenitev pa je lahko tlačna ali povlačna, upogib ali torzija. Kot piezoelektrik največkrat uporabimo kvarc v obliki peto ploščice ali piezoelektrično keramiko, v obliki ploščice, ki so polarizirane pravokotno na površini. Uporabljamo jih za merjenje tlaka in sil (mikrofoni / generatorji ultrazvoka).

Pomembni so pa tudi za delovanje vrstičnega tunnelnega mikroskopa, s katerim lahko "otripamo" relief in atomsko zgradbo površin različnih materialov. Glavni del je tanka kovinska # igla na koncu piezoelektrične cevke. S pomočjo napetosti lahko iglo dobemo položaj igle.

Pri vaji bomo izmerili piezoelektrični odziv ploščice iz piezo. keramike. V tem primeru ima tenzor d_{ij} tri neodvisne elemente.

To so d_{31} , d_{32} , d_{33} , če je os z izbrana vzporedno z začetno polarizacijo keramike. S silo \vec{F} , pravostransko na S ustvarimo tlačno napetost $T = T_{33} = F/S$ in povzročimo nastanek polarizacije $P_3 = dT$. V snovi vzdolž z -osi velja med P_3 in gostoto el. polja:

$$D = \epsilon \epsilon_0 E + dT$$

Kjer je ϵ dielektrična konst. pri konst. napetosti, temp. in $d = d_{33}$. Naboj na eni plošči kondenzatorja oz. ploščice keramike je $q = DS$ in z upoštevanjem povezave med električno jakostjo in napetostjo $E = U/b$ dobimo, da je naboj:

$$q = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{b} U + dF$$

Opazimo, da je prvi člen le druga način, da napišemo naboj na ploščicah kondenzatorja ploščine S in debeline b s kapaciteto:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{b}$$

$$q = CU + dF$$

Torej:

Kondenzator praznimo preko upornika $R = 5 \text{ G}\Omega (1 \pm 0.02)$ s tokom

$I = -\dot{q}$. Padec napetosti ~~na uporniku~~:

$$U = RI = -R\dot{q}$$

Spremljamo na osciloskopu preko povratno vezanega op. ojačevalnika (voltage follower). Dobimo dif. en:

$$\tau = RC$$

$$\dot{U} = -\frac{1}{\tau} U - \frac{d}{C} \dot{F}$$

Sedaj ob navedenih dveh predvidenih scenarijih spremembe napetosti na kristalu, za katere je:

$$F_s(t) = F_0 \theta(st)$$

$$\theta(t) = \begin{cases} 1 & ; t \geq 0 \\ 0 & ; \text{sicer} \end{cases}$$

F_0 - teža uteži

$s = +$ obremenjevanje

$s = -$ razbremenjevanje

Sedaj vstavimo časovni potek sile v enačbo za napetost in jo rešimo pri začetnem pogoju $U(0^-) = 0$. Dobimo:

$$U_s(t) = sU_0 e^{-t/\tau} ; U_0 = -d \frac{F_0}{C}$$

ki velja za $t > 0$. Pri obremenjevanju je smer napetosti ~~ob~~ v nasprotnih smereh.

Potrebščine:

- Merilna valjasta posoda z piezoelektrično keramiko
- Elektrometrični ojačevalnik z baterijskim napajanjem
- digitalni osciloskop Siglent SDS 1104X-E
- USB kablji
- uteži za 200g, 500g in 1kg

Naloga:

- Izmerite dielektrično konstanto vzorca iz piezoelektrične keramike
- Izraz unagte piezoelektrični koeficient keramike.

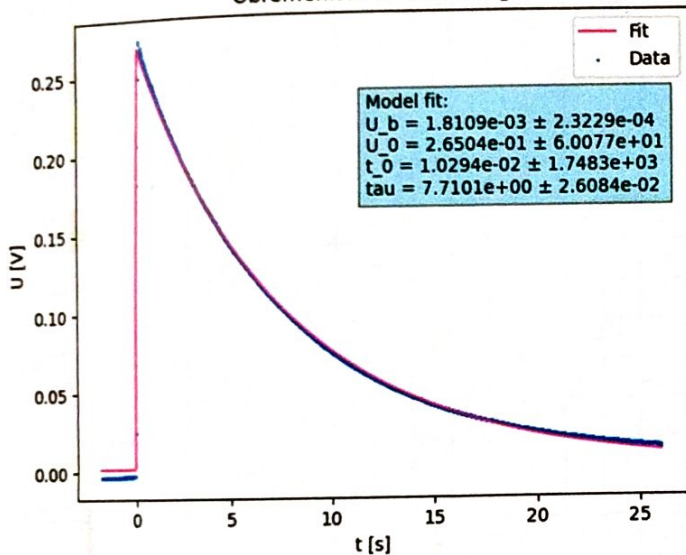
Navodila:

Povežemo izhod elektrometrskega ojačevalnika z osciloskopom. Eno od teh utzi postavimo na ploščo merilnika in opazujemo časovni signal na osciloskopu. Pravilno obremenimo keramiko, in jo potem še razbremenimo. Meritve z osciloskopa spravimo na USB ključ.

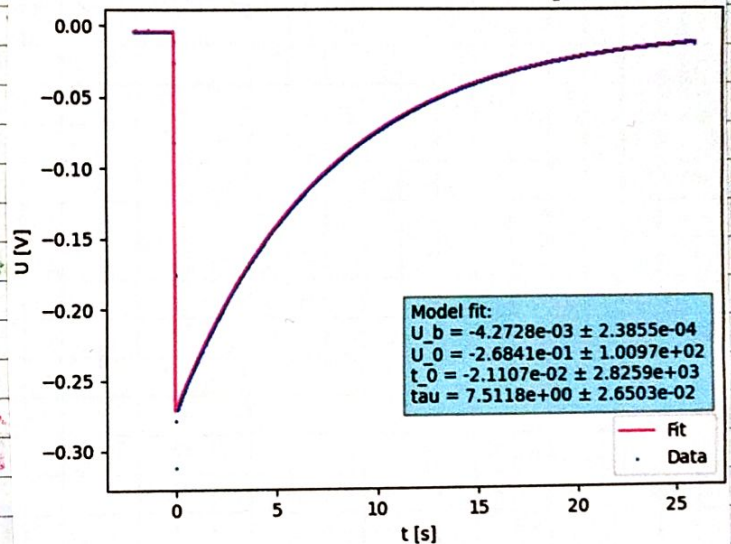
Meritve:

Meritve sem zaradi epidemije prejel kot .txt datoteke, ki jih je "zpisal" Osciloskop

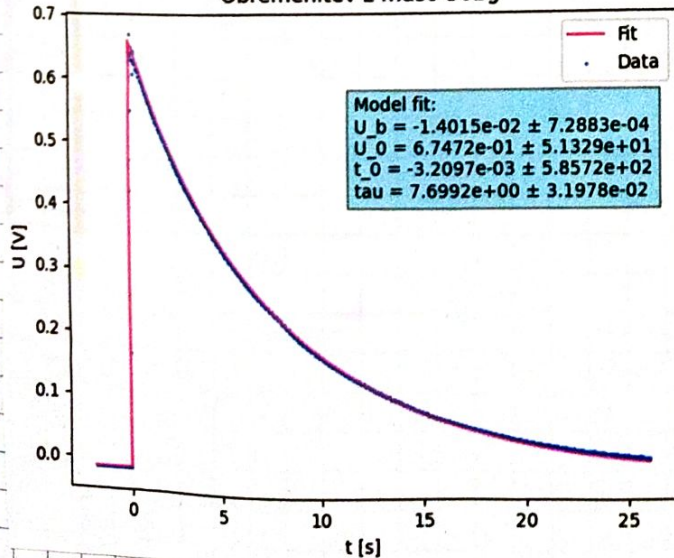
Obremenitev z maso 195g



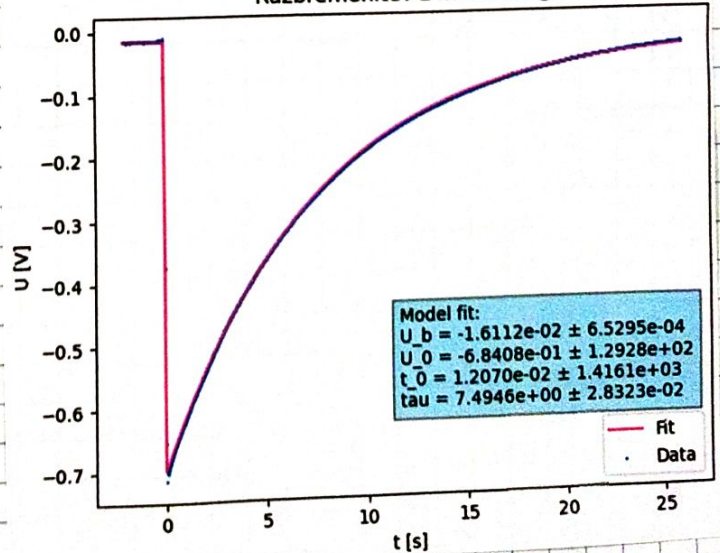
Razbremenitev z maso 195g

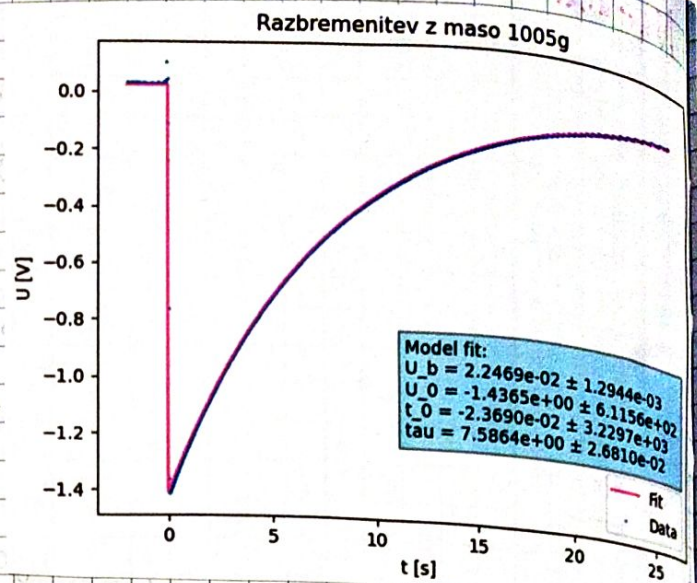
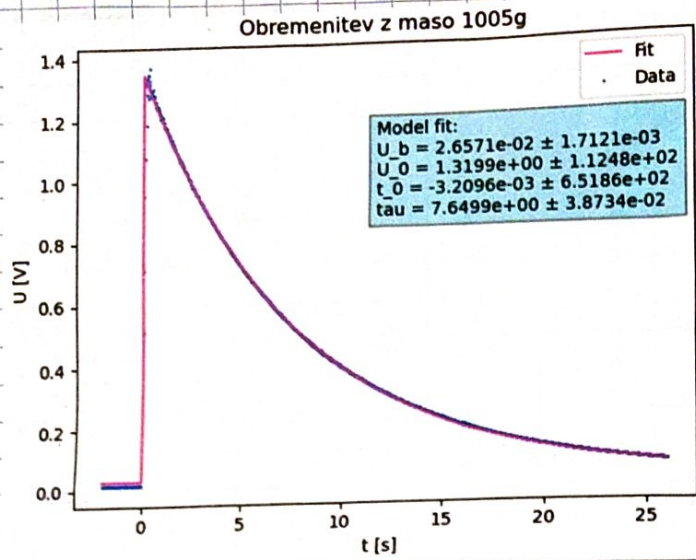


Obremenitev z maso 502g



Razbremenitev z maso 502g





V pythonu sem vsam grafom meritev "na fittal" krivuljo:

$$U(t) = U_b + S U_0 e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \theta(t-t_0)$$

U_b ... konstantna napetost ozadja

U_0 ... skok napetosti

t_0 ... čas ko se zgodi skok napetosti

τ ... karakterističen čas

$$\theta(t-t_0) = \begin{cases} 0; & t < t_0 \\ 1; & t \geq t_0 \end{cases}$$

$$2r = 38 \text{ mm}$$

$$b = 6.5 \text{ mm}$$

$$R = 56 \Omega (2\%)$$

$$\tau = RC = R \frac{\epsilon \epsilon_0 \pi r^2}{b}$$

$$\tau = 7.61 \pm 0.03 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \epsilon = \frac{\tau b}{\epsilon_0 \pi^2 R}$$

$$\epsilon = 986 \pm 44^*$$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

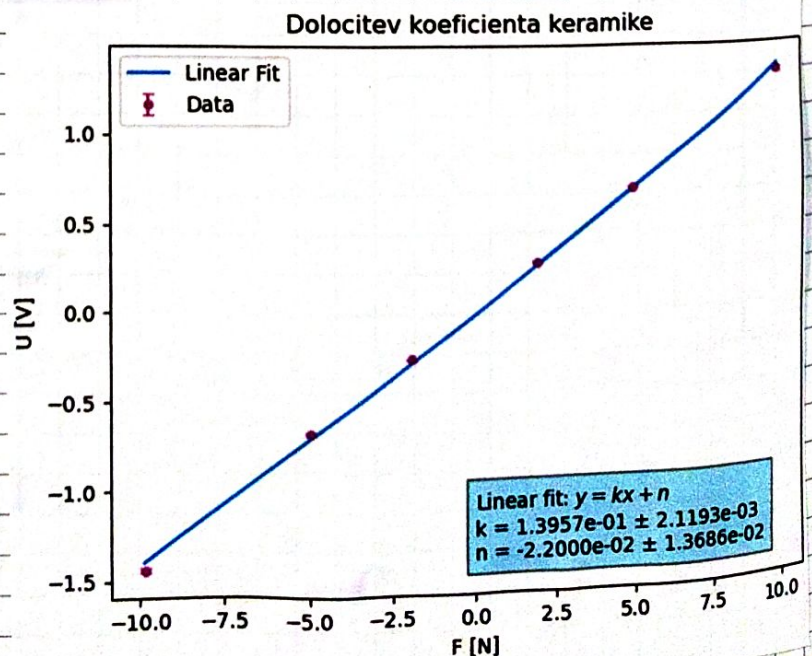
$$C = 1.52 \pm 0.03 \text{ nF}$$

$$U_0 = -\frac{d}{C} F + \frac{q}{U}$$

$$= kx + n$$

$$\Rightarrow d = k \cdot C$$

$$d = 0.213 \pm 0.004 \frac{\text{nm}}{\text{V}}$$



* Kot zadržani prikaz izračuna napake z odvodi

$$\epsilon = \frac{\tau b}{\epsilon_0 \pi r^2 R}$$

$$\Delta \tau = 0.03 \text{ s}$$

$$\Delta R = 5 \cdot 0.02 \text{ G}\Omega$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial \tau} = \frac{b}{\epsilon_0 \pi r^2 R}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial R} = -\frac{\tau b}{\epsilon_0 \pi r^2 R^2}$$

$$\Delta \epsilon = \sqrt{\left(\frac{b}{\epsilon_0 \pi r^2 R} \Delta \tau\right)^2 + \left(\frac{-\tau b}{\epsilon_0 \pi r^2 R^2} \Delta R\right)^2}$$

$$= 43.6 \doteq \underline{\underline{44}}$$