



Prof. Mgr. Jiří Erhart, Ph.D.

Katedra fyziky FP TUL

Posudek dizertační práce:

Měření parametrů piezoelektrických aktivních prvků snímačů akustické emise

Autor: Ing. Jiří Fialka

Školitel: doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

Posluchač předkládá k obhajobě dizertační práci zaměřenou na studium vlastností piezoelektrických materiálů používaných pro snímače akustické emise. Jsou měřeny teplotní závislosti piezoelektrických koeficientů (zvláště pak d_{33} a d_{31}) pro měkkou PZT keramiku ("soft" PZT) v širokém teplotním rozsahu od pokojové teploty až do teplot převyšujících Curieho teplotu. Teplota je aplikována v různých typech teplotní změny (postupně stabilizované, skokové). Jednak je určována Curieho teplota pomocí měření statické permitivity jako funkce teploty (postupně stabilizované teplotní kroky) a také je měřen časový vývoj piezoelektrických koeficientů po skokové změně teploty. Materiálové vlastnosti jsou měřeny rezonanční metodou na vzorcích stejné šarže PZT, kvazistaticky na vlastním sestaveném d_{33} -metru, laserovou interferometrií a měřením náboje elektrometrem při mechanickém uvolnění zatíženého piezoelektrického prvku. Struktura a chemické složení vzorků (keramiky NCE51 a PCM51) jsou ověřeny rentgenovskou spektroskopií, EDS a SEM. Cílem je vylepšení vlastností piezoelektrického snímače pro akustickou emisi pomocí řízené depolarizace prvku, zvláště pak zlepšení frekvenčních charakteristik snímače.

Námět práce je aktuální vzhledem ke stále širšímu použití piezoelektrických keramických materiálů v různých mechatronických zařízeních, v oborech jako je kybernetika, automatizace a měření veličin. Současný stav výzkumů v oblasti teplotních závislostí piezoelektrických vlastností ukazuje jednak na znalosti potřebné pro vývoj zařízení založených na piezoelektrických keramických materiálech, jednak ale jen na zřídka publikace s těmito výsledky. Vůbec nejméně bývají publikovány postupy úpravy vlastností piezoelektrického keramického materiálu pomocí řízené teplotní depolarizace. Předložená práce a její publikované výsledky doplňují současný stav poznání ve studované oblasti.

Předložená práce má rozsah asi 140 stran textu a 15 stran příloh. Prvních 8 kapitol popisuje cíle práce a rešerši problematiky (piezoelektrika, základní veličiny, metody měření materiálových koeficientů při pokojové a vyšších teplotách, rtg. spektroskopii a design snímačů akustické emise), zbytek práce (5 kapitol a přílohy) pak popisuje vlastní prováděné experimenty a výsledky měření. Práce je napsána srozumitelně a v dobré grafické úpravě, drobné překlepy a chyby nejsou ani časté, ani zásadní. Literatura k tématu dizertační práce je citována adekvátně řešené tematice, nechybí žádný důležitý dostupný zdroj. Použité metody měření piezoelektrických vlastností jsou zcela adekvátní studované problematice.

Přínosem práce je prostudování teplotních závislostí materiálových koeficientů měkké PZT keramiky v širokém teplotním rozsahu a návrhu teplotního schématu její úpravy pro řízenou změnu vlastností. Posluchač vyzkoušel měření piezoelektrických vlastností různými metodami a při různých teplotách, určil Curieho teploty pro studované materiály a navrhl teplotní cyklus pro řízenou depolarizaci. Porovnání metod měření piezoelektrických vlastností a jejich teplotních závislostí posluchač publikoval v jednom článku v mezinárodním časopise a ve 13 příspěvcích na konferencích. Prokázal tak schopnost výsledky nejenom získat, ale získané výsledky



také uplatnit a publikovat na mezinárodním fóru. Stanovené cíle dizertační práce posluchač splnil, pouze není z textu jasné co mělo být vlastně výsledkem optimalizace metody pro řízenou depolarizaci PZT keramiky (jaký konkrétní typ snímače a jaké mají být parametry keramiky získané depolarizací). Posluchač vytvořil a předkládá rozsáhlou experimentální práci, která je přínosem k oboru. Výsledky dizertační práce posluchač předváděl na konferencích a publikoval.

Obsahové připomínky a otázky k obhajobě:

Str. 11, úvodní odstavec – Je zde zaměněn jev pyroelektrický a piezoelektrický? Vysvětlete.

Str. 14, Obr. 3.3 – Využívá piezoelektrický transformátor jen přímý jev? Vysvětlete funkci piezoelektrického transformátoru.

Str. 21 – Je polarizační teplota volena pouze podle Curieovy teploty, nebo je při její volbě zohledněna i jiná vlastnost/okolnost? Pokud ano, která?

Str. 23 – v tetragonální i romboedrické struktuře je kromě uváděných úhlů možné natočení dipólových momentů v sousedních doménách také o 180° .

Str. 23 – chybí citovaný obrázek 2.4b. Má to být 3.12b?

Str. 24 – nesrozumitelný pojem ...osa nanesených elektrod... Vysvětlete.

Str. 24 – Je ...výchozí... a ...prvotní... hysterezní křivka totéž?

Str. 28 - ...stavové rovnice je možné převést do grafické podoby... Kde jsou vidět stavové rovnice na obr. 4.2? Vektor polarizace je lépe značit P a ne E , možná záměna s intenzitou elektrického pole.

Str. 28 – chybně uvedeno... permitivita ϵ a impermeabilita β jsou definovány při konstantním elektrickém poli... Můžete to vysvětlit?

Str. 28 – vztah (4.9) je částečně chybně, platí $e^D = h$. Tato diskuze je ale nadbytečná, neboť nejsou uvedeny stavové rovnice s těmito konstantami a nikde dále se tyto veličiny nepoužívají. Vztah (4.11) je částečně chybně, platí $h = gc^D$.

Str. 32 – vztah (4.21) má být $f_p = f_s \sqrt{1 + \frac{C_h}{C_0}}$. Při sériové rezonanční frekvenci není impedance čistě reálná, to platí jen při rezonanční f_r a antirezonanční frekvenci f_a . Není také pravda, že je charakter rezonátoru při frekvencích nad f_s induktivní. Vysvětlete jak je to s charakteristickými frekvencemi rezonátoru a jeho impedancí.

Str. 33, obr. 4.4b – měly by být vyznačeny frekvence f_m a f_n a nikoliv f_s a f_p . Jaký je vztah těchto frekvencí?

Str. 41 – odkaz na neexistující obrázek 4.14. Který obrázek to má být?

Str. 45 – křemenné rezonátory nemají Curieovu teplotu, křemen není feroelektrický, ale prochází strukturním fázovým přechodem mezi krystalovou symetrií $622 \rightarrow 32$ kolem 573°C . Podivné znaky pro nerovnost $T_{max} \leq \frac{1}{2} T_C$?

Str. 56 – hodnoty polarizačního pole 1-2kV/mm pro “teplou” polarizaci se zdají být příliš vysoké. Polarizace „suchá“ a „v oleji“ dává při stejné teplotě stejné omezení/zmenšení koercitivního pole. Mohl byste uvést důvody polarizace keramiky v oleji a vlastní funkci oleje během polarizace?

Str. 80 – stárnutí obvykle vyjadřuje standard [65] v logaritmickém měřítku relativní změny veličiny. Jak byly proloženy křivky v grafech 11.6 a 11.7 (a dále v řadě následujících grafů)? Jakými závislostmi jsou fitovány naměřené body?

Str. 81 – jak bylo změřeno ϵ_{33}^S v Tabulce 11.2? Jaké jsou jednotky permitivity dále v této tabulce?

Str. 92 – co znamená označení ...a tenkých disků 25(l)x4(w)x2(t)mm...?



Str. 95 – proč se očekává exponenciální průběh teplotních charakteristik při přiblížení k teplotě fázového přechodu?

Str. 101 – Co je důvodem rozdílu teplot regulačního a měřicího termočlánku až o 15-20°C?

Str. 124, obr. 12.37 – Jak byste vysvětlil nárůst koeficientu d_{33} při teplotě 360°C (370°C) pro dobu ohřevu 5 min oproti původní hodnotě na počátku měření?

Technické připomínky:

Místy je jazyk textu hodně „elektrotechnicky slangový“, např. str. 12 ...je generován náboj, který se na kapacitě elementu mění na odpovídající napětí...

Str. 14 – jde jen o jeden tuhý roztok titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého, ne o dva tuhé roztoky

Str. 15, Obr. 3.4 – patrně došlo k záměně os x a y, uvedený souřadný systém je levotočivý, což není běžné označení

Str. 15 – krystalografickou grupu je zvykem označovat $m\bar{3}m$, s pruhem nad číslem 3

Str. 19 – prvek ...Nb... se jmenuje niob, a ne niobit

Str. 21 – v češtině používáme pojem ...koercitivní pole... a ne koercitivní síla

Str. 25 – tvar hysterezní smyčky („užší“ a „širší“) nesouvisí jednoduše s hodnotou dielektrických ztrát $\tan\delta$, smyčka popisuje přepolarizaci domén i ztráty dohromady

Str. 25 – jednotkou polarizace P i indukce D je Cm^{-2} , nikoliv Cm^2

Str. 27 – v rovnicích (4.6) a (4.8) má být místo T_μ veličina S_λ , v rovnici (4.2) má být T_μ .

Str. 29 – Tabulka 4.1, 4. řádek – chybný popis, má být $c_{\lambda\mu}^D$, chybně uvedeny jednotky pro piezoelektrické koeficienty e a h .

Str. 30 – vztah (4.15) má být uvedeno d_{31}

Str. 31 – vztah (4.18), má být $2(c_{11} - c_{12})$.

Str. 35, obr. 5.1 – lepší je název ...generátor funkcí... než ...funkční generátor... (nefunkční generátor by asi s měřením mnoho nepomohl).

Str. 42 – raději ...Curieův... než ...Curierův...

Str. 48 – jednotka Planckovy konstanty je Js a nikoliv Js^{-1} .

Str. 61, vztah (9.2) – ve jmenovateli má být výraz $2.51 \frac{f_a - f_r}{f_a} - \left(\frac{f_a - f_r}{f_a} \right)^2$.

Str. 62-64 – ve vztazích (9.9) a (9.10) by se mělo rozlišovat C_{11}^T a C_{33}^T , ve vztahu (9.11) má být ε_{33}^T .

Str. 75 – ...vrcholy odpovídající danému vysokému napětí... (v obr. 11.1) – není uvedeno správně, graf udává energie v keV.

Str. 102 a jinde v grafech – hodnoty na ose uvádíme obvykle dvěma možnými způsoby, např. $\tan\delta \times 10^4$, nebo $\tan\delta [10^{-4}]$, podobně i pro další veličiny, zde jsou exponenty uváděny s opačným znaménkem

Předložená práce splňuje požadavky na dizertační práci, její **obhajobu a udělení akademického titulu Ph.D. doporučuji**.



V Liberci 2.11.2015

Prof. Mgr. Jiří Erhart, Ph.D.

