

Oponentní posudek disertační práce

Mgr. Tetyany Malysh

Poling of PZT Ceramics

Předložená disertační práce shrnuje výsledky experimentálního studia polarizačních podmínek a jejich vlivů na piezoelektrickou keramiku, reprezentovanou „měkkou“ a „tvrdou“ keramikou PZT geometricky různých tvarů vzorků.

Práce je členěna do pěti kapitol a přílohy se sedmi částmi. V příloze jsou přehledně shrnuty parametry pro impedanční měření a základní vztahy pro vybrané módy kmitů piezoelektrických tyčinek, destiček a disků, vztahy pro výpočet materiálových konstant a parametry pro OriginPro 8 (Gauss fit Metod).

Je třeba již v úvodu konstatovat, že práce obsahuje všechny části, stanovené Studijním a zkušebním řádem TUL ze dne 17.10.2011, je vypracována pečlivě a přehledně v anglickém jazyce. Období, ve kterém práce vznikala je, zdá se, poměrně dlouhé. Pravděpodobně se uchazečka mohla některými experimentálními výsledky podílet na některém z grantových projektů katedry fyziky (KFY). O rozsahu takové spolupráce však se práce nezmiňuje, není však vyloučené, že tato informace je, včetně vyjádření řešitele, součástí povinných dokladů. Jistě však může být podána během obhajoby.

Kapitola 1 zahrnuje úvodní poznámky a cíle disertace:

- a) nalezení optimálních podmínek pólování pro zkoumanou keramiku typu PZT,
- b) vyšetřování vlivu různých metod pólování na materiálové vlastnosti,
- c) studium dynamiky pólování keramiky typu PZT (switching current behavior),
- d) analýzu vlivu elektrického pole na materiálové vlastnosti keramiky PZT.

Kapitola 2 pojednává o dynamice pólování feroelektrických krystalů BaTiO_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 , Lead Germanate $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ a Potassium Niobate KNbO_3 .

V následující kapitole 3 uchazečka prezentuje základní vlivy působící na elektromechanické vlastnosti feroelektrických polarizovaných keramik s piezoelektrickými vlastnostmi, zvláště typu PZT: externí mechanická a elektrická pole a vliv mikrostruktury. Též tato část má charakter pečlivé rešerše s odkazy na stěžejní prameny.

Těžiště práce je v kapitole 4, která zahrnuje uspořádání experimentů, dosažené výsledky a jejich diskusi. Podstatným výsledkem a přínosem pro obor jsou experimentálně zjištěné změny elektromechanických vlastností piezoelektrické keramiky typu PZT od výrobců American Piezo Ceramics International, Inc., Mackeyville, PA, USA a Piezokeramika Libřice, s.r.o., a to za definovaných podmínek polarizace a vlivu teploty. Pro výrobce i uživatele prvků z piezoelektrické keramiky PZT jsou informace o vlivu různě orientovaného elektrického pole a teploty na přepolarizační proud a koercitivní pole důležité. Jako polarizační metody jsou v práci použity *Depoling metod*, *Re-poling metod*, *Gross-poling metod* a *Pulse-poling method*. Mezní elektrické hodnoty pole byly v práci zkoumány rezonanční metodou pro stejnosměrně a pulzně depolarizovanou keramiku, teplotní závislosti remanentní polarizace a koercitivního pole pak určovány z měření hysterezích smyček, vlastní průběh polarizace ve vzorku PZT keramiky studován pomocí metody snímání polarizačního proudu.



Z uvedeného vyplývá, že uchazečka si osvojila základní experimentální metody studia elektromechanických vlastností. Postup řešení problému a použité experimentální metody jsou v souladu s vytýčenými cíli disertační práce.

Lze konstatovat, že doktorandka byla dobře vedena a výsledky své práce v letech 2004-2011 publikovala (ve *Ferroelectrics* a na dvou významnějších konferencích). Uchazečka se v průběhu studia seznámila s řadou experimentálních metod, jež byly v Piezoelektrických laboratořích KFY vyvinuty a realizovány. Z práce však ne zcela vyplývá, jak se uchazečka na realizaci vybraných metod nebo návrhu geometrie vzorků pro rezonanční měření podílela.

Disertační práce vychází z výzkumné tematiky, která je na KFY a jejích laboratořích dlouhodobě pěstována. Doktorandka dosáhla v oblasti experimentálního studia feroelektrických materiálů dobrých výsledků, pramenících z úsilí, se kterým se obtížné problematice věnovala.

Předložená disertační práce je poměrně rozsáhlá, má 118 stran, 100 obrázků (pokud byly v rešeršní části přejaté, je uveden zdroj), 17 tabulek a 7 příloh. Citováno je 125 relevantních odkazů, což svědčí o dobrém přístupu ke studiu a zpracování problematiky v souladu s cíli disertace. Práce má dobrou jazykovou úroveň a grafickou úpravu, je zajímavá pečlivým zpracováním tématu.

Na závěr několik dotazů:

Ve vztazích (6), (22), (31) v přílohách jsou uváděny lineární piezoelektrické koeficienty d_{31} , resp. d_{15} . Přitom je známo, že jde o složky tenzoru třetího řádu. Mohla by uchazečka vysvětlit tyto operace s tenzory?

Na obr.4.4.3 je schematické znázornění měření spektra rezonančních kmitočtů. Jaký je soudobý princip měření rezonančních kmitočtů piezoelektrického rezonátoru, definovaného standardem IEEE?

Lze určit, jaké oblasti fázového diagramu PZT odpovídají vlastnosti zkoumaných vzorků?

V celé práci se uchazečka zabývala případy, kdy elektromechanické vlastnosti byly popisovány pomocí lineárních materiálových parametrů (viz části přílohy 1-7 a jinde). Přitom zvláště hysterese vlastností svědčí o významných nelinearitách keramiky PZT. Mohla by uchazečka naznačit přístup k popisu nelineárních vlastností uvažovaného feroelektrika?

Lze určit intenzitu elektrického pole, které vyvolá ještě „lineární“ mechanickou odezvu piezoelektrického tělesa zhotoveného z PZT?

Předložená práce dokazuje, že si doktorandka osvojila zásady vědecké práce, získala jistou experimentální zručnost a dokázala zformulovat výsledky, které jsou zajímavé pro výrobce i odbornou veřejnost.

Obhajobu doktorské disertační práce Tatyany Malyshe ve studijním oboru Fyzikální inženýrství **doporučuji**.

V Liberci dne 18.5.2012


prof. Ing. Jaroslav Nosek, CSc.
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



Oponentský posudok
doktorandskej dizertačnej práce
Tetyany Malysh
„Poling of PZT ceramics“

Predložená doktorandská dizertačná práca je zameraná na experimentálne štúdium polarizácie polykryštalických piezoelektrík a skúma vplyv rôznych tvarov a orientácií vonkajšieho elektrického poľa na základné materiálové vlastnosti feroelektricky mäkkej a tvrdej PZT keramiky.

Optimálne nasmerovanie permanentných vnútorných dipólov, tzv. „polarizácia“, je kľúčovým mechanizmom pre zmenu inertnej keramiky na elektromechanicky aktívny materiál s obrovským priemyselným a komerčným využitím. Súčasný záujem o túto problematiku súvisí na jednej strane s potrebou lepšieho pochopenia fyzikálnych procesov prepolarizácie v nových feroelektrických materiáloch a na druhej strane s požiadavkou praxe na zlepšenie vlastností funkčných piezokeramických materiálov pri znížených výrobných nákladoch. Z tohto hľadiska je téma dizertačnej práce aktuálna a zaujímavá.

Rozsah dizertačnej práce je 113 strán a okrem úvodu obsahuje dve kapitoly teoretického prehľadu, jednu kapitolu s experimentálnymi metódami a výsledkami, záverečnú kapitolu a nakoniec zoznam literatúry so 125 odkazmi, 7 príloh, stručný výpočet publikácií a prezentácií a životopis autorky. Súčasťou práce je ďalej 10 rovníc, 17 tabuliek a 100 obrázkov, ktoré sú vhodne zakomponované do jej prehľadovej ako aj experimentálnej časti.

Formálne členenie dizertačnej práce vybočuje zo štandardnej schémy, keďže ciele práce sú formulované hneď v Úvode pred teoretickou časťou a metodika experimentov je zasa súčasťou výsledkov a diskusie v experimentálnej časti. Nie úplne logicky pôsobí tiež zaradenie vcelku neprehľadného Zoznamu rovníc, Zoznamu tabuliek a Zoznamu obrázkov hneď na začiatok práce. Naopak, zoznam použitých symbolov a skratiek v práci úplne chýba.

Teoretickej časti je venovaných prvých 49 strán. V Úvode sú zhrnuté základné poznatky z oblasti feroelektrického a piezoelektrického javu v monokryštáloch a polykryštalickej keramike, popísané sú metódy štúdia dynamiky doménovej štruktúry a vymedzená je definícia rýchlosti doménových stien pri prepolarizačnom procese. Popisu mechanizmov, ktoré sú spojené s dynamikou 180° a $ne-180^\circ$ domén vo feroelektrických monokryštáloch je venovaná Druhá kapitola. Tematicky bližšie k dizertačnej práci je 3. kapitola literárnej rešerše. Autorka sa v nej venuje vplyvu teploty, textúry a vonkajších elektrických a mechanických polí na dielektrické, feroelektrické a piezoelektrické vlastnosti feroelektrickej keramiky. V obsahovo širšej podkapitole venovanej PZT keramike je pozornosť venovaná najmä elektromechanickej metóde polarizácie, polarizácii bipolárnym pulzným poľom a „cross-poling“ polarizácii v dvoch na seba kolmých smeroch.

Praktická časť, ktorá je počtom strán takmer totožná s teoretickou časťou dizertačnej práce začína popisom použitých, komerčne získaných materiálov a tabelovaním ich charakteristických veličín. Ďalej nasleduje podkapitola, zaradená do tejto časti pravdepodobne nedopatrením, venovaná literárnemu prehľadu poznatkov týkajúcich sa vzťahu medzi kryštalografickou orientáciou a vlastnosťami PZT keramiky. Vzhľadom k tomu, že experimentálne metódy sú v praktickej časti práce umiestnené spolu s výsledkami jednotlivých meraní a diskusiou k výsledkom, je potrebné konštatovať, že oddiel venovaný určeniu elasto-piezo-dielektrickej matice charakteristických hodnôt feroelektrickej keramiky pomocou rezonančnej metódy je jedinou samostatnou podkapitolou praktickej časti, ktorá sa venuje experimentálnym technikám. Ciele práce, tak ako boli vo všeobecnej forme vytyčené v Úvodnej kapitole, boli naplnené v posledných 5 kapitolách (kap. 4.4 – 4.8). Depolarizačnými experimentmi v jednoduchom statickom a pulznom DC poli boli overené výrobcou keramiky uvádzané limitné hodnoty depolarizačných polí pre mäkkú PZT keramiku. Re-polarizácia pri izbovej teplote a v smere pôvodnej polarizácie nepriniesla podobne ako technika „cross poling“ pri vyšších teplotách významné zlepšenie vybraných materiálových vlastností PZT keramiky, dokonca v prípade mnohých parametrov došlo naopak k zníženiu ich počiatočných hodnôt. Metódou pulznej prepolarizácie bola určená závislosť doby „switchingu“ na amplitúde pulzného poľa pre mäkkú a tvrdú PZT keramiku. Detailnejšie boli potom diskutované rôzne mechanizmy uplatňujúce sa v elektromechanickej odozve donorne- a akceptorovo dotovanej PZT keramiky. Záverečná piata kapitola sumarizuje dosiahnuté výsledky a vytyčuje smer budúceho možného výskumu v tejto oblasti s ohľadom na komerčného výrobcu PZT keramiky.

Za pôvodný prínos doktorandky považujem vzhľadom k tomu, že práca je výlučne experimentálna, technologické postupy, ktoré viedli vďaka zmene tvaru a orientácie polarizačného poľa k ovládaniu vybraných materiálových vlastností feroelektricky mäkkej a tvrdej PZT keramiky. Autorka jasne identifikovala príčiny minimálneho účinku re-polarizácie vykonanej pri izbovej teplote a priečnej polarizácie, tzv. „cross poling“, na študované vzorky PZT keramiky.

Po jazykovej stránke je práca na relatívne nízkej úrovni, angličtina autorky je málo prehľadná, nezrozumiteľná a veľmi zle čitateľná. Vyskytujú sa v nej nielen drobné jazykové nedostatky (napr. chýbajúce alebo nesprávne použité členy, nesprávne používanie 3. osoby jednotného čísla, slová a spojenia ako „species“ alebo „as a result“ použité v nesprávnom kontexte) ale aj vážnejšie problémy so skladbou a štylizáciou viet v anglickom jazyku (celé oddiely, ako napr. kap. 1.4, resp. ich niektoré časti ako sú odseky na str. 25-27, 29, 47, 87 sa čítajú veľmi zle). Tieto potom v značnej miere zhoršujú zrozumiteľnosť textu a znižujú kvalitu dizertačnej práce. Najväčšie výhrady mám k nenáležitému používaniu prídavných mien k podstatnému menu (napr. Tab. 4.7.1 „Spontaneous polarization calculated values ...“, Fig. 3.1.3.1 „PZT coupling factor k_{31} ...“, str.3 ods.3 veta 4 „Hard PZT ceramics piezoelectric constants are ...“, str.8 ods.4 veta 3 „Poling conditions influence of ...PZT ceramics material properties were ...“, str.36 ods.3 veta 1 „...nanocrystalline ferroelectric ceramics application...“).

Z formálnej stránky k najväčším nedostatkom práce patria okrem zlého členenia textu (nesystematické radenie kapitol, napr. Kap. 1 a Kap. 1.1, Kap. 3.1 a 3.2, Kap. 3.1.3 v Kap.3.1, alebo nekorektná forma kapitoly 4) a chýbajúceho zoznamu použitých symbolov a skratiek:

- nesystematický výber informačných zdrojov,
- neuhladený štýl textu,
- v teoretickej časti principiálne chýba popis „state-of-the-art“ v danej problematike, prehľadová štúdia sa ohraničuje len na encyklopedický popis princípov doménovej reorientácie vo vybraných materiáloch, merania materiálových vlastností, ap.; rešerš nemá spojovací text (jeden odsek/kapitola – jedna citácia), absentuje kritická analýza výsledkov iných autorov a chýbajú formulácie všeobecnejšej povahy,
- vo viacerých prípadoch autorka použila na označenie toho istého javu alebo tej istej veličiny (napr. *dielectric permittivity* vs. *dielectric constant*, *remanent polarization* vs. *remnant polarization*) v rôznych častiach textu rôzne výrazy, čím sa text stáva málo prehľadným,
- prehľadnosť celej dizertačnej práce trpí aj tým, že názvy niektorých oddielov v texte nekorelujú s názvami uvedenými v Obsahu (napr. Kap. 2.1 - 2.5, Kap. 3, Kap. 3.1 a 3.2, Kap. 4), ďalej v Obsahu chýba zmienka o ďalších, v práci reálne existujúcich kapitolách (napr. kap. 3.1.1 - 3.1.6), kapitoly 1. a 1.1 majú rovnaký názov,
- motivácia k práci mala byť formulovaná buď na záver teoretickej alebo v úvode praktickej časti a Ciele práce potom mali byť uvedené jasne a stručne najlepšie ako samostatná kapitola na jedinej stránke,
- mnohé tvrdenia a poznatky prebrané z literatúry nemajú svoj odkaz v Zozname literatúry (napr. str.3 ods.3, str.4 ods.1 veta 3 a veta 5, str. 45 ods.2 veta 2, str. 47 ods.2, str. 81 ods.3),
- kapitola „Poling Dynamics of ferroelectric crystals“ je podľa môjho názoru úplne samoúčelná, autorka z nej nijako nevychádza pri riešení stanovených cieľov; oddiely 2.2-2.4 týkajúce sa doménového inžinierstva v monokryštáloch sú toho priamym príkladom.

K ďalším formálnym nedostatkom práce možno zaradiť:

- dve rovnice na str. 79, ktoré nie sú uvedené v Zozname rovníc a majú označenie predošlých rovníc 6 a 7; okrem toho 1. rovnica vyjadrujúca celkový náboj nemá tvar referovanej rovnice v odkaze [116] a význam 2. rovnice nie je z textu zrejmý,
- obrázky, ku ktorým neexistuje v texte práce ani zmienka (napr. Fig. 2.1.2),
- relatívna dielektrická permitivita a ani Poissonov koeficient nemajú fyzikálny rozmer,
- dimenzia fyzikálnych veličín je vyjadrená odlišne v rôznych častiach práce (napr. elektrické pole kV/mm vs. V/mm vs. kV/cm vs. MV/m),
- chýbajúce legendy k tabuľkám a definície veličín v rovniciach (napr. Tab. 3.1.4.1, Tab. 4.4.1, Tab. 4.4.3, Fig. 4.7.1, str.5 rov.1, str.7 rov.2, str.7 rov.4,)

- nevymedzenie označení fyzikálnych veličín a skratiek v texte do samostatných zátvoriek alebo medzi čiarky (napr. Fig. 2.2.1 „Displacement current (i) and voltage (U_k) applied to ..“, Fig. 3.1.1.1 „ (d_{31}) ..“, Fig. 4.5.3–4.5.12, Fig. 4.8.4, str.5 ods.1 veta 1, str. 28 ods.3 vety 1,2 a 4),
- málo informatívny popis k rovniciam a tabuľkám (napr. Eq. 7 „The equations of state of the piezoelectric effect“, Tab. 4.4.3 „Relative changes of material coefficients of hard PZT ceramics after depoling“, v Tab. 4.8.1 nie je uvedený tvar signálu),
- v popise k tabuľkám a obrázkom sa často nevhodne používa skratka RT namiesto „room temperature“, ktorá nie je v práci zadefinovaná (Tab. 4.7.1, Tab. 4.8.1, Fig. 4.7.3, Fig. 4.8.5),
- názvy oddielov by mali byť stručné, výstižné a gramaticky správne (napr. kap. 3.1, kap. 4.1),

Závažnejšími sú ale niektoré obsahové nedostatky vo vzťahu k stanoveným cieľom práce. Práca si kládla za cieľ optimalizovať polarizačné podmienky pre študované piezoelektrické materiály. Kapitola 4.4 však popisuje depolarizáciu PZT keramiky a kapitoly 4.5 a 4.6 sa nevenujú hľadaniu optimálnych podmienok polarizácie; obsahujú popis rôznych metód polarizácie a namerané výsledky pre vybranú teplotu, amplitúdu elektrického poľa a čas polarizácie. Za negatívum považujem aj to, že kvôli experimentálnym ťažkostiam pri depolarizácii a „cross poling“ metóde sa nepodarilo získať výsledky pre tvrdú PZT keramiku. Stratila sa tak možnosť komplexne zhodnotiť výsledky experimentov z hľadiska vplyvu elastických a elektrických dipólov na dynamiku doménovej štruktúry.

K práci mám nasledujúce pripomienky, doplnené o otázky k diskusii:

1. Str. 1, posl. odsek, predposledná veta: Nesúhlasím s tvrdením, že v paraelektrickej fáze feroelektrika zohriateho nad Curieho teplotu nie sú žiadne dipóly. Zanikajú iba permanentné dipóly. *Je možné indukovať feroelektrický stav napr. v $BaTiO_3$ nad teplotou Curieho bodu? Ak áno, potom akým spôsobom?*
2. Str. 2, 1. veta: Tvrdenie vo vete nie je správne. Podmienkou pre to, aby bolo možné nazvať makroskopickú oblasť kryštálu doménou je nielen to, aby smer spontánnej polarizácie bol všade v tejto oblasti rovnaký ale aj to, aby polarizácia mala rovnakú veľkosť v celej oblasti. V súvislosti s uvedeným a pri uvážení anizotropie feroelektrík, by doktorandka mala stručne vysvetliť *ako sa mení orientácia spontánnej polarizácie pri prechode z jednej domény do druhej (napr. v doskovej doménovej štruktúre, 180° doménová stena)*,
3. Str. 6, 3. odsek: Pri procese prepolarizácie je dôležité nielen to, že proces sa začína tvorbou malých zárodkov nových domén, ale najmä to, že orientácia polarizačného vektora je v nich opačná (antiparalelná v doskovej doménovej štruktúre).
4. Str. 41 a Fig. 3.2.1: Údaje uvádzané v kapitole venovanej PZT nezodpovedajú stavu súčasného poznania v zmysle aktualizovaného fázového diagramu PZT systému z r. 2000 (napr. B. Noheda, D.E. Cox, G. Shirane et al., Applied Physics Letters, vol.74, Iss. 14, 2000, p. 2059).

5. Str. 41, veta 10-11: Tvrdenia nie sú správne. Nelineárne hysterézne správanie sa feroelektrik nie je dôsledkom prepolarizácie a už vôbec nie feroelektrického ani feroelastického javu. Formulácia je zlá. Napríklad, ak v doménovej štruktúre dochádza iba k reverzibilným posunom doménových stien, hysterézia vlastností a nelinearity sa vo feroelektrikách nepozorujú. *Čo je teda reálnou príčinou (z mikroskopického hľadiska) makroskopicky pozorovanej hysteréznej slučky vo feroelektrikách?*
6. Str. 46, 2. odsek, veta 1: Na základe tvrdenia, že po zohriatí nad Curieho teplotu sa orientované domény vrátia do „neusporiadaného“ stavu v polarizovanej keramike, by bolo vhodné, aby doktorandka vysvetlila, či je možné, aby domény existovali aj nad T_c a či existuje náhodilý „random“ stav polárnych vektorov v spolarizovanej piezokeramike.
7. Str. 57-60, Tab. 4.4.1, Fig. 4.4.4-4.4.5: Vážny principiálny rozpor predstavujú znamienka pri nameraných hodnotách piezoelektrických koeficientov d_{31} a d_{33} . V dôsledku Poissonového efektu, ktorý sa uplatňuje vo väčšine piezoelektrických keramických materiáloch, by znamienka pri týchto koeficientoch mali byť opačné (t.j. ak v jednom smere dochádza k predĺženiu vzorky v smere poľa, potom v dvoch na neho kolmých by malo dôjsť k jej zmršteniu).
8. Str. 68: Vážne výhrady mám voči diskusii výsledkov. Za prvé, diskusii výsledkov dizertačnej práce je zvlášť venovaná podkapitola 4.9 na str. 95, a teda zistenia z experimentálnych meraní orientovaných na polarizáciu a depolarizáciu ako aj ďalších meraní mali byť diskutované v tejto časti. Ďalej, diskusia na str. 68 (odsek 2) nie je relevantná, keďže autorka sa experimentálne nevenovala určeniu kryštalografickej symetrie PZT keramik. Z toho dôvodu nie je možné kvantifikovať a následne diskutovať extrinziecké príspevky 180° a $ne-180^\circ$ DS k meranej odozve. Za tretie, ako sa dá tvrdiť, že experimentálne dáta súhlasia s výsledkami iných autorov, resp. hodnotami udávanými výrobcom keramiky, keď pre feroelektricky tvrdú PZT keramiku limity elektrických polí neboli určené ani pre polia do 1000 V/mm, pritom z odkazu [49] vyplýva, že limitné polia sú „...300-500 V/mm for hard PZT..“, resp. maximálne 800 V/mm pre študované vzorky s označením APC 880. Doktorandka by mala vysvetliť príčinu tohto nesúladu, t.j. v čom vidí príčinu, že na rozdiel od komerčných výrobcov nebolo možné v laboratórnych podmienkach depolarizovať tvrdú PZT keramiku ani poliami, ktoré sú uvádzané v technickej špecifikácii ako limitné.
9. Str.79-80: *Prečo nebola spontánna polarizácia, resp. polarizačný náboj vypočítaný priamo z experimentálnych dát jednoduchou integráciou nameraného “switching” prúdu? Aké výhody oproti priamej integrácii dát priniesla aproximácia experimentálnych dát pomocou Gaussovej funkcie (nové fyzikálne parametre alebo konštanty)?* Otázka súvisí aj s faktom, že z obrázka Fig. 5 v Apendixe VII sa dosiahnutý fit javí ako nepresný, obzvlášť v chvostoch prúdových píkov.

10. Str. 80: Dôvodenie v 4. vete má sekundárny význam, primárnym faktorom je správanie sa $i_{\max}$ podľa rovnice 1 na strane 5.
11. Str. 89, odsek 1, Fig. 4.8.2: Vážne pochybnosti mám o korektnosti merania hysteréznych slučiek tvrdých PZT keramik a z toho vyplývajúcej hodnovernosti nameraných dát. Pre získanie relevantných hodnôt E_c je nutné, aby amplitúda maximálneho elektrického poľa bola minimálne $2E_c$ (saturácia slučky), čo v prípade meraní realizovaných na vzorkách APC 850, APC 840 a APC 841 nebolo splnené (maximálne pole bolo iba 2500 V/mm, str. 89 odsek 2).
12. Str. 90: Pochybnosti o hodnovernosti nameraných dát vyvolávajú obrázky Fig. 4.8.3 a Fig. 4.8.4, ak uvážime referenčné hodnoty koercitívneho poľa poskytnuté výrobcom keramiky pre študované vzorky (str. 52, Tab. 4.1.1). *Ako je možné, že napr. vzorka APC 856 má nenulovú spontánnu polarizáciu (dokonca viac ako 1/2 hodnoty nameranej pri izbovej teplote) a ešte k tomu merateľné koercitívne pole nad teplotou T_c ? Vysvetliť, prečo P_s a E_c nie sú hladkou klesajúcou funkciou teploty (napr. vzorka APC 850).*
13. Str. 91 a 92: Diskusia výsledkov založená na porovnaní hodnôt P_s získaných z meraní dielektrických hysteréznych slučiek a prepolarizačného „switching“ prúdu je z môjho pohľadu nekorektná. Kým prepolarizácia pulzným DC poľom mala periódu 28 s (išlo teda o kvazistatické meranie s frekvenciou blízkou 0.03 Hz) a tvar budiaceho signálu bol takmer obdĺžnikový, hysterézne slučky boli merané v dynamickom režime pri (pravdepodobne) sínusovom budiacom poli o frekvenciách rádovo vyšších, 1 – 100 Hz.

Predložená dizertačná práca Tatyany Malysh predstavuje súbor experimentálnych výsledkov s interpretáciou, ktorá zodpovedá priemernému hodnoteniu absolventa doktorandského štúdia. Vykonaním značného počtu rozsahu experimentov pri štúdiu polarizácie piezokeramiky a následnom získavaní výsledkov doktorandka preukázala potrebnú experimentálnu zručnosť. Jadro práce bolo primerane publikované v uznávanom odbornom časopise a prezentované na dvoch medzinárodných konferenciách. Napriek viacerým závažnejším nedostatkom práce, jej závery v dostatočnej miere spĺňajú pôvodné ciele, čím práca prispela k novým poznatkom, ktoré môžu byť využité v praxi.

Na základe týchto konštatovaní odporúčam doktorandskú dizertačnú prácu Tetyany Malysh k obhajobe.

V Košiciach 14. 5. 2012


RNDr. Vladimír Kovaľ, PhD.
Ústav materiálového výskumu SAV, Košice