

**Posudek práce předložené k obhajobě  
na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy**

**Posudek oponenta diplomové práce**

Název práce: Přepínání elektrické polarizace v moiré feroelektrikách pomocí expozice elektronovým svazkem

Jméno, příjmení a tituly autorky práce: Bc. Kateřina Tetalová

Studijní program: Učitelství fyziky pro střední školy

Rok odevzdání: 2024

Jméno a tituly oponenta: RNDr. Václav Dědič, Ph.D.

Pracoviště: Fyzikální ústav UK, MFF UK

E-mail: vaclav.dedic@mff.cuni.cz

<b>Hodnocená oblast</b>	<b>Hodnocení</b>
<b>Oborová úroveň</b> (zejména fyzikální)	Výborná
<b>Didaktická úroveň</b> (zejména metody sběru a analýzy dat v didaktickém výzkumu, přiměřenost vzniklých materiálů)	Není relevantní / Neposuzuji
<b>Práce s literaturou</b>	Výborná
<b>Jazyková úroveň práce</b> (srozumitelnost textu, členění textu, stylistika, pravopis)	Výborná
<b>Grafická úroveň práce</b> (formátování textu, typografie, přehlednost tabulek, kvalita obrázků, videí)	Výborná
<b>Zásady pro vypracování práce</b>	Splněny

Bc. Kateřina Tetalová se ve své diplomové práci zabývá experimentálním studiem elektrické polarizace a jejím přepínáním v kompozitních vrstevnatých sulfidech  $\text{VPbS}_3$  a  $\text{CrBiS}_3$  vykazujících skluzovou feroelektricitu. Tyto materiály obsahují tzv. nesouměřitelné vrstvy, které mají schopnost tvořit moiré supermřížky. Materiály jsou připravovány ve formě tenkých krystalků metodou chemického plynného transportu. Samotné vzorky pro studium feroelektrických vlastností řešitelka připravila za pomoci exfoliace. Byly studovány jak vrstvy, které ulpěly na lepící pásce (exfoliované vzorky), tak „čerstvé“ povrchy, které zbyly po exfoliaci na původním krystalu (tzv. štípnuté vzorky).

Hlavní experimenty tvořilo testování expozice elektronovým svazkem pro přepínání elektrické polarizace povrchových vrstev na rozsáhlém souboru vzorků materiálu  $\text{VPbS}_3$ . Následná analýza povrchů vzorků pomocí skenovací elektronové mikroskopie, tapping módu a elektrického módu mikroskopie atomárních sil prokázala různou míru přepínání elektrické polarizace v závislosti na parametrech svazku, oblastech a doménách na povrchu materiálu a podrobně se věnuje vysvětlení pozorovaných jevů. Dále navrhuje použití nízkoenergetické elektronové difrakce pro podrobnější studium typů domén. Hypotézu, že podobným způsobem je možné přepínat elektrickou polarizaci na širší skupině materiálů s nesouměřitelnou krystalovou strukturou, úspěšně demonstruje na materiálu  $\text{CrBiS}_3$ .

Je patrné, že řešitelka své práci a problematice dobře rozumí i s ohledem na fakt, že se zabývala vrstevnatým materiálem  $\text{VPbS}_3$  během řešení bakalářské práce. Autorka v předložené práci nejprve čtenáře seznamuje s motivací a teoretickým popisem fyzikálních jevů a užitými experimentálními metodami. Ve výsledkové části na pasáži úvodních částí odkazuje a práce tak tvoří logický celek. Text se dobře čte a způsob podání podrobných či složitých informací je výstižný a vysvětlující. Práce je zpracována pečlivě a neobsahuje téměř žádné textové a věcné chyby. Je členěna přehledně a graficky je velmi pěkně zpracovaná.

### **K textu diplomové práce mám následující připomínky:**

- Na stranách 4 a 5 není v textu a v rovnicích dostatečně zohledněno, že některé veličiny (například  $\mathbf{P}$  a  $\mathbf{E}$ ) jsou vektorové. Tato skutečnost však nemá vliv na správné pochopení teoretických základů, které autorka předkládá.
- Na str. 11 a 12 značí  $E_k$  koercitivní pole, ačkoliv v předchozím textu a na obrázcích se značí jako  $E_c$ .
- V popisku pod obrázkem 1.4 chybí popis podobrázku e).
- Bylo zvoleno nevhodné pořadí obrázků 4.17 a 4.18, kdy v textu se nejprve vyskytuje odkaz na obr. 4.18, pak až na obr. 4.17. Ze stejného důvodu je nevhodné pořadí obrázků 4.19 a 4.20.
- V sekci 4.4 se v textu systematicky vyskytuje chybné značení jednotek nábojové hustoty  $\mu\text{m}/\text{cm}^2$  (namísto  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ).

## Celkové hodnocení:

Konstatuji, že předložená práce Bc. Kateřiny Tetalové splňuje nároky kladené na diplomovou práci na MFF UK. Obsahuje řadu originálních výsledků s potenciálně významným dopadem na poli elektroniky.

Práci doporučuji k obhajobě a navrhuji hodnocení stupněm „výborně“.

## Otázky k obhajobě a náměty k diskusi:

- V sekci 4.3 v druhém odstavci na str. 37 uvádíte, že v případě izolantů je možné přepínat polarizaci v obou směrech pomocí elektronového svazku. Stručně vysvětlete, jakým způsobem toho lze docílit.
- Přepínání elektrické polarizace bylo testováno na řadě vzorků. V rámci prezentace či v rámci diskuse by bylo vhodné odpovídajícím způsobem (např. pomocí tabulky či schématu) ukázat přehled všech vzorků (včetně jejich typů-exfoliovaný/štípnutý), typů oblastí (ploché/trojúhelníkové/pruhované), parametrů elektronového svazku a dosažených výsledků přepínání polarizace. Na tomto přehledu bude možné dobře demonstrovat souvislosti parametrů a přepínání elektrické polarizace.
- Na obr. 4.24d) a e) demonstrujete na vzorku materiálu  $\text{CrBiS}_3$  obrazce vepsané elektronovým svazkem měřené pomocí tapping módu AFM. Z obrázků je patrné, že pro nábojové hustoty  $350 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  dochází ke změně polarizace v celých plochách obrazců. Pro nábojovou hustotu  $3500 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  je pozorovatelná výrazná změna v topografii a fázi pouze na obvodu obrazců, zatímco vlastnosti vnitřních ploch se nezměnily. Jak lze toto chování vysvětlit?

Předloženou práci **doporučuji** uznat jako práci diplomovou.

Předloženou práci hodnotím stupněm: Výborně

Datum a místo: 28.5.2024, Praha

Podpis: