

Posudek oponenta disertační práce s názvem:

Phase transformations of the $\text{Ge}_8\text{Sb}_{2-x}\text{Bi}_x\text{Te}_{11}$ chalcogenide system and their potential application as a phase-change material

Autor: Mgr. Vasyľ Karabyn

Předložená disertační práce byla zaměřena na vlastnosti chalcogenidového materiálu s fázovým přechodem (phase-change material PCM) mezi neuspořádaným amorfním stavem a uspořádaným krystalickým stavem. Tento přechod lze vyvolat lokálním zahřátím či zchlazením materiálu účinkem laserového nebo elektrického pulsu. Výzkum vlastností a technologie přípravy nových tenkých vrstev na bázi těchto materiálů je velmi potřebný, neboť uvedené vrstvy lze s výhodou použít ke konstrukci moderních paměťových zařízení pro ukládání dat. Jejich výhodami jsou především netěkavost materiálu zajišťující jeho dlouhodobou stabilitu, miniaturní rozměry, vysoká cyklovatelnost, nízká energetická náročnost, možnost rychlého zápisu nebo čtení dat, víceúrovňový nebo 3D zápis a rovněž nízké výrobní náklady.

Hlavním cílem disertační práce byla příprava PCM se zaměřením na velmi slibný systém Ge-Sb-Te a určení vlivu substituce atomů Sb atomy Bi na tepelné, optické a elektrické vlastnosti. Autor se zaměřil na materiál o složení $\text{Ge}_8\text{Sb}_{2-x}\text{Bi}_x\text{Te}_{11}$, kde x bylo rovno 1, 2, nebo 3. Materiály připravoval ve formě tenkých vrstev metodou pulsní laserové depozice (pulsed laser deposition PLD) nebo mžikového napařování (flash thermal evaporation). Obě metody představují významnou technologickou alternativu k metodě magnetronového napařování, jelikož při poměrně jednoduché konstrukci umožňují přípravu tenkých vícesložkových vrstev vysoké kvality, rychlé a přesné řízení nanášení a snadnou úpravu velikosti zařízení.

V úvodní teoretické části je dostatečně podrobně popsáno chování PCM a jeho strukturní změny při přechodu z amorfního stavu na krystalický a obráceně. Podrobně jsou uvedeny poznatky o důležitých vlastnostech PCM, jako je elektrická vodivost a princip elektronické paměti, optické vlastnosti a princip optického záznamu a rovněž jsou zmíněny hlavní směry aplikací v komerčních součástkách.

Pro dosažení cílů práce byly zvoleny správné a efektivní metody přípravy daného materiálu ve formě objemových vzorků tavením s rychlým chlazením a tenkých vrstev metodami FE a PLD, jež jsou dobře popsány v druhé kapitole. Správně zvolené techniky tepelné expozice PCM a metody charakterizace připravených vzorků poskytly velmi zajímavé a přínosné výsledky.

Nejvíce přínosná je rozsáhlá třetí kapitola, ve které autor uvádí své experimentální výsledky. Vysoce oceňuji velký objem uvedené experimentální práce a podrobnou diskusi výsledků, jež umožnila získat nové důležité poznatky o chování připraveného PCM při možném budoucím použití v paměťové součástce. Jako velmi přínosné hodnotím, že autor na základě důkladných experimentů pro poznání krystalizačního chování definoval nový index krystalizační rychlosti

(Index of Crystallization Rapidity ICR) umožňující efektivní kvantifikaci kinetiky krystalizace. Důležitým výsledkem je zjištění vlivu přídavku Bi na snížení entalpie krystalizace a aktivační energie fázové přeměny u připravených PCM. Tyto poznatky umožnily určení optimálního složení PCM majícího stechiometrii $\text{Ge}_8\text{Sb}_{0.8}\text{Bi}_{1.2}\text{Te}_{11}$, jež vykazuje nejvyšší krystalizační rychlost, a proto je velmi nadějným materiálem pro konstrukci záznamových zařízení nové generace. Velkou předností je možnost dosažení vysoké přenosové rychlosti dat při použití pulsního fs laseru.

Disertační práce řeší zadané téma na dobré vědecké úrovni, jež snese srovnání jak s domácím, tak světovým výzkumem v tomto oboru. Na základě přiložené disertační práce je možné konstatovat, že výsledky práce byly na potřebné úrovni publikovány v zahraničních časopisech a na mezinárodních konferencích. Proto lze usuzovat, že se jedná o perspektivního vědeckého pracovníka.

Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že předložená disertační práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce a obsahuje původní výsledky. Proto tuto práci

doporučuji k obhajobě.

Na uchazeče mám následující otázku:

1. Jakým způsobem lze v připraveném materiálu ovlivňovat velikost krystalů?
2. Jaký vliv na strukturu a vlastnosti vytvořeného materiálu může mít dlouhodobé cyklování?
3. Jak byste technikou FE nebo PLD řešil nanášení tenké vícevrstvé struktury s mírně odlišným složením jednotlivých vrstev?

V Praze dne 21.4.2020



doc. Dr. Ing. Martin Míka