

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: Středoevropský technologický institut VUT Akademický rok: **2020/2021**

Student: **Ing. Marian Márik**

Doktorský studijní program: **Pokročilé materiály a nanovědy**

Studijní odbor: **Pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie**

Vedoucí disertační práce: **doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D.**

Oponent disertační práce: **prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.**

Název pojednání práce: **Nové nanoprvky pro elektroniku – příprava a charakterizace**

Aktuálnost tématu disertační práce:

Předložená práce řeší aktuální problematiku technologie výroby samouspořádaných nanostruktur s využitím v perspektivních elektronických strukturách. K řešení jsou využívány dostupné technologie na pracovišti, cílem je získání nových vědeckých poznatků.

Problematika řešená v práci je aktuální z celosvětového pohledu, zvolené téma má disertabilní charakter a plně odpovídá doktorskému studijnímu programu „Pokročilé materiály a nanovědy“ se studijním oborem „Pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie“. Disertační práce obsahuje nové a původní vědecké výsledky.

Splnění stanovených cílů:

Dílčí cíle práce jsou stručně definovány ve 3 bodech na str. 32 a z předložených výsledků v kapitole 3 vyplývá, že byly splněny. Jedná se o následující cíle práce:

- Příprava samouspořádané nosné matice AAO (Anodic Alumina Oxide) s narostlými nanosloupky TiO_2 a realizace elektrických kontaktů pro další měření.
- Zkoumání funkčního materiálu a strukturální analýza nanosloupků narostlých za různých podmínek.
- Elektrická charakterizace realizovaných vzorků, vyhodnocení dosaženého odporového spínacího jevu.

Postup řešení problému a výsledky disertace:

Postup řešení problému a metody zpracování

Jedná se o typickou technologickou práci zabývající se oblastí nanotechnologií a řešící možnosti využití dostupných technologií pracoviště pro získání nových poznatků v oblasti technologií výroby nanostruktur. Pro řešení práce byly využity známé metody vědecké práce (analýza současného stavu, návrh řešení, technologická realizace a experimentální ověření funkčních vzorků). Pro řešení práce bylo využíváno přístrojové a technologické vybavení laboratoří CEITEC VUT v Brně. Metody práce byly podpořeny studiem literatury, v práci jsou uvedeny odkazy na seznam 82 literárních zdrojů. V tomto seznamu jsou uvedeny i 2 vlastní publikace doktoranda. V práci bylo provedeno mnoho experimentů, vzorky byly připraveny anodickou oxidací, ke strukturální i materiální charakterizaci byly použity techniky SEM, TEM a EDX. Elektrická charakterizace se zaměřila na odporové spínací vlastnosti struktur, diodové charakteristiky a charakteristiky dioda s kapacitou.

Výsledky disertační práce a nové poznatky

Výsledky a přínosy disertační práce jsou popsány v kapitole 3, která tvoří jádro práce a shrnutí v kapitole 4 (Závěru). Hlavní dílčí přínosy práce v souladu se stanovenými cíli lze definovat jako:

- Nové poznatky z přípravy samouspořádané nosné matice AAO (Anodic Alumina Oxide) s narostlými nanosloupky TiO_2 , porozumění procesu růstu struktur.
- Nové poznatky získané zkoumáním funkčního materiálu a strukturální analýzou nanosloupků narostlých za různých podmínek.
- Nové poznatky získané elektrickou charakterizací realizovaných struktur o odporovém spínacím jevu.

Výroba vysoce samouspořádaných nanosloupkových polí s různými strukturami přinesla nové poznatky v technologických možnostech, ukázala možné oblasti výzkumu od realizace až po charakterizaci. Též zkoumání vlivů vlastností žíhání přinesly nové poznatky. Elektrická charakterizace umožnila detekovat odporové spínací chování struktur.

Uvedené získané přínosy odpovídají stanoveným cílům. Získané nové poznatky byly ověřeny měřením realizovaných vzorků. Práce přináší nové původní poznatky, práce je přiměřená z hlediska obsažených informací.

Negativně hodnotím, že doktorand neprovedl přehledné porovnání dosažených výsledků s výsledky uváděnými v literatuře, a že v závěru nezdůraznil vlastní vědecké přínosy práce.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru:

Práce přináší nové poznatky v oblasti základního výzkumu, kde výsledky náleží do skupiny prací s budoucím uplatněním v praxi.

Dosažené poznatky se uplatní při návrhu a realizaci nových specializovaných nanostruktur s uplatněním v elektronice. Odporové přepínání v zařízeních MOM (Metal Oxide Metal device) je aktuální téma výzkumu s širokými možnostmi uplatnění v mnoha oblastech (např. počítačové systémy, systémy s umělou inteligencí, analogová a digitální elektronika apod.).

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Předložená práce je zaměřena do oblasti výzkumu nových technologií pro realizaci nanostruktur. Jedná se o práci typicky z technologické oblasti s velkým množstvím laboratorních experimentů a naměřených hodnot vynášených do grafů. Práce obsahuje realizaci vzorků a následně jejich charakterizaci.

Autor při zpracování tématu disertační práce prostudoval relativně velké množství odborné literatury, v práci je uvedeno 82 odkazů. V seznamu odkazů je pouze 2 odkazy na vlastní publikace, přičemž v seznamu vlastních publikací je uvedeno celkem 5 publikací se spoluautorstvím a 2 konferenční příspěvky s neúplnou citací. Je nutné pochválit za důsledné zařazení odkazů v textu, všechny namátkově kontrolované jsem v textu našel.

Práce má obvyklou strukturu pro disertační práci, po krátkém rozboru současné problematiky následuje stanovení cílů disertace (kap. 2) a dále v kap. 3 je celá práce věnována rozborům řešení stanovených cílů. Vyhodnocení vlastního přínosu autora je obtížné, protože informace zde splývají, je obtížné rozlišovat, co je autorem získáno vně a co sám autor realizoval, protože uvedené výsledky v publikacích jsou ve spolupráci několika autorů. Vyvstává tedy otázka, co je vlastním vědeckým přínosem práce, bude nutné jasné autorovo vyjádření se k této otázce při obhajobě práce. Kapitola 1 představuje obecný úvod do zkoumané problematiky, kapitola 2 formuluje hlavní cíle práce (str. 32), kapitola 3 představují jádro řešené problematiky, je věnována jednotlivým definovaným cílům práce a jejich řešení včetně prezentace dosažených výsledků, výsledky práce jsou shrnuty v kapitole 4, tj. Závěru.

Práce je psána přehlednou formou, i když zde zanikají informace, co bylo zkoumáno a realizováno autorem a co je kolektivní dílo, tj. co bylo realizováno jinými autory (vzhledem k tomu, že v práci jsou pouze 2 odkazy na vlastní publikace, obtížně lze toto určit). Práce je psána s řadou drobných formálních nedostatků uvedených v připomínkové části posudku. V práci postrádám seznam použitých symbolů včetně fyzikálních rozměrů. Kladně nelze hodnotit ani grafické provedení obrázků.

Výsledky práce jsou shrnuty v kapitole 4 (Závěr), kde autor shrnuje dosažené výsledky, avšak zde postrádám informace o konkrétních hlavních autorových vědeckých přínosech, kterých bylo při řešení disertační práce dosaženo. Práce je standardně doplněna seznamem použité literatury (uveden nestandardně v příloze), přehledem vlastních publikací, seznamem zkratk, seznam symbolů chybí, seznamem obrázků a tabulek.

Zda dizertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona:

Disertační práce podmínky uvedené v § 47 odst. 4*) zákona č. 111/1998 sb. o vysokých školách splňuje.

**) Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a obhajobou disertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.¹⁾*

Připomínky a dotazy:

Připomínky formálního charakteru:

- Chybí seznam použitých symbolů včetně fyzikálních rozměrů, seznam použitých zkratk v práci je uvedený.
- Číslo odkazů na literaturu v hranaté závorce v textu bývá zvykem psát bez teček.
- Desetinné čárky místo teček, např. Tab. 5, v textu na str. 82 apod.
- Obrázky nejsou velikostí vyvážené vůči textu, jejich grafická kvalita mohla být lepší.
- Nejednotnost v označování obrázků, označení dílčích obrázků nekoreluje s označením v názvu obrázku, v různých obrázcích označovány různě, např. s tečkami, bez teček, se závorkami, bez závorek, s velkými písmeny, s malými písmeny apod. Jedná se o obrázky Fig.1.3., Fig.1.8., Fig.1.11., Fig.3.9., Fig.3.21., Fig.3.22., Fig.3.24., Fig.3.21., Fig.3.30., Fig.3.31., Fig.3.33.
- Dílčí obrázky nejsou označeny, v názvu obrázku jsou ale na ně odkazy, nelze určit, o který dílčí obrázek se jedná., např. Fig.3.9., Fig.3.24., Fig.3.24., Fig.3.26., Fig.3.27., Fig.3.36., Fig.3.37.
- Číslo a fyzikální rozměr psány nejednotně v celé práci v textu i tabulkách, tj. s mezerou nebo bez mezery, např. str.15/100 m, 3 V, ale Table 1/ 1ms, 10ms atd.
- Chybné zápisy v názvu obrázků, např. str.21/poslední odstavec/Fig. 1.9a., Fig. 1.9.b. V obrázku označeno kulatými závorkami.
- Rozměr teploty v °K, °C, tj. špatné označení rozměru teploty a dále je lepší v celé práci používat jenom jeden fyzikální rozměr, str. 22.
- Neošetřené konce řádků, např. str.27/3.odstavec shora/odskočený horní index na další řádek.
- Fyzikální rozměry nejsou uvedeny v závorkách, např. Fig.3.2., Fig.3.6., Fig.3.13., Fig.3.25., Fig.3.34., Fig.3.36., Fig.3.37., Fig.3.38., Fig.3.39., Fig.3.40., Fig.3.41., Fig.3.42., Fig.3.43.
- Za větou s názvem obrázku chybí tečka, Fig.3.12., Fig.3.5.
- V textu uvedeno v závorce 2x stejné označení obrázku, str.44 (Figure 3.12. Figure 3.12.) a str. 62 (Figure 3.27. Figure 3.27.).
- V textu chybí odkaz na Fig. 3.28.

¹⁾ § 10 zákona č. 35/1965 Sb., o dílech literárních, vědeckých a uměleckých (autorský zákon).

- Chybně zapsané indexy, např. str. 50, str. 55.
- Písmeno u použité místo řeckého μ .

Dotazy:

- 1) V hodnocení přínosu práce v kapitole Závěr je uvedeno pouze hodnocení prováděných aktivit práce, avšak v celé práci nikde nejsou zformulovány dosažené původní myšlenky, tj. vědecké výstupy práce. Prosím o stručnou informaci, které vědecké přínosy jsou původní, kterých si doktorand nejvíce cení a proč je považuje za největší vědecký přínos řešené práce.
- 2) V textu zaniká podíl autora na předložených výsledcích (vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o dílčí činnost v rámci vývoje komplexního problému). Prosím o definování vlastních přínosů doktoranda na výsledcích uvedených jako výstupy práce (články s více autory).
- 3) Dlouhodobá stabilita vlastností vzorků struktur nebyla řešena. Prosím o názor na dlouhodobou stabilitu vlastností realizovaných vzorků.
- 4) Projevuje se změna teploty na elektrických vlastnostech realizovaných vzorků?
- 5) Počítá se s dalším návazným výzkumem a využitím dosažených výsledků práce, popř. jak a kde?
- 6) Jak je možné výsledky a myšlenky uvedené v práci dále rozvíjet?

Celkové zhodnocení disertační práce:

Disertační práci Ing. Mariana Márika **doporučuji** k obhajobě pro udělení akademického titulu “doktor” (Ph.D.).

V Lánech, dne 4.8.2021

.....

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.