

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: Středoevropský technologický institut VUT

Akademický rok: **2020/2021**

Student (ka): **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: **doc. RNDr. Petr Mikulík, Ph.D.**

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

Aktuálnost tématu disertační práce:

Disertační práce ing. Mariana Maríka se věnuje přípravě a charakterizaci vrstev a (nano)struktur pro odporové spínání (resistive switching). Toto téma je aktuální s možnými aplikacemi pro přípravu elektrických součástek – memristorů. Principem funkčnosti memristorů je silně nelineární závislost voltampérové charakteristiky, čehož se dosahuje přerozdělením náboje na rozhraních vrstev, podobně jako je tomu například u diod. Proto byly deponované hliníkové a titanové vrstvy strukturovány anodickou oxidací, čímž došlo k vyleptání vrstev a vzniku různě vysokých tyčinek (pilířů) s nanometrovým půdorysem. Po kontaktování struktur byly změřeny a interpretovány jejich elektrické vlastnosti.

Splnění stanovených cílů:

Cíle disertační práce byly formulovány v půlstránkové druhé kapitole práce (ač by cíle práce čtenář očekával již v úvodní kapitole). Byla vypracována metoda pro anodickou oxidaci, která vedla ke vzniku strukturovaného substrátu, na kterém se zdařila příprava TiO_2 nanosloupců. U těchto vzorků byla provedena strukturní charakterizace mikroskopickými (optická i elektronová mikroskopie) metodami. Po kontaktování za pomoci litografického tvarování kontaktů byla provedena elektrická měření voltampérových charakteristik a diskutovány odporové a přepínací vlastnosti vzorků. Resitivní spínací chování bylo u vzorků potvrzeno. Uskutečněná experimentální práce a sepsaná disertační práce prokazuje splnění všech tří dílčích stanovených cílů.

Postup řešení problému a výsledky disertace:

Disertační práce byla realizována ve skupině LabSensNano pod vedením doc. Jaromíra Hubálka. Tato skupina má zkušenosti s přípravou tohoto typu vzorků a charakterizace vzorků mikroskopickými (včetně SEM, TEM a EDX) i elektrickými metodami a kromě vlastního vybavení má i přístup k zařízením v centru CEITEC VUT. Vypracovaný postup jedнокrokové a dvoukrokové anodické oxidace hliníku a titanu a několika typů žíhání vedl k úspěšné přípravě vzorků požadovaného typu a jejich porovnání, a k analýze morfologie dosažených struktur pórů a pilířů. Dobře zvládnutý byl též postup kontaktování vzorku vrstvou zlata, deponované magnetronovým naprášením, nebo elektrochemicky. Všechny tyto procesy vyžadují vyladění velkého množství parametrů a tedy zcela jistě i experimentální zručnost a trpělivost. Elektronová mikroskopie odhalila různé typy porézní a pilířové struktury vzorků včetně zjištění krystalické mikrostruktury. Po litografickém vytvoření kontaktů proběhlo elektrické měření vzorků. Měřením cyklických volt-ampérových charakteristik byly odhaleny silně nelineární závislosti, které byly následně diskutovány s ohledem na pozorovanou strukturu vzorků, a z nich byly vybrány ty s odporovými přepínacími charakteristikami.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru:

Téma disertační práce je v oblasti základního výzkumu v oblasti mikrostruktur a nanostruktur pro hledání a optimalizaci součástí nového typu – memristorů, jejichž specifické elektrické vlastnosti by mohly najít uplatnění při použití v elektronice a záznamové technice. Publikovaný popis a elektrická charakterizace hliníkových a titanových struktur vzniklých anodickou oxidací by mohly najít uplatnění v komunitě věnující se této problematice.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Disertační práce je psána anglicky, má 97 stran textu. Jazyková úroveň je průměrná, na práci je bohužel patrné, že byla psána v časové tísní, protože obsahuje značné množství překlepů, které by snadno opravil běžný čtenář či alespoň korektor pravopisu. Pro oponenta z toho též plynou pochyby, zdali práce neobsahuje další chyby či nepřesnosti i po odborné stránce, které by pečlivá příprava a diskuse se školitelem odhalily, zatímco oponent tyto skutečnosti odhalit nemůže. Grafy jsou vytištěny v pořádku, zatímco u některých obrázků by čtenář uvítal detailnější popis toho, co je vidět (viz připomínky níže).

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

Doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a sepsaná práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru. Disertační práce má návaznost na původní a uveřejněné výsledky a publikační činnost autora a kolektivu domovské laboratoře.

Připomínky a dotazy:

Z připomínek k práci k diskusi při obhajobě bych vybral následující:

1. V tabulce 1. nejsou vysvětleny zkratky T, R, D, C.
2. Strana 33: Co je to „undesirable layer thickness“ a proč má jednotku v Å/s?
3. Obr. 3.16: Bylo by vhodné popsat řádně jednotlivé vrstvy, které jsou na řezu vzorkem vidět.
4. Obr. 3.27: Není tento obrázek převrácený (ve srovnání s ostatními řezy vzorkem)?
5. Str. 69 – Quotation 1: V textu vloženém z citovaného článku se používá označení vzorků, které se jinde v disertaci nevyskytuje. Jaké máte zavedené označování vzorků?
6. Barevná číslovaná tabulka 6 za kapitolou Závěr přehledně shrnuje vyrobené struktury. Na tabulku však z textu nevede žádný odkaz. Jak by vypadal příslušný text, který by se měl do kapitoly Závěr dopsat? Zdá se mi, že by se sem hodil text popisující barvy v černobílé tabulce 2 na straně 33 a odkaz na tuto tabulku z úvodu experimentální části.

Celkové zhodnocení disertační práce:

Předložená disertační práce ing. Mariana Márika shrnuje jeho činnost během doktorského studia, která byla převážně experimentální a při níž využil různé metody přípravy a charakterizace vzorků.

Ing. Marian Márik se během doktorského studia věnoval převážně experimentální práci ve výše diskutované přípravě a charakterizaci vzorků, při níž dosáhl zajímavých výsledků, které též byly publikovány. Předložená sepsaná disertační práce však zřejmě utrpěla tím, že byla sepsána v časové tísní až několik let po opuštění pracoviště, čímž nedošlo k řádnému posouzení a diskotování na pracovišti školitele, které je pro kvalitní disertační práci zcela nezbytné. Teze přiložené k disertační práci jsou poněkud rozsáhlé, protože nevznikly úpravou hlavního textu, ale obsahují kopii některých kapitol.

Disertační práci doporučuji k obhajobě pro udělení akademického titulu „doktor“ (Ph.D.).

V Brně dne 26. 8. 2021

.....

doc. RNDr. Petr Mikulík, Ph.D.