

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: Středoevropský technologický institut VUT

Akademický rok: **2021/2022**

Student: **Ing. Tomáš Pejchal**

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

Studijní odbor: **Pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie**

Vedoucí disertační práce: **doc. Ing. Miroslav Kolíbal, Ph.D.**

Oponent disertační práce: **doc. RNDr. Petr Mikulík, Ph.D.**

Název disertační práce: **Vysoce dopovaná Ge a ZnO nanovlákná: Růst, charakterizace a analýza úrovně dopování**

Aktuálnost tématu disertační práce:

Disertační práce ing. Tomáše Pejchala se věnuje růstu, dopování a charakterizaci nanodráťů materiálů Ge a ZnO. Toto téma je aktuální, studium těchto povlodičů s pásovou strukturou řízenou syćením galiem přináší nové poznatky pro aplikaci nanostruktur v oblasti mikroelektroniky. Tato práce z oblasti materiálového výzkumu je zasazena do kontextu podrobné charakterizace autorem vyrobených nanostruktur různorodými metodami mikroskopie a spektroskopie, a též i transportních měření, a to na špičkových přístrojích. Spojením metod růstu a charakterizace s podrobnou diskusí tak vznikla práce, která podstatně přispívá k aktuálním znalostem v oblasti výzkumu polovodičových nanovláken s vysokým dopováním.

Splnění stanovených cílů:

Cíle disertační práce byly jednoznačně formulovány v úvodu práce. První dva cíle se týkají přípravy a charakterizace čistých germaniových nanodráťů rostlých za pomoci zlatých nanočástic a dotovaných germaniových nanodráťů syćených při růstu z Au-Ga nanočástic. Třetí cíl, v práci nejrozsáhlejší, se týká přípravy a charakterizace nanodráťů ZnO dotovaných galiem. Uskutečněná experimentální práce, dokumentovaná pečlivým a detailním popisem růstu, přípravy a charakterizace struktur v sepsané disertační práci a též i v publikační a konferenční činnosti, prokazuje splnění všech tří dílčích cílů.

Postup řešení problému a výsledky disertace:

Disertační práce byla realizována na CEITECu VUT ve skupině pod vedením doc. Miroslava Kolíbalu. Tato skupina má dlouholeté zkušenosti s přípravou nanostruktur a s přístupem k modernímu vybavení výzkumné infrastruktury CEITEC Nano, což dalo dobré základy pro realizaci studované problematiky. Růstové aparatury pro metody MBE a CVD umožnily přípravu požadovaných Ge i ZnO nanostruktur s různou morfologií, dopováním a žiháním v různých atmosférách. Vzorky byly následně zkoumány metodami elektronové mikroskopie a spektroskopie – SEM, TEM, STEM EDS, XPS, AES, Ramanova spektroskopie, fotoluminiscence, což umožnilo charakterizovat strukturu v objemu i distribuci prvků a kyslíkových vakancí na povrchu i těsně pod ním. Pro kontaktování byla použita elektronová litografie, což umožnilo provádět měření V-A charakteristik jednoho nanodrátu. Autor si dává záležet na detailním popisu všech získaných údajů, na okomentování grafů a snímků z elektronové mikroskopie, a pečlivě sepsuje a analyzuje získané poznatky.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru:

Přípravě polovodičových nanodrátů je věnována pozornost již více než desetiletí, a toto téma je stále živé, zejména vzhledem k různým možnostem přípravy těchto vzorků. Pro praktické aplikace jako mikroelektronických součástek je třeba řídit jejich pásovou strukturu, proto je nově nynější důraz věnován jejich dopování pro řízení typu vodivosti, koncentrace a distribuce dopantů. Přínosem pro praxi je též aplikace fyzikálních a chemických metod růstu pro přípravu vzorků doprovázená detailní analýzou vytvořených nanostruktur špičkovými přístroji, čehož autor této práce efektivně využíval.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Disertační práce je psána anglicky, má 103 stran textu a obsahuje 157 citací. Typografická i jazyková úroveň je výborná, obrázky jsou zřetelné a správně popsané a adekvátně zařazené do toku textu.

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

Doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v oblasti materiálového výzkumu růstu a charakterizace nanostruktur 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:

K diskusi při obhajobě bych vybral následující otázky vycházející z předložené práce:

- 1 Str. 40. Jak je kvantifikováno rozdělení na „oxygen-vacancy-rich“ a „oxygen-vacancy-deficient“?
- 2 Na obr. 34 a 35 jsou detaily jednoho nanodrátu ZnO kontaktovaného pro transportní měření. Máte fotografii či schéma celkového uspořádání celého vzorku, na které by byly vidět celé kontakty? Kolik nanodrátů současně mohlo být na desce připraveno pro měření?
- 3 Str. 46. Z provedených V-A měření plyne, že degradace kontaktů nanodrátů omezuje jejich aplikační použití. Dochází v této oblasti k nějakému zlepšení?
- 4 Na obrázcích od str. 63 jsou zobrazovány nanodráty ZnO ve tvaru úzké špičky narostlé na hranolu. Na začátku disertační práce se popisuje růst struktur tvaru „rods“ a „spikes/needles“ nezávisle, zde ale narostla jedna struktura na druhé. Je tento růst záměrný a jak k němu dochází?
- 5 Práce studuje dotování a difúzi galia v 3D nanostrukturách ZnO. Bylo by možné toto srovnat s dotováním tenkých vrstev ZnO?

Celkové zhodnocení disertační práce:

Ing. Tomáš Pejchal během doktorského studia získal velmi dobré zkušenosti a výsledky v přípravě i analýze vlastností nanodrátů Ge a nanodrátů ZnO dopovaných galiem. Disertační práce splnila stanovené cíle a je zpracována na adekvátní odborné a jazykové úrovni, autor publikoval výsledky své práce, čímž prokazuje své předpoklady k samostatné tvořivé práci. Z výše uvedených důvodů souhlasím s udělením akademického titulu Ph.D.

V Brně dne 14. 1. 2022

.....
doc. RNDr. Petr Mikulík, Ph.D.