

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: Středoevropský technologický institut VUT

Akademický rok: **2021/2022**

Student (ka): **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: Ing. Jan Grym, Ph.D.

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

Aktuálnost tématu disertační práce:

Téma disertační práce je vysoce aktuální. Je předpoklad, že jednodimenzionální polovodičové nanostruktury ve formě nanotyček či nanovláken/nanodráťů ve vybraných aplikacích nahradí stávající tenkovrstvé epitaxní struktury.

Splnění stanovených cílů:

Cíle práce byly bezpochyby naplněny. Práce je velmi rozsáhlá, zahrnuje jak problematiku růstu polovodičových nanostruktur, tak jejich pokročilou charakterizaci. Výsledky práce byly publikovány ve dvou článcích, z nichž zejména článek publikovaný v Nano Letters lze považovat za excelentní. Autor deklaruje brzké zaslání dalšího článku do recenzního řízení; data prezentovaná v disertační práci dávají předpoklad, že se bude opět jednat o kvalitní publikaci.

Postup řešení problému a výsledky disertace:

Práce je velmi obsáhlá, zabývá se jak růstem polovodičových nanostruktur, tak jejich charakterizací řadou experimentálních technik. Autor spolupracoval s řadou kolegů v rámci instituce a se zahraničním pracovištěm, které připravilo nanostruktury ZnO. Prokázal schopnost interpretovat velké množství dat z rozdílných oborů, mnohá měření prováděl osobně. Zatímco problematika Ge nanovláken byla na pracovišti již rozvinutá, v oblasti nanostruktur ZnO se stal průkopníkem a připravil kvalitní základy pro další rozvoj problematiky na školícím pracovišti. Za klíčové výstupy práce považují zejména: (a) vysvětlení mechanismů růstu nanovláken Ge metodou VLS, kdy je detailně diskutován vliv adsorpce atomárního vodíku a šíření katalyzátoru (zlata) na stěny nanovláken na jejich morfologii; (b) vývoj metody pro dosažení vysokého stupně dopování nanodráťů ZnO difúzí galia.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru:

Práce přináší řadu nových poznatků v oblasti kontroly morfologie polovodičových nanostruktur a jejich dopování. Jedná se o klíčová témata pro uplatnění těchto nanostruktur v senzorických a optoelektronických aplikacích.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

K formální úpravě práce nemám připomínky. Práce je napsána velmi dobrou angličtinou, je vysoce čtivá, obsahuje jen malé množství překlepů a neobratných formulací. Autor se skvěle zhostil nelehkého úkolu popsat velký počet experimentů a vzorků, které procházely mnoha technologickými procesy a byly v různých fázích charakterizovány řadou pokročilých technik. Popisky obrázku jsou rozsáhlé a umožňují bez nutnosti procházet celý text základní orientaci ve studované problematice. Některé pasáže shrnující současný stav poznání by mohly sloužit jako podklad pro napsání „review“. Práce obsahuje velké množství referencí, které jsou vysoce relevantní. Je zřejmé, že studiu literatury autor věnoval velké úsilí a poznatky široce využil při interpretaci naměřených dat. Oceňuji krátké výstižné shrnutí závěrů na konci každého logického celku. Ke zvážení je obsáhlejší obsah disertační práce, který by usnadnil orientaci v logických celcích a uvedení citací u některých zásadních tvrzení v úvodu. Není zavedena zkratka APT, Atom Probe Tomography.

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

(4) 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⁾

Disertační práce splňuje podmínky příslušného zákona.

Připomínky a dotazy:

1. Tvrzení na straně 5 je nepřesné: „This is feasible once the critical concentration (also called supersaturation) is reached.“
2. Na obrázku 24 jsou zobrazeny charakteristiky ZnO nanodráty v konfiguraci tranzistoru řízeného polem (FET), v samotném textu o nich není zmínka a není zřejmá relevance k experimentálním výsledkům, kde se FET konfigurace nepoužívá.
3. Jaké je vysvětlení nezávislosti rezistivity na rozměrech nanodráťů ZnO ze strany 29, když hned na následující straně je diskutován vliv okolního prostředí na povrchové obohacení/vyprázdňování, které by měly výrazně měnit zejména elektrické charakteristiky nanodráťů s malým průměrem?
4. Vzhledem k tomu, že se celá práce zabývá nanostrukturami, není z odstavce na straně 32 zřejmé, že se jedná o objemové krystaly ZnO a způsoby jejich přípravy, a nikoliv o nanostruktury.

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

5. Za jakých podmínek byly vzorky skladovány po dobu pěti týdnů (strana 40). V některých publikacích je zmiňována degradace nanostruktur ZnO. Phys. Chem. Chem. Phys., 2017, 19, 16406-16412
6. Měla depozice HfO₂ metodou ALD nějaký vliv na elektrická měření? Jaký byl důvod pro depozici kovového kontaktu s Ti/Cu/Au? Nejeví se jako vhodnější volba kontaktu Al/Au, kdy Al netvoří na ZnO Schottkyho bariéru? Může mít čištění v kyslíkové/argonové plasmě zásadní vliv na elektrické charakteristiky? (strana 43)
7. Pro Ramanovská měření navrhujete použít safírový substrát. Měl by tento substrát vliv na nukleaci a růst nanodrátů ZnO? Safír se používá pro epitaxní růst vrstev GaN a ZnO.
8. Co se rozumí větou „Thirdly, no difference between the nanowire sidewalls (non-polar {10 $\bar{1}$ 0} facets) and the top facet (polar (0001) orientation) was observed“ na straně 60?
9. Co se týče dekompozice nanodrátů ZnO, můžete se pokusit nastínit vliv jejich povrchové morfologie (hladká vs. hrubá krystalografická plocha) a velikosti nanodrátů? Jaká je předpokládaná velikost nanodrátů pro zmiňované aplikace v biosenzorech?
10. Z obrázku 29 se zdá, že některé jehlicovité struktury rostou z nižšího patra tyček ZnO. Jehlicovité útvary u nanostruktur ZnO vznikají typicky při vyšších růstových rychlostech a vyšších přesyceních. Je možné, že v průběhu růstu dochází k výrazným změnám přesycení a následně ke změně mechanismu růstu?

Celkové zhodnocení disertační práce:

Tomáš Pejchal jednoznačně prokázal schopnost samostatné vědecké práce. Jeho disertační práci hodnotím jako vynikající a doporučuji ji k obhajobě pro udělení akademického titulu “doktor” (Ph.D.).

V Praze dne 6. ledna 2022

.....
Ing. Jan Grym, Ph.D.