

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: **Středoevropský technologický institut VUT**
Akademický rok: **2018/2019**
Student: **Ing. Imrich Gablech**
Doktorský studijní program: **Pokročilé materiály a nanovědy**
Studijní odbor: **Pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie**
Vedoucí disertační práce: **Ing. Jan Pekárek, Ph.D.**
Oponent disertační práce: **prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.**

Název pojednání práce: **CMOS kompatibilní piezoelektrický rezonátor s FET strukturou pro řízení vlastností grafenové monovrstvy**

Aktuálnost tématu disertační práce:

Výzkum a vývoj nových struktur na bázi grafenu, navíc v kombinaci se standardními MEMS technologiemi, je v současné době velmi aktuální. Tato kombinace otevírá nové možnosti při výzkumu vysoce citlivých a rychlých molekulárních senzorů v důsledku odlišného přístupu k detekci adsorbovaných molekul.

Disertační práce je zaměřena na výzkum CMOS kompatibilních a biokompatibilních kmitočtově laděných modulovaných piezoelektrických MEMS rezonátorů včetně struktury FET pro využití monovrstvy grafenu. V práci je řešena vysoce aktuální problematika, zvolené téma má disertační charakter.

Splnění stanovených cílů:

Na str. 15 je jedna strana věnovaná cílům disertační práce. Je zde popisováno zaměření práce, realizace struktury, principy, technologický postup a materiály. Vědecké cíle, které by měly tvořit jádro práce, zde chybí. Práce má velmi dobrou odbornou úroveň, cíle práce je však nutné „vyčíst“ z textu jednotlivých kapitol, kde jsou formulované závěry řešení daného problému. Na základě těchto závěrů lze konstatovat, že práce obsahuje původní disertabilní myšlenky posouvající úroveň poznání v daném oboru.

Postup řešení problému a výsledky disertace:

Práce je zaměřena na výzkum nové struktury pro charakterizaci fyzikálních vlastností grafenu. Práce řeší propojení výzkumu MEMS piezoelektrického rezonátoru s Hall Bar/FET strukturou. Disertant zvolil dva přístupy k výzkumu, mechanický založený na relativní deformaci vytvořené rezonátorem s grafenovou monovrstvou a elektrický založený na řízení fyzikálních vlastností grafenu elektrickým polem FET struktury.

Předložená práce je zaměřena na návrh a výrobu struktury umožňující charakterizaci grafénových monovrstvových vlastností za přesně stanovených podmínek. Struktura je realizována na Si substrátu s technologií kompatibilní s CMOS.

V práci je věnována pozornost především technologickým procesům, ale i simulacím a měření. Práci lze hodnotit jako typicky technologickou s velkým množstvím technologických experimentů a analýzy experimentálně získaných výsledků, které však nejsou dostatečně v práci porovnávány s výsledky dostupnými v literatuře.

Výsledky práce jsou shrnuty v jednotlivých kapitolách komentovaných 11 autorských článků pod názvem „Conclusion on the article „ a dále v závěru práce na str. 137, kde autor rekapituluje dosažené výsledky. V této kapitole postrádám informace o konkrétních hlavních vědeckých přínosech, kterých bylo při řešení disertační práce dosaženo. Je škoda, že doktorand na konci práce neprovedl porovnání svých dosažených výsledků s výsledky uváděnými v literatuře.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru:

Vývoj nových materiálů (grafen), mikro a nano struktur, realizačních technologií lze považovat za aktuální přístup z hlediska současného stavu vědy. Práce je zaměřena na výzkum nové struktury umožňující charakterizaci fyzikálních vlastností grafenu, práce spojuje MEMS struktury s grafénovou strukturou. V práci je řešena aktuální problematika vycházející z nejnovějších poznatků o materiálech, nanotechnologiích, mikro a nano strukturách. Práce se dotýká realizace struktur v souladu s požadavky na bio- a CMOS kompatibilitu. Realizované MEMS rezonátory s monovrstvou grafenu jsou využitelné v mnoha oblastech pro senzory s molekulární detekcí.

Práce řeší přibližování teoretické sféry výzkumu k praxi k možnému následnému zpracování pro komerční sféru. Dosažené poznatky z řešení práce pomáhají rozvíjet vědní obor, v práci byly dosaženy další technologické přínosy s využitím tuzemských technologií.

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň:

Předložená disertační práce je vytvořená formou komentovaného souboru 8 článků v impaktovaných časopisech a 3 konferenčních příspěvků vytvořených autorem. U většiny publikací je autor v kolektivu autorů vedený na prvním místě. Kvalitu práce lze hodnotit též i podle impaktovaných publikací, které jsou recenzovány více posuzovateli.

Autor při zpracování tématu disertační práce se odkazuje na 65 titulů odborných publikací, včetně autorových, kladně hodnotím, že autor do těchto odkazů též zařadil i 9 svých publikací.

Práce má logickou strukturu, informace uváděné v textu na sebe logicky navazují. Kladně hodnotím, že autor u každé komentované kapitoly zařadil podkapitulu „Contribution“, kde popisuje svůj pracovní podíl na dosažených výsledcích příslušné publikace, avšak z obsahu práce není zcela jasné, jaké jsou vlastním vědecké přínosy autora práce, předpokládám autorovo vyjádření se k této otázce při obhajobě práce.

Práce je psána přehlednou formou s logickými návaznostmi, s velmi dobrou grafickou úpravou (obrázky a grafy mají dobrou jednotnou grafickou úpravu), minimum chyb a překlepů uvedených v připomínkové části posudku. V práci autor používá standardní symboliku. Práce je standardně

doplněna seznamem použité literatury včetně odkazů na vlastní publikace, seznamem obrázků, seznamem vlastních publikací a stručným CV autora. Seznam zkratk a symbolů však v práci chybí.

Zda disertační 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 uvedené v § 47 odst. 4 zákona. Práce obsahuje původní výsledky uveřejněné v renomovaných impaktovaných časopisech.

Připomínky a dotazy:

Formální připomínky

- Str. 75. Chybí číslování rovnice.
- Str. 79/Table 1. Fyzikální rozměry jsou uvedené v hranatých závorkách, v ostatním textu jsou používány závorky kulaté.
- Str. 136/4. řádek pod obr. 38. Chybí mezera mezi slovem „of“ a „30 V“.
- Chybí seznam zkratk a symbolů použitých v práci.
- Cíle disertační práce na str. 15 jsou stanoveny nedostatečně, chybí definování vědeckých cílů. Obtížná konfrontace dosažených výsledků se stanovenými cíli práce.
- Není provedeno porovnání vlastních dosažených výsledků s výsledky uváděnými v literatuře.

Dotazy

- V závěru práce je uveden přehled, co se v práci řešilo, ale vědecké přínosy práce zde nikde nejsou zvýrazněné. Prosím o informaci, které výsledky práce jsou původní a kterých si doktorand nejvíce cení a proč.
- Kde se výsledky práce konkrétně uplatní a kdy?
- Uveďte konkrétní příklad možné aplikace uvedených závěrů práce.
- Jak je možné výsledky a myšlenky uvedené v práci dále rozvíjet?

Celkové zhodnocení disertační práce:

Z předložených materiálů a výsledků práce vyplývá, že doktorand se uvedenou problematikou podrobně zabývá několik let, a že v ní dosáhl jistých původních výsledků. Shrnutím všech dostupných faktů a poznání o odborných aktivitách a schopnostech doktoranda lze konstatovat, že má všechny

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

předpoklady pro další odborný růst v dané oblasti, a že se jedná o pracovníka s odpovídající vědeckou erudicí.

Výsledky uvedené v práci považuji za naplňující podstatu disertační práce, uvedené výtky jsou v porovnání s obsahem práce nepodstatné. Předložená disertační práce je na velmi dobré úrovni, výsledky v ní uvedené hodnotím pozitivně. Disertant prokázal v práci schopnosti samostatné vědecké práce a orientaci v dané problematice. Publikované výsledky svědčí o uznávání výsledků práce vědeckou komunitou, dosažené výsledky předurčují další úspěšný rozvoj osobnosti disertanta. Posuzovaná disertační práce splňuje hlediska obecně uznávaných požadavků na disertační práci.

Disertační práci Ing. Imricha Gablecha doporučuji k obhajobě pro udělení akademického titulu "doktor" (Ph.D.).

V Praze, dne 28.9.2018

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.