

Oponentský posudek na disertační práci

Název:	Senzory amoniaku a oxidu dusičitého na bázi modifikovaných uhlíkových nanotrubic
Autor disertační práce:	Ing. Jiří Štulík
Obor doktorského studia:	Elektronika
Studijní program:	Elektrotechnika a informatika
Vysoká škola:	FEL ZČU v Plzni

Při posuzování disertační práce jsem vycházel ze skutečností uvedených v předložené disertační práci, aktuálnosti tématu, způsobu a metod řešení, dosažených výsledků, způsobu zpracování práce a dalších získaných informací.

a) Význam disertační práce pro obor (aktuálnost zvoleného tématu)

Problematiku uvedenou v předložené disertační práci s názvem *"Senzory amoniaku a oxidu dusičitého na bázi modifikovaných uhlíkových nanotrubic"* lze považovat za aktuální a v současné době rozvíjenou zejména ve spojení s rozvojem nových technologických přístupů v sensorových technologiích, snižování technologických nákladů a zvyšování spolehlivosti elektronických systémů a zlepšování jejich parametrů. Jedná se o oblast náležející do vývoje nových senzorů pro široké aplikace, významné je, že se jedná o postupy dostupné pro aplikace i v českých podmínkách. Zlepšování parametrů, zlepšování technologických postupů, využívání aktuálních poznatků z oblasti nanotechnologií, snižování nákladů na technologické postupy a zvyšování spolehlivosti je předmětem výzkumu a vývoje předních světových výrobců.

b) Zvolené postupy řešení problému, použité metody zpracování

Předložená práce je typicky zaměřena do technologické oblasti, tj. vývoje nových typů součástek, zlepšování jejich vlastností, uplatňování a zdokonalování technologických postupů pro jejich realizaci. Pro její řešení disertant využívá standardní metody laboratorní práce vyznačující se velkou náročností na pečlivost a opakovatelnost operací a především náročností na čas strávený při realizaci dílčích problémů přímo v laboratoři. Pro ověření teoretických předpokladů používá měření vlastností navržených a realizovaných materiálových struktur pro senzory plynů. V práci jsou používány dostupné laboratorní technologické přístupy a metody.

Práce je zaměřena na technologickou problematiku senzorů určených pro měření koncentrací toxických plynů, s tenkými odporovými vrstvami na bázi uhlíkových nanotrubic modifikovaných jinými organickými materiály. Jádrem práce je zaměřeno na vývoj sensorového elementu s vylepšenými základními parametry s využitím řady experimentů pro ověření odezev modifikovaných CNT struktur. Práce vznikala v návaznosti na projekt UNAS (Senzory plynů na bázi uhlíkových nanostruktur), některé testy a měření byly prováděny ve spolupráci s ostatními partnery projektu.

Splnění sledovaných cílů disertační práce

Disertační práce se zabývá nalezením vhodných modifikací známých odporových struktur senzorů toxických plynů (NO_2 , NH_3) na bázi nových organických nanomateriálů modifikovaných uhlíkovými nanotrubicemi typu CWCNT a MWCNT.

Cíle práce jsou definovány na straně 15 ve znění: „1. Stanovení metody pro vytvoření homogenní disperze z uhlíkových nanotrubic a vhodná volba depoziční techniky této disperze, 2. Zlepšení důležitých vlastností senzoru pomocí modifikace jinými organickými polovodivými materiály, 3. Zajištění opakovatelné odezvy senzoru na daný analyt). Uvedené vytýčené cíle práce byly splněny a jsou v disertační práci rekapitulovány spolu s přínosy práce na straně 81.

c) Výsledky disertační práce a nové poznatky

Podle stanovených cílů přinesla disertační práce nové poznatky v oblasti vývoje senzorů plynů s uplatněním CNT.

V rámci prvního cíle byly testovány možnosti mechanické dispergace uhlíkových nanotrubic v různých typech rozpouštědel a výsledkem bylo určení přesného postupu tohoto procesu směřujícího k přípravě homogenní a stabilní disperze. Součástí tohoto cíle je i testování vhodných depozičních technik zajišťujících tenké a rovnoměrné vrstvy. Druhý cíl lze zřejmě považovat za největší přínos práce, jedná se o modifikaci uhlíkových nanotrubic funkcionalizací a následným navázáním jiných organických materiálů pro zlepšení parametrů senzoru. Výsledkem třetího cíle bylo určení dvou metod pro zlepšení reprodukovatelnosti detekce plynů.

Cíle i dosažené výsledky byly konkrétně definovány a předloženy. Škoda, že v závěru práce chybí porovnání dosažených výsledků s výsledky uváděnými v odborné literatuře.

Původní konkrétní přínos disertanta (pro další rozvoj vědy)

Práce přinesla nové poznatky v oblasti zlepšování parametrů odporových senzorů plynů úpravou technologie výroby s využitím poznatků z nanotechnologií, konkrétně uplatněním nanotrubic ve struktuře senzoru. Za podstatné přínosy k dalšímu rozvoji vědy lze v práci považovat především:

- Určení přesného postupu mechanické dispergace uhlíkových nanotrubic směřujícího k přípravě homogenní a stabilní disperze.
- Zlepšení parametrů senzorů plynů (dynamika, stabilita, citlivost) modifikací uhlíkovými nanotrubicovými funkcionalizacemi a následným navázáním jiných organických materiálů.
- Určení dvou metod pro významné urychlení desorpce plynů při pokojové teplotě, tj. významné zlepšení reprodukovatelnosti měření koncentrace plynů.

d) Vyjádření k systematickosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Práce napsaná na 87 stranách včetně přehledu použitých literárních zdrojů. Práce je rozdělena na dvě velké části. První část se věnuje popisným způsobem stávajícímu stavu problematiky, tj. obecné teorii, vlastnostem a obecným principům, senzorů, popisu uhlíkových nanoalotropických modifikací, vlastnostem uhlíkových nanotrubic.

Druhá část práce se věnuje vývoji a přípravě sensorového elementu, technologickým procesům pro vytvoření tenkých homogenních vrstev, disperzi, depozici uhlíkových nanotrubic, popisu modifikací uhlíkových nanotrubic s jinými organickými materiály vedoucí ke zlepšení parametrů. V této části jsou popsány experimenty pro prokázání vlivu modifikací uhlíkových nanotrubic při měření koncentrací nebezpečných plynů včetně jejich desorpce z povrchu trubic.

Práce je doprovázena 62 odkazy na použitou literaturu, z nichž pouze jeden z roku 2011 je autora disertace (odkaz [16]). Škoda, že autor nepoužil více odkazů na své publikace, zejména v částech s dosaženými výsledky. Za nedostatek považuji, že dosažené výsledky nejsou navázány na vlastní publikace autora a dále, že dosažené výsledky, a to i v závěru, nejsou dostatečně porovnány s výsledky uváděnými v literatuře.

Práce je psána přehledně a pečlivě s velmi dobrou češtinou (drobné nedostatky), myšlenky jsou systematicky a logicky uspořádány, práce má silně popisný charakter. V práci bohužel splývají informace použité z literatury a vlastní informace o řešení práce, jenom na některých místech autor zdůrazňuje informaci, že v této práci bylo měřeno, získáno apod.. Obrázky použité v práci mají jednotný grafický charakter, ale u řady z nich není jednotný použitý font a to zejména jeho velikost, symbolika u os grafů není u všech obrázků jednotná. Bohužel ani důsledné používání jednotek ze soustavy SI včetně správného zápisu není v práci dodrženo.

Práce je doplněna několika přílohami, ale bohužel v textu práce nejsou na ně odkazy, ani informace o nich nejsou upřesněné.

e) Vyjádření k publikacím disertanta

Doktorand v práci uvedl seznam vlastních vědeckých výstupů, 11 příspěvků ve sborníku, 1 kapitola v knize, 8 sytí ve sborníku ostatních publikací, 1 užitný vzor, 4 funkční vzorky. U 7 výsledků je uvedený jako vedoucí autor.

f) Dotazy a připomínky k disertační práci

Připomínky formálního charakteru:

- Seznam použitých symbolů a zkratk. Nepřehledně uspořádané, zkratky a symboly v jednom textu.
- Seznam použitých symbolů a zkratk. Chybí fyzikální rozměry u uvedených veličin.
- Zapisování fyzikálního rozměru veličiny. Zápisy v nevhodném tvaru, navíc v práci zápisy použity různě (správně i chybně). Např. str. 14. Chybný zápis ve tvaru $900 \text{ m}^2/\text{g}$, správně má být $900 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Další chybné zápisy na str. 14, 34, 36, 41, 48, 59, 71, 79. str. 54/obr. 6.10, str. 55/obr. 6.11 apod.
- Čeština. Např. slovo „senzitivity“ má český tvar „citlivost“, v textu použity oba výrazy, např. na str. 15 je „citlivost“.
- Čeština. Slovo „pík“ je použito na mnoha místech práce, české vyjádření je „vrchol“, apod.
- Čeština. Rozměry fyzikálních veličin odskočené na nový řádek, např. str. 54, 56, 59, 67, 79, 80 apod.
- Slovo „čidlo“. Zastaralý výraz (pochází z 50. let minulého století), v zahraniční literatuře se používá výraz „senzor“.
- Str. 71. Jak je správně česky, adsorpce (uvedeno v textu) nebo absorpce?
- Kladně hodnotím důsledné psaní fyzikálního rozměru odděleně od vlastního čísla.
- Obrázky. Grafika obrázků nejednotná, použity různě velké fonty k popisu obrázků, apod. např. str. 57/obr.6.13, obr. 6.14, str. 68/obr. 6.20 a obr. 6.21 mají výrazně různé velikosti fontů v popisu osy x, y.
- Str. 60/obr. 6.16 a obr. 6.17. Na pravé ose y chybí fyzikální rozměr u vynášené veličiny.
- Str. 62/Tab. 6.1. Tabulka náleží do přílohy, do textu náleží pouze tabulka s přehledem vlastností na str. 64.
- Str. 65/1. věta. „Příprava výše uvedeného materiálu je shrnuta v následujících krocích a postup znázorněn na obr. 6.19“. Na obr. 6.19/str. 67 jsou však uvedeny struktury. Zřejmě má být uvedený odkaz na obr. 6.18/str. 66.
- Str. 69/obr. 6.22. Na ose y chybí číselné hodnoty vynášené veličiny.
- Str. 71/rovnice (5), (6). V doplňujícím textu pod rovnicí nejsou správně uvedeny indexy r_a , r_d .
- Str. 72 / obr. 7.11., str. 73 / obr. 7.22. Popisy obrázků začínají malými písmeny, za čísla obrázků jsou tečky (u ostatních obrázků jsou velká písmena a bez teček).
- Str. 72 / obr. 7.11., str. 73 / obr. 7.22. Zřejmě špatně číslované obrázky, asi by mělo být označení obr. 7.1 a obr. 7.2.
- Str. 72 / obr. 7.11. Na obrázek není uvedený v textu odkaz a to ani na obr. 7.1.
- Str. 77 / řádek pod rovnicí (10). V zápisu výrazu $(8.62 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1})$ chybí znaky násobení, navíc je zde desetinná tečka místo čárky.
- Str. 77 / 3. řádek zdola. Str. 79 / 2. řádek zdola. Fyzikální rozměr uvedený jako 15 sekund má být 15 s.
- Str. 78. Chybí grafické oddělení textu od popisu obr. 7.6.
- Str. 35 / 3. řádek zdola/pod rovnicí (3). Výraz Δp se v rovnici (3) nevyskytuje, v rovnici je uvedený výraz $(p - p_0)$.
- Str. 44 / obr. 6.2. Na ose x je vynášena vzdálenost částic bez fyzikálního rozměru, osa x je označena zářkami, ale nejsou u nich uvedeny číselné hodnoty.

- Str. 54 / obr. 6.10, str. 55 / obr. 6.11. Některé fyzikální rozměry nejsou uvedeny v závorkách, ale jenom pod lomítkem.
- Str. 56 / obr. 6.12. Obrázek s anglickým popisem, ale je v něm slovo „pík“.
- V práci není vidět podíl doktoranda na dosažených výsledcích (publikace kolektivní).
- Za nedostatek považují, že dosažené výsledky nejsou navázány na vlastní publikace autora.
- V závěru práce postrádám porovnání dosažených původních vědeckých výsledků (přínosů) práce s informací uváděnými v literatuře, chybí konfrontace výsledků.

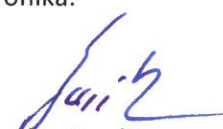
Dotazy věcného charakteru:

- Str. 71 / kap. 7.1., je zde konstatováno, že „Pro potřeby vyhřívání senzitivní vrstvy za účelem rychlejší adsorpce byl navržen nový typ substrátu.....“. Informace je uvedena s odkazem na literaturu [59] s autorem Heřmanský. Byla tato struktura navržena doktorandem v rámci práce nebo byla převzata?
- Jaká je po dokončení práce a získání poznatků technologická reprodukovatelnost výsledků?
- Z textu nelze plně posoudit podíl autora na výstupech práce, z textu práce a publikované literatury (u všech uvedených publikací autora jsou spoluautoři) vyplývá, že uvedená problematika by mohla být řešena kolektivně. Prosím o upřesnění podílu autora na výsledcích práce.
- Který původní vědecký přínos práce považuje doktorand za nejvýznamnější?
- Předpokládá se, že dosažené závěry se prakticky uplatní bezprostředně v dalším vývoji senzorů plynů, popř. při řešení nějakého projektu?

g) Závěr

Předložená práce představuje ucelené zpracování problematiky. V práci jsou naplněny všechny části požadované na práci tohoto typu, a proto ji hodnotím s dosaženými výsledky pozitivně. Doktorand prokázal v práci schopnosti samostatné vědecké práce a orientaci v dané problematice. Dosažené výsledky předurčují doktoranda k dalšímu úspěšnému rozvoji jeho osobnosti. Posuzovaná práce splňuje hlediska obecně uznávaných požadavků na disertační práci.

Doporučuji podle zákona č.111/1998 Sb. § 47 disertační práci k obhajobě pro udělení akademického titulu „*doktor*“ (ve zkratce Ph.D.) v doktorském studijním oboru Elektronika.


prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
oponent

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6
Tel.: 02-2435 2267, fax: 02-2431 0792,
e-mail: husak@fel.cvut.cz

v Praze dne 14. 1. 2017

Posudek disertační práce

Předkladatel disertační práce: Ing. Jiří Štulík

Název disertační práce:

Senzory amoniaku a oxidu dusičitého na bázi modifikovaných uhlíkových nanotrubic

Studijní obor: Elektronika

Školitel: Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.

Oponent: Ing. Lubomír Kubáč, Ph.D.

Práce má 90 stran a 3 přílohy na 24 stranách. Práce se zabývá konstrukcí a měřením senzorů plynů typu amoniak a oxidy dusíku. Cílem bylo navrhnout tyto senzory tak, aby aktivní vrstva sestávala s uhlíkových nanotrubic modifikovaných organickými látkami. Tento koncept byl navrhnout s ohledem na požadavek zvýšení selektivity a přesnosti detekce sledovaných plynů.

Cílem práce bylo navrhnout postup přípravy stabilní disperze uhlíkových nanotrubic tak, aby bylo možno tuto disperzi použít pro nanášení homogenní senzorické vrstvy, modifikovat povrch uhlíkových nanotrubic tak, aby se zvýšila selektivita a sensitivita ke zvoleným plynům – amoniaku a oxidu dusičitému a provést měření s cílem reprodukovatelně ověřit vlastnosti připravených senzorů u vybraných typů plynů.

V úvodních kapitolách je tato problematika velmi obsírně vyhodnocena po teoretické stránce. Je proveden popis všech důležitých typů uhlíkových nanomateriálů včetně postupu jejich přípravy, přičemž je zde zaznamenán poslední vývoj v dané oblasti. Jsou velmi detailně popsány metody měření koncentrace plynů sensorovými elementy. Samostatně jsou také popsány možnosti modifikace uhlíkových nanomateriálů organickými sloučeninami s cílem zlepšit selektivitu a přesnost měření. Předkladatel popsal možnosti modifikace vodivými polymery na bázi poly(3,4-ethylendiothiofenu) a modifikace ftalocyaninovými sloučeninami. Velmi kladně lze hodnotit přesný popis této problematiky i po chemické stránce, přestože předkladatel není v tomto oboru odborníkem. Předkladatel navazuje na výsledky předchozí práce školicího pracoviště, kdy pro konstrukci sensorového elementu zvolil jako základní substrát platinovou interdigitální strukturu nanosenou na korundovém podkladu. Zvolení tohoto konceptu souvisí také s tím, že předkládaná disertační práce byla vypracována jako součást projektu TAČR, TA03010037. Jako velmi přínosný se jeví popis depozičních tiskových technik.

Od kapitoly 5 je popsána vlastní experimentální práce. Navržená interdigitální struktura na korundovém substrátu byla ještě obohacena o termistor a topnou spirálu umožňující nastavení definované teploty při zkoumání desorpce měřeného plynu. Práce se dále zabývá popisem postupu přípravy disperze uhlíkových nanotrubic (SWCNT i MWCNT) a popisem způsobu nanášení na zvolený korundový substrát. Byly testovány 3 depoziční techniky – spin coating, air brush spray coating a aerosol jet printing. Metody slouží k vytváření tenké homogenní vrstvy CNT. Následně je popsán způsob modifikace uhlíkových nanotrubic, SWCNT i MWCNT. V rámci řešení projektu TAČR byla tato část řešena ve spolupráci s Centrem organické chemie s.r.o., které tyto modifikace provádělo a Ústavem fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, který se zabýval charakterizací takto modifikovaných uhlíkových nanotrubic. Velmi obsírně je popsáno jaký vliv má daná modifikace na vlastnosti těchto materiálů. Důležitým parametrem je především schopnost sorbovat měřený analyt, odezva měřené impedance a schopnost desorpce daného analytu.

Pro měření amoniaku se jako nevhodnější systém ukázal směs modifikovaných SWCNT a MWCNT nosičem sulfo skupin, na který je napolymerován poly(3,4-ethylendiothiofen) - PEDOT. Inovativní částí práce je způsob fixace PEDOT na povrch CNT, který zajišťuje stabilní vazbu přes iontový pár. Senzor, na který je deponována aktivní vrstva na bázi takto modifikovaných CNT, vykazuje velmi

senzitivní odezvu na amoniak. Senzor je tištěný. Systém je chráněn užitečným vzorem uvedeným v příloze práce. Škoda, že není uvedena kopie výpisu z ÚPV.

Pro detekci a měření oxidu dusičitého se jako nejvhodnější modifikace CNT jeví depozice ftalocyannovým derivátem syntetizovaným v COC, PbFTC(COONa)₈. Senzor vykazuje stabilní odezvu na přítomnost NO₂, včetně rychlé desorpce zvoleného analytu.

Připomínky a dotazy:

Práce je přehledně a jasně sepsána, nicméně se předkladatel nevyhnul několika nepřesnostem, které částečně mohou pramenit z toho, že zaměření práce je multioborové a předkladatel je především odborníkem v oblasti elektroniky a měření. Jediným vážnějším nesouladem se mi jeví způsob interpretace měření sensorického chování senzoru amoniaku. Nejlepší chování vykazoval senzor, u kterého byl povrch CNT modifikován sulfonovaný pyrenem a následně provedena polymerace s PEDOT. Autor přisuzuje sensorické chování zvýšenému obsahu kyslíkových atomů, které zajišťují fixaci amoniaku přes vodíkové můstky. Není zde však vůbec provedeno porovnání CNT, které byly modifikovány samotnými karboxylovými a nebo sulfo skupinami a následně opět PEDOT tak, jak je uvedeno v příloženém užitečném vzoru. Předkladatel neuvažuje možnost, že sensorické chování může souviset také s možností narušení iontového páru PEDOT s aniontem silné kyseliny (viz obr. 6.8) bazickým amoniakem a vlivem stupně pokrytí uhlíkových nanotrubic nosičem sulfonových nebo karboxylových aniontů. Ideální sensorické vlastnosti popisovaného senzoru může totiž být také způsobeno homogenitou pokrytí CNT povrchu pyrenem, což by mohlo dané srovnání lépe ukázat. Může předkladatel popsat rozdíl v chování CNT, u kterých byla provedena modifikace PEDOTem jiným způsobem? Stejně tak nelogicky působí snaha na CNT modifikované pyrenem navázat ftalocyaninové molekuly.

U senzoru NO₂ byl také testována modifikace PEDOT. Na str. 61 je nepřesně popsána vazba mezi PEDOT a CNT jako kovalentní, jedná se o iontovou vazbu. S ohledem na to, že se jedná o práci orientovanou na měření, nejedná se o výtku, jen o poznámku pod čarou.

Závěr:

Předložená práce svým rozsahem i kvalitou odpovídá stanoveným cílům. Byly předloženy fungující tištěné senzory amoniaku i oxidu dusičitého. Předkladatel kvalitu práce doplňuje také užitečným vzorem chránícím princip senzoru amoniaku, 8 příspěvků na konferencích, 3 funkčními vzorky. Mimo to v rámci dalších aktivit se předkladatel účastnil přípravy 1 kapitoly v knize, 8 příspěvků na konferencích a 1 funkčního vzorku. Disertační práce „Senzory amoniaku a oxidu dusičitého na bázi modifikovaných uhlíkových nanotrubic“ **splňuje podmínky dle zákona č. 111/1998 Sb. §47 a doporučuji ji k obhajobě.**



V Rybitví 17.1.2017

Ing. Lubomír Kubáč, Ph.D.

Posudek oponenta disertační práce
Název: **Senzory amoniaku a oxidu dusičitého na bázi modifikovaných
uhlíkových nanotrubic**
Autor: **Ing. Jiří Štulík**

Práce obsahuje 82 textové strany, 12 stran příloh, 55 obrázků, 2 tabulky. Seznam literatury má 62 položky. Seznam všech publikací autora má 18 položek, k tématu práce se jich vztahuje 9. Autor je spoluautorem 4 funkčních vzorků a 1 užitného vzoru.

Téma předložené disertační práce by bylo téměř tradiční, pokud by v názvu nebyla poslední dvě slova – uhlíkové nanotrubic. Těmi se totiž posouvá celý obsah práce do nových dimenzí jako důsledek využití aplikačních možností nových objevů v nanosvětě. V devadesátých letech minulého století objevené alotropické modifikace uhlíku po zvládnutí jejich efektivní výroby způsobily převratné změny v konstrukci a technologii elektronických součástek a systémů. Jejich vlastnosti přinášejí i nové možnosti v oblasti senzorů.

Uvažované použití uhlíkových nanotrubic v konstrukci senzorů plynů spolu s aplikací pokrokových organických materiálů vyústilo do realizace čidel pracujících při nezvýšených teplotách, zhotovených na ohebné podložce a v provedení, které by vyhovělo požadavkům kladeným na tzv. "smart textile".

Takto obecně stanovený cíl práce disertant rozčlenil do dílčích tří částí, které specifikuje v kapitole 1.2. V první řeší metody vytvoření homogenní soustav trubic, ve druhé se zabývá výběrem vhodných materiálů modifikujících nanotrubic do funkce senzorů daných analytů a ve třetí navrhuje a realizuje strukturu senzoru a ověřuje jeho vlastnosti. Stanovené cíle jsou v souladu s tématem práce a všechny byly dosaženy.

Disertační práce je členěna s ohledem na vytčené dílčí cíle. Po stručném přehledu senzorů nebezpečných plynů (kap. 2) uvádí principy a vlastnosti alotropických modifikací uhlíku obecně (kap. 3) a pro uhlíkové nanotrubic podrobněji (kap. 4). Přípravou a technologiemi nanášení nanotrubic na podložku a pokrokovými metodami depozice tenkých vrstev se zabývá kap. 5. Úpravě nanotrubic pro analýzu vybraných plynů (NO_2 a NH_3) je věnována kap. 6. Experimentální senzor na ohebné podložce je prezentován v kap. 7. Poslední kapitola – Závěr – stručně hodnotí celou práci a konstatuje splnění jednotlivých dílčích cílů se zdůrazněním významu části druhé, tj. modifikace uhlíkových nanotrubic k účelům identifikace daných plynů s výrazně zlepšenou stabilitou, citlivostí a desorpcí.

Práce dokumentuje systematický přístup k řešení stanovených cílů, obsahuje dostatečně podrobný a jasný výklad řešených úkolů. Dosažené výsledky ověřovacích experimentů jsou diskutovány a využity v závěrečném realizačním výstupu, dokumentovaném měřeními uvedenými v příloze.

Za těžiště práce s novými disertabilními výsledky považuji kapitolu 6., ve které jsou probírány různé možnosti úpravy uhlíkových jedno či vícevrstevných nanotrubic k detekci amoniaku resp. oxidu dusičitého. Vybrané varianty byly experimentálně funkčně ověřeny a strukturálně prověřeny (termogravimetricky, Ramanovou spektroskopií). Jako perspektivní

Ize označit modifikaci nanotrubic olovnatým ftalocianinem a polymerním PEDOTem. Pro nanášení vrstev uhlíkových nanotrubic a jejich aktivování byla upravena známá technika nástřiku materiálů v kapalně fázi proudem stlačeného vzduchu. Výroba vzorku senzoru na ohebném substrátu byla provedena v ČR unikátním zařízením technologií Aerosol Jet. Předložená disertační práce je přehledná, logicky členěná. Příznivý dojem vytvořený dobrou grafickou úpravou poněkud narušují drobné prohřešky nejen formální (veličiny s indexy někde dole jinde někde psané v úrovni, slovo "skrz" s koncovým "e", název "sodium dodecyl sulfát" s "i"), ale i věcné (rozměry v nm i v Å, dielektrická konstanta, polyimid obecně není pouze kapton. Ten je ® fy Du Pont).

Publikační aktivita doktoranda je mimořádně rozsáhlá (přehled viz úvod posudku), časově v intervalu let 2011 až 2016, zahrnuje i spoluautorství kapitoly v zahraniční monografii o senzorech.

K předložené práci mám tyto otázky:

Frekventovaným termínem je slovo "disperze". Její příprava, nanášení atd. Dle slovníku českého jazyka je "disperze vícesložková soustava, v níž jedna složka vytváří spojitou fázi, ve které je rozptýlena druhá složka ve formě jemných částic". Je tedy "směs rozpouštědla a CNT" (str. 35 nahoře) touto disperzí?

V kap. 1.1 jsou uvedeny různé meze nejvyšších přípustných koncentrací toxických plynů NO_2 a NH_3 . Byly podmínky testování zkoumaných materiálových kombinací CNT – modifikující látka v nějakém vztahu k těmto mezím?

Jak je třeba rozumět tvrzení ve větě na str. 24. dole a 25. nahoře: "... je pohyblivost nosičů náboje v grafenu ... dosahuje rychlosti ..".

Popis výroby vzorku senzoru na str. 79 a 80 je nejasný. Jaký byl sled výrobních operací a jakých zařízení bylo použito (pokud to je možné sdělit)?

Disertační práce pana Ing. Jiřího Štulíka na téma Senzory amoniaku a oxidu dusičitého na bázi modifikovaných uhlíkových nanotrubic splňuje podmínky dle zákona č. 111/1998 Sb., § 47 a doporučuji ji k obhajobě.

V Praze dne 9. února 2017


doc. Ing. Jan Urbánek, CSc.