



Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ing. Michal Kolmačka

Autoreferát dizertačnej práce

Optimalizácia technológie syntézy nanokompozitov na báze uhlíkových nanorúrok v HF CVD reaktore

na získanie akademického titulu: philosophiae doctor (PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: Mikroelektronika

v študijnom odbore: Elektrotechnika

Forma štúdia: externá

Dizertačná práca bola vypracovaná
na Ústave elektroniky a fotoniky FEI STU v Bratislave

Predkladateľ: Ing. Michal Kolmačka
Ústav elektroniky a fotoniky FEI STU v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: Ing. Magdaléna Kadlečíková, PhD.
Ústav elektroniky a fotoniky FEI STU v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti:

prof. Ing. Dušan Pudiš, PhD.,
Žilinská univerzita v Žiline,
Fakulta elektrotechniky a informačných technológií,
Katedra fyziky, Univerzitná 1, 010 26 Žilina

Mgr. Bohumír Zaťko, PhD.,
Slovenská akadémia vied,
Elektrotechnický ústav SAV, Dúbravská cesta 9,
845 11 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať
dňa
o hodine

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec
dekan FEI STU

OBSAH

1	ÚVOD.....	4
2	CIEĽ PRÁCE.....	5
3	HF CVD REAKTOR	5
3.1	Meranie teploty v HF CVD reaktore na FEI STU	5
3.2	Problémy pri meraní teploty v HF CVD reaktore	6
3.3	Rekonštrukcia merača teploty v HF CVD reaktore	7
3.4	Kombinovaný merač teploty v HF CVD reaktore s hrnčekom transformátorom	8
3.5	Vybrané elektronické zapojenia.....	9
3.6	Zapojenie sekundárnej časti zdroja.....	10
3.7	Zapojenie vysielacej časti merača teploty.....	11
3.8	Fotodokumentácia realizovaného merača teploty	12
3.9	Vyhodnotenie kalibrácie merača teploty s použitím termočlánku typu N	14
4	VÝSLEDKY SYNTÉZY UHLÍKOVÝCH NANORÚROK	14
4.1	Uhlíkové nanorúrky na montmorillonite	15
4.2	Uhlíkové nanorúrky na zeolite	15
4.3	Uhlíkové nanorúrky na sepiolite	16
4.4	Uhlíkové fázy na zostatkoch po ťažbe rúd v banských vodách	17
5	HLAVNÉ PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE.....	18
6	ZÁVER	18
7	RESUME	20
8	ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORA	21
8.1	Štatistika publikačnej činnosti k 1.6.2021	26
8.2	Citácie k 1.6.2021	26

1 ÚVOD

Nanotechnológie zahŕňajú prípravu, charakterizáciu a aplikácie materiálov, ktoré sú v rozmeroch pod 100 nm [1]. Revolúciu v nanotechnológiách na poli uhlíkových materiálov priniesol objav fullerénu v roku 1985 a objav uhlíkových nanorúrok japonského vedca Iijimu [2] v roku 1991. Uhlíkové nanorúrky (CNTs) sú duté valcové grafitové rúrky, ktoré môžu byť uzavreté fullerénovými hemisférami. Uhlíkové nanorúrky dosahujú dĺžku niekoľkých nanometrov až mikrometrov.

Aplikácie nanotechnológií, nanomateriálov a nanorúrok dosahujú hranice fantázie: napr. v zdravotníctve - povlakovanie implantátov nanoštruktúrnymi vrstvami, implantácia nanočastíc do nádorových buniek a ich ničenie; v informatike - vývoj nových médií s možnosťou veľmi vysokých hustôt záznamu, nových displejov na pružných plastických materiáloch; v senzorike - plynové senzory, enzymatické biosenzory a imunosenzory. Rámy byciklov sa už dlhé roky spevňujú kompozitmi na báze CNTs [3]. Na báze CNTs sa už vyrábajú super čierne povlaky na potlačenie rozptýleného svetla alebo neviditeľné krytie [4]. Materiál VANTABlack je najtmavšia látka na svete, vytvorená človekom. Pohlcuje 99,995 % viditeľného svetla, dopadajúceho kolmo na pole nanorúrok [5]. Nanokompozity na báze uhlíkových nanorúrok a minerálov sa ukazujú ako perspektívny materiál pre vysokoteplotné aplikácie a určité oblasti materiálovej chémie pri vývoji nanopórových filtrov, tepelných izolantov, žiaruvzdorných materiálov, materiálov so zhášacím efektom (flame retardant), selektívnych adsorbentov alebo mazív, ľahkých konštrukčných materiálov a konštrukčnej keramiky pre špeciálne aplikácie.

Táto dizertačná práca vznikla v laboratóriách Ústavu elektroniky a fotoniky Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave a Katedry anorganickej chémie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Nosnou témou dizertačnej práce je riešenie časti technologického problému syntézy nanokompozitov na báze uhlíkových nanorúrok a to problému určenia teploty substrátu v depozičnom reaktore.

¹ STN P CEN ISO/TS 80004-3:2020 Nanotechnológie. Slovník. Časť 3: Uhlíkové nanoobjekty

² Iijima, S.: Nature 354, 56–58 (1991); <https://doi.org/10.1038/354056a0>

³ BMC Unveil Carbon Nanotube Bike to Take on Tour de France - New Product, (2005), dostupné na: <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1298>

⁴ Jackson, Jeremy J., Poretzky, Alex A., More, Karren L., Rouleau, Christopher M., Eres, Gyula, Geohegan, David B.: Pulsed Growth of Vertically Aligned Nanotube Arrays with Variable Density, (2010), Nano. 4 (12): 7573–7581; doi:10.1021/nn102029y. PMID 21128670; dostupné na: <https://www.surreynanosystems.com/vantablack>

⁵ MIT engineers develop "blackest black" material to date | MIT News". News.mit.edu. 2019-09-12.

2 CIEĽ PRÁCE

- 1) Podľa vlastného návrhu realizovať a experimentálne overiť systém merania teploty v HF CVD reaktore.
- 2) Realizovať a vyhodnotiť in-situ syntézu nanokompozitov na báze uhlíkových nanorúrok (CNTs) a anorganických matric - minerálov a rezíduí po ťažbe rudných surovín, ktoré obsahujú kovy schopné katalyzovať syntézu CNTs.

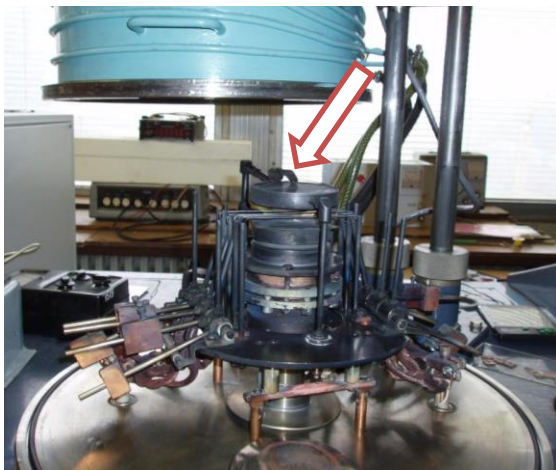
3 HF CVD REAKTOR

Spoločnou črtou metód chemickej depozície z pár, ktoré sú aktivované horúcimi vláknami (HF CVD) je vytvorenie atmosféry pár prekursora alebo prekursorov a pomocných plynov v reaktorovom priestore. Kvalitu deponovaného materiálu ovplyvňuje energia častíc nanášanej látky ako aj teplota substrátu, na ktorom sa vrstvy pripravujú. V prípade horizontálneho usporiadania HF CVD reaktora, je teplota substrátu ovplyvnená teplotou vlákien, vzdialenosťou vlákien od substrátu a celkovým tlakom pár. Teplota substrátu je kľúčový faktor, ktorý podmieňuje mechanizmus syntézy a rastu uhlíkových nanorúrok a preto je nevyhnutné teplotu substrátu počas depozície udržiavať na požadovanej úrovni, z čoho vyplýva potreba teplotu substrátu kontrolovať, merať a aktívne regulovať.

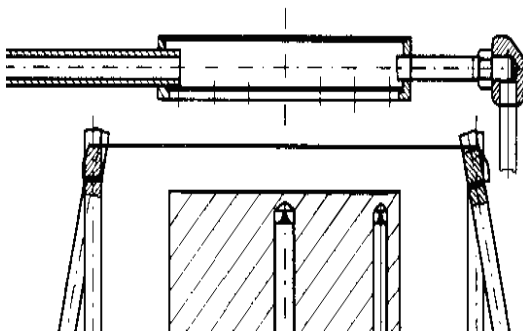
3.1 Meranie teploty v HF CVD reaktore na FEI STU

Princípy merania teploty možno rozdeliť na dve základné kategórie metód – dotykové a bezdotykové. Pri dotykovom meraní teploty sa senzor musí dotknúť objektu, ktorého teplotu treba zmerať aby došlo k priamemu prenosu tepla medzi týmito objektami. Dotyková metóda sa dá použiť na miestach, kde je ľahký prístup k meranému objektu a tento objekt a jeho okolité prostredie nereaguje chemicky so senzorom. Bezdotykové meranie umožňuje merať teplotu pohybujúcich sa objektov alebo vzdialených objektov alebo chemicky reaktívnych. Pri tejto metóde sa využíva princíp pyrometrie, čo znamená, že každý objekt, ktorý má určitú teplotu, vyžaruje určitú vlnovú dĺžku infračerveného žiarenia. V takom usporiadaní CVD reaktora, kde substrát je „viditeľný“ cez priezor pyrometrom je výhodné merať teplotu substrátu bezdotykovým spôsobom. Technická situácia v okolí rotačného stolčeka v HF CVD aparátúre na FEI STU je fotograficky zviditeľnená na obr. 3.1 a schematicky je znázornená na obr. 3.2. Stolček, ktorý sa počas syntézy točí konštantnou rýchlosťou je umiestnený v komore reaktora a nad ním sú žeravené volfrámové vlákna. V HF CVD aparátúre sa teplota substrátu kontroluje termočlánkom, snímaním teploty rotačného stolčeka, na ktorom je tento substrát umiestnený a na ktorý sa následne nanorúrky deponujú.

3.2 Problémy pri meraní teploty v HF CVD reaktore



Obr.3.1 Vnútrná časť HF CVD reaktora. Fotografia zachytáva plynovú sprchu, volfrámové vlákna v molybdénových držiakoch a otočný držiak vzoriek - stolček pre umiestnenie substrátu.



Obr. 3.2 Nákr. hornej časti stolčeka s plynovou sprchou, vláknami a dutinami pre termočlánky.

nedotýkali stolčeka. Pri depozícii sa však uhlík usadzoval v dutinách stolčeka, čím časom dochádzalo k vodivému spojeniu termočlánkov so stolčekom. Pri vodivom spojení termočlánku so stolčekom merací systém začne vyhodnocovať záporné teploty, ktorých hodnota nezodpovedá teplote stolčeka. Z tohto dôvodu sa termočlánky nesmú dotýkať stolčeka (musia plávať).

Termoelektrické napätia z termočlánkov boli vyvedené na prstencové trecie kontakty v spodnej časti stolčeka odkiaľ boli následne vedené koaxiálnym káblom na vstup operačných zosilňovačov OP07 s definovaným zosilnením približne 500. Zosilnené termoelektrické napätia termočlánkov boli ďalej konvertované A/D prevodníkom do digitálnej podoby, ktorú už riadiaci počítač depozičnej aparatury mohol linearizovať, ukladať a zobrazovať na monitore počítača ako aktuálnu hodnotu teploty, ale aj graficky, ako historický záznam v časovom grafe spolu s ostatnými parametrami depozície. V dôsledku obtiažneho

Na základe prehľadu stavu problematiky a publikovaných poznatkov z iných laboratórií sme vyhodnotili možné spôsoby stanovenia teploty v HF CVD reaktore. Uvažovali sme o rôznych spôsoboch merania teploty substrátu. Zmena senzora teploty sa javí byť technicky veľmi náročná. Pre iný typ kontaktného merania teploty narážame na problém prepojenia senzora s meracím zariadením, kde by bol nutný zásah do konštrukcie rotačného stolčeka so zreteľom na vákuovú tesnosť. Čipy s bezdrôtovou komunikáciou nie sú prispôbené na meranie teplôt okolo 600 °C a diaľkový senzor na báze rubínovej vrstvy tiež nie je aplikovateľné riešenie nakoľko by sme museli zamedziť jeho expozícii viditeľným svetlom zo žeraviacich vlákien. Pri pyrometrickom meraní je nutné inštalovať optickú priechodku a odfiltrovať žiarenie pochádzajúce zo žeravených vlákien. Hornú odnímateľnú časť stolčeka tvorí molybdénový valec vysoký zhruba 5 cm, v ktorom sú vyfrézované otvory (kvôli odľahčeniu a zníženiu tepelnej kapacity) a v dvoch kanáloch z nich boli umiestnené termočlánky tak, aby sa vodivo

stotožnenia zeme aparatury a zeme elektroniky spracujúcej termoelektrické napätia sa v dôsledku rozdielu zemných potenciálov, v prípade vodivého premostenia termočlánkov so stolčkom vplyvom nečistôt, meranie znehodnocovalo.

Ďalším problémom merania teploty boli nečistoty usadené na prstencových kontaktoch, cez ktoré boli napätia z termočlánkov vyvedené z rotačnej časti k bodu, kde sa tieto napätia zosilňujú. Kontakty bolo potrebné pravidelne čistiť. Pre zachovanie minimálneho prechodového kontaktného odporu bolo nevyhnutné, aby kontakty boli dobre navlhčené petrolejom, ktorý zlepšoval mechanické vlastnosti styčných plôch. Ak sa údržba kontaktov zanedbala spôsobilo to fluktuácie údajov o teplote až o 200°C.

3.3 Rekonštrukcia merača teploty v HF CVD reaktore

Prvá etapa rekonštrukcie pôvodného merača teploty spočívala v presunutí zosilňovačov termoelektrických napätí termočlánkov do rotačného stolčeka. Cieľom tohto presunu bolo zvýšenie spoľahlivosti merania redukciou vplyvu rušivých faktorov pri prenose užitočného signálu k spracujúcej elektronike aparatury. Forma prenosu zosilnených napätí bola realizovaná prevodníkmi napätia na frekvenciu s galvanickým oddelením snímaco-vysielacej časti od spracujúcej elektroniky pomocou LED diód a fototranzistorov, ktoré frekvenciu impulzov prenášali z rotujúceho stolčeka do statickej časti aparatury.

Týmto riešením sa podarilo vyhnúť sa problémom s premošťovaním termočlánkov so stolčekom.

Vplyvu zvodových napätí (prúdov), ku ktorým dochádza po vodivom spojení termočlánku so stolčekom (najčastejšie premostením sadzami z atmosféry pri depozícii) sa dá zabrániť pomocou izolačného zosilňovača. Pre účely galvanického oddelenia termočlánku od iných častí meracej elektroniky bolo potrebné navrhnuť, resp. použiť, izolačný zosilňovač (IZ) s prevodovou charakteristikou lineárnou v celej jej oblasti, pre jednoduchosť návrhu a implementácie do existujúcej elektroniky. Ďalej by mal byť schopný izolovať napätie 200V prípadne viac. Nelinearita prevodovej charakteristiky by nemala prekročiť 0,1%. IZ bol volený tak, aby nahrádzal funkciu zosilňovača, ktorý bol pôvodne v aparatúre.

Počas prevádzky a kalibrácie rekonštruovaného merača teploty v HF CVD reaktore sme ako najväčší nedostatok merača teploty určili nesprávne nastavenú teplotnú kompenzáciu studených koncov termočlánkov teplotným čidlom, pretože táto vnášala náhodne chybu do merania teploty stolčeka. Zmena teploty chladiacej vody nezodpovedá priamo úmerne vplyvu na termočlánkové napätia. Inštalácia teplotného čidla (odporového, ktoré generuje v závislosti od teploty termický odpor) je pri tomto meraní nevyhnutná.

Tiež prívod symetrického napájacieho napätia $\pm 12V$ z externého napájacieho zdroja cez prstencové kontakty sa časom ukázal ako nespoľahlivé riešenie, pri ktorom dochádza k prerušovaniu kontaktu prívodu

napätia. Krátkodobé výpadky boli kompenzované kondenzátormi s veľkou kapacitou zaradenými medzi prstencové kontakty a merač teploty, ale pri dlhodobej strate kontaktu napájacie napätie na kondenzátore môže poklesnúť na kritickú hodnotu, kedy funkcia merača zlyhávala.

Ďalej pri dlhom výpadku kontaktu stredného nulového vodiča dochádzalo k zničeniu prevodníkov $U(V) \rightarrow f$ z dôvodu prekročenia maximálneho prípustného napájacieho napätia prevodníka. Došlo už k dlhodobej nefunkčnosti zariadenia, čo si vyžadovalo opravu.

Ďalšími krokmi v konštrukcii merača teploty boli:

- 1) Zaradenie elektronickej kompenzácie ohrevu koncov termočlánkov.
- 2) Náhrada prstencových kontaktov alternatívnym prívodom napájania pre zariadenie v rotačnej časti.

3.4 Kombinovaný merač teploty v HF CVD reaktore s hrnčekom transformátorom

Výsledkom riešenia dizertačnej práce je návrh a realizácia nového elektronického merača teploty držiaka vzoriek (stolčeka) v HF CVD reaktore. Senzorom teploty je termočlánok typu N umiestnený v osi pod stolčekom. Generované termonapätie je zosilnené a prevedené na frekvenciu napätových impulzov. Bezdrôtový prenos informácie o teplote je realizovaný optickou väzbou vzduchom medzi fotodiódou a fototranzistorom.

Ako vysielač svetelných impulzov pre optický kanál sme použili vysokosvietivú LED OS50GA5111P. Pre dosiahnutie dostatočného jasu by mal LED diódou tiecť prúd 15 mA. Z tohto dôvodu bol na výstup zaradený spínač tvorený tranzistorom BC848. Okrem toho bez použitia tranzistorového spínača by bol svetelný signál invertovaný. Keďže výstup VFC 32 tvorí otvorený kolektor bipolárneho tranzistora, tento kolektor musí byť pripojený na napájacie napätie (štandardne pre TTL logiku na +5V) cez tzv. pull-up rezistor. Prijímač svetelných impulzov pozostáva z fototranzistora SFH309 (SFH309FA) zapojeného v sérii s rezistorom na vstupe tranzistorového spínača s BC848.

Na výstupe spínacieho tranzistora je zaradený derivačný člen. Prijímané svetelné impulzy sa tak menia na krátke spúšťacie signály, ktoré ovládajú komparátor v integrovanom obvode VFC 32. Obvod VFC 32 je možné zapojiť aj ako prevodník frekvencie na napätie. Tento prevodník má však jednu malú "muchu". Na výstupe neposkytuje hladké napätie, ale pílovitý priebeh superponovaný na jednosmernú zložku. Frekvencia pílovitého napätia je rovnaká ako frekvencia spúšťacích impulzov ovládajúcich komparátor prevodníka frekvencie na napätie. Pre dosiahnutie hladkého jednosmerného napätia na výstupe prevodníka je potrebný filter. Prenos pomocou frekvencie impulzov je nastavený tak, aby na výstupe filtra bolo vždy rovnaké napätie ako je napätie na výstupe diferenciálneho filtra izolačného zosilňovača. Zosilnenie celého zariadenia je rovnaké, ako zosilnenie pôvodného zosilňovača v aparátúre. Výstupné napätie zariadenia sa privádza vodičom do bodu výstupu pôvodného zosilňovača.

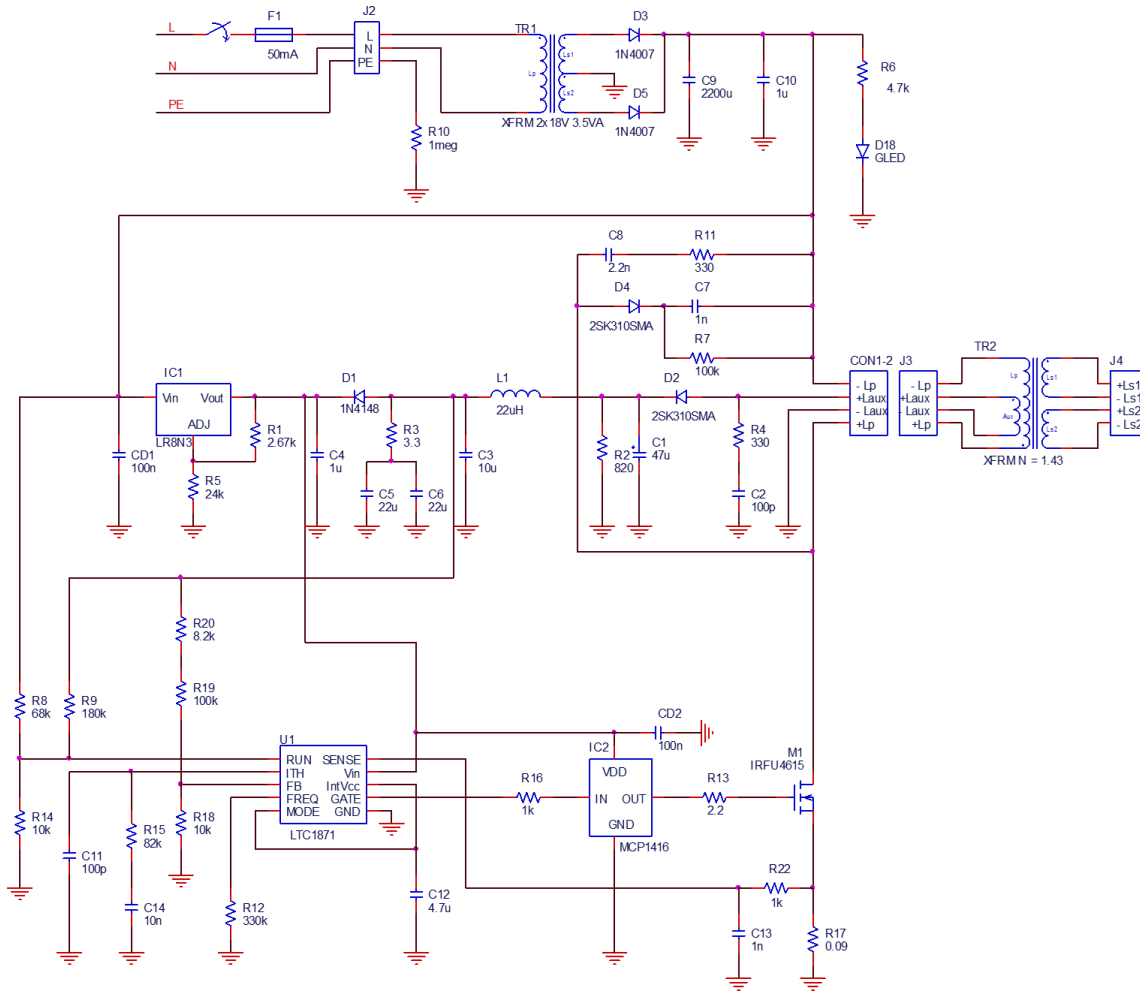
Ťažiskom elektronickej konštrukcie merača teploty je zostavenie spínaného zdroja napätia, ktorého kľúčovým komponentom je hrnčekové transformátorové jadro, kde jeho kruhová geometria je využitá na prenos energie potrebnej na napájanie zo statickej časti reaktorovej aparatury do elektroniky rotačného stolčeka. Návrh nového zdroja napájania je konštrukčne unikátny v tom, že jeho výstupné svorky majú mechanickú voľnosť a teda možnosť rotovať bez použitia mechanických kontaktov. Prenos napájacej energie sprostredkúva magnetické pole v hrnčekovom transformátore. Prestavba vysielacej časti umožnila aj implementáciu kompenzácie ohrevu koncov termočlánkov a implementáciu symetrizácie výstupných napätí a ochranu proti nadprúdu. Navrhnutý je spínaný zdroj s „flyback“ topológiou pracujúci s riadením s prúdovým módom. Na výstupe zdroja je zaradený lineárny symetrický postregulátor stabilizujúci výstupné napätie na ± 12 V s presnosťou regulácie napätí ± 5 %, zabezpečujúci symetriu výstupných napätí aj pri vnútenom poklese jedného z týchto napätí. Symetria napätí postačuje v rozsahu od 2 V do plného napätia s odchýlkou symetrie do 0,5 V pri preťažení. Napájanie nie je závislé na údržbe trecích prstencových kontaktov. Skonštruovaný merač teploty bol postupne odladený v simulátore, boli merané jeho elektrické parametre a bol kalibrovaný. Vyhotovený merač teploty je funkčný a bol implementovaný do HF CVD reaktora. Merač teploty sa vyznačuje dvomi rozhodujúcimi elektrickými charakteristikami a to stabilitou spätnej väzby flyback meniča, nakoľko po skokových zmenách záťažového prúdu jeho výstupné napätie nevykazuje žiadne tlmené kmity a dostatočnou fázovou rezervou pre stabilitu postregulátora aj pre bezzáťažovú podmienku prevádzky. Výsledkom kalibračného procesu je intervalový odhad kombinovanej neistoty merania teploty implementovaným meračom teploty $\pm 9^{\circ}\text{C}$ v rozsahu od 22°C do 500°C a $\pm 13^{\circ}\text{C}$ v rozsahu od 500°C do 700°C .

3.5 Vybrané elektronické zapojenia

Navrhnutý bol spínaný zdroj s flyback topológiou pracujúci s riadením s prúdovým módom. Na výstupe zdroja je zaradený lineárny symetrický postregulátor stabilizujúci výstupné napätie na ± 12 V, zabezpečujúci symetriu výstupných napätí aj pri vnútenom poklese jedného z týchto napätí.

Schéma zapojenia spínaného zdroja je na obr. 3.3. Zapojenie pozostáva zo sieťového transformátora TR1 a diódového usmerňovača tvoreného diódami D3 a D5 s filtračným kondenzátorom C9 pre konverziu sieťového napätia z 230V na jednosmerné napätie približne 32V. Primárne vinutie transformátora TR1 je odpojiteľné od siete pomocou dvojpolohového vypínača alebo tavnej poistky F1. Prítomnosť napätia na výstupe na kondenzátore C9 je indikovaná zelenou LED diódou D18 s predradným rezistorom R6. Napätie z kondenzátora je konvertované na napätie 12V pomocou lineárneho regulátora LR8N3 označeného ako IC1. Tento regulátor plní funkciu počiatočného napájania pre naštartovanie činnosti riadiacej elektroniky spínaného zdroja. Jeho 12V výstupné napätie je nastavené rezistorovým deličom R1 a R5. Vstup tohto regulátora je opatrený keramickým kondenzátorom CD1 s hodnotou 100 nF, ktorý

kompenzuje impedanciu prívodných vodičov a zároveň vytvára nízkoimpedančný napájací bod pre regulátor.

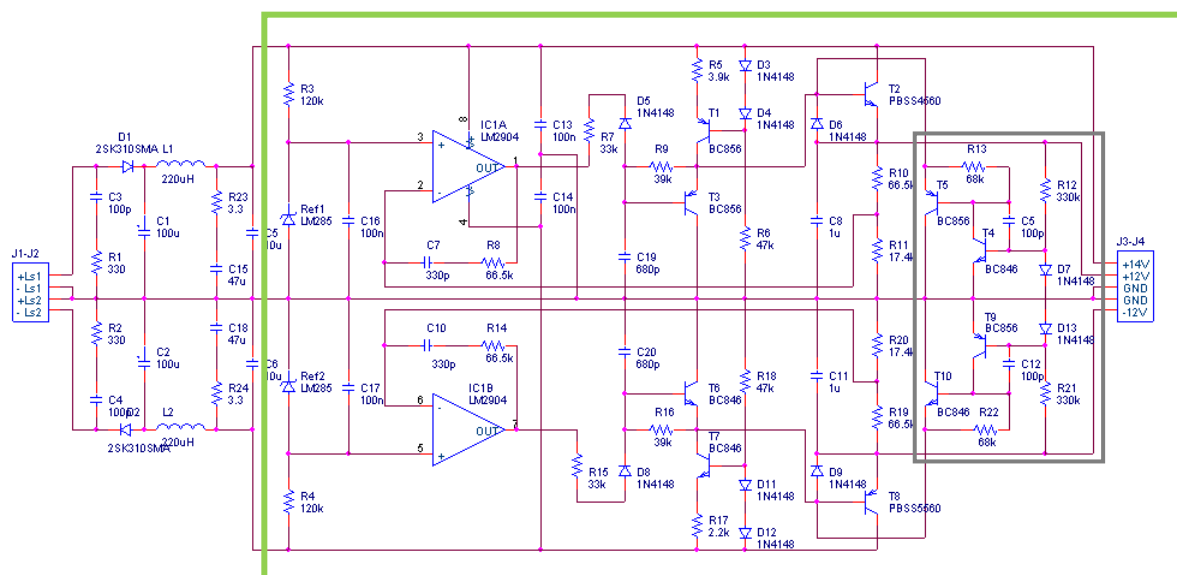


Obr. 3.3 Schéma zapojenia primárnej časti spínaného zdroja s reguláciou napätia na auxiliárnom výstupe.

3.6 Zapojenie sekundárnej časti zdroja

Schéma zapojenia sekundárnej časti zdroja je na obr. 3.4. Túto časť zdroja tvoria dve od seba izolované vinutia navinuté na druhej samostatnej kostričke. Počet závitov oboch sekundárnych vinutí $N_s = 17$ je rovnaký, ako počet závitov auxiliárneho vinutia popisovaného v predchádzajúcej kapitole. Sekundárne vinutia sú pripojené cez konektor J1-J2 k doske plošných spojov, kde sú zaradené tlmiace RC členy s rezistormi R1, R2 a kondenzátormi C3, C4. Tieto majú za úlohu redukovať počet a frekvenciu oscilácií po zopnutí spínacieho tranzistora nakoľko kapacity záverne polarizovaných usmerňovacích diód D1 a D2

vytvárajú rezonančný obvod s rozptylovou indukčnosťou transformátora. Elektrolytické kondenzátory C1 a C2 plnia funkciu zberných kapacít na udržanie potenciálu výstupných napätí počas zopnutia spínacieho tranzistora. Elektrolytické kondenzátory vo všeobecnosti disponujú parazitným sériovým odporom, kvôli ktorému napätie na termináloch týchto kondenzátorov obsahuje väčšie zvlnenie rôznych frekvenčných zložiek superponovaných na DC napätie. Na odfiltrovanie tohto zvlnenia sú zaradené LC dolnopriepustné filtre s L1, L2, C5, C6. Pre zníženie kvality týchto filtrov boli k ich výstupom zaradené tlmiace RC členy s R23, C15 a R24, C18. Výstupné napätie po filtrácii je využité na napájanie symetrického postregulátora, ktorý má za úlohu stabilizovať napätia na $\pm 12\text{V}$ s presnosťou lepšou ako 5%.

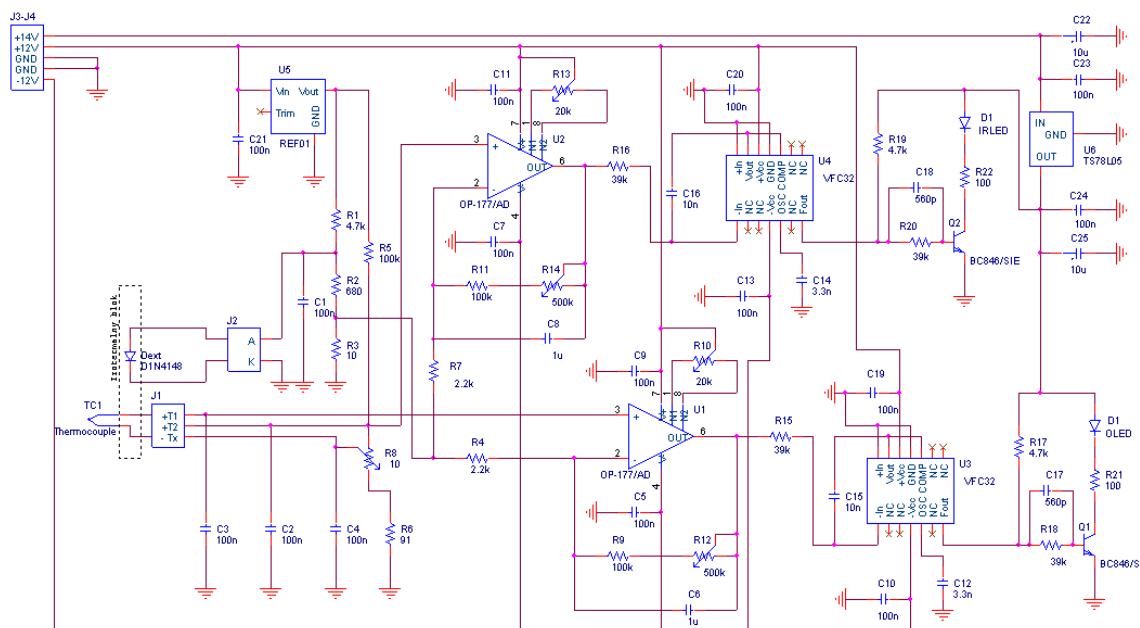


Obr. 3.4 Schéma zapojenia sekundárnej časti zdroja. Postregulátor je vyznačený zeleným rámkom. V šedom rámku sa nachádza obvod zabezpečujúci symetriu výstupných napätí na svorkách +12 V a -12 V konektora J3-J4.

3.7 Zapojenie vysielacej časti merača teploty

Schéma zapojenia vysielacej časti merača je na obrázku obr. 3.5 Toto zapojenie je pripravené na úpravu termonapätí dvoch termočlánkov a následne ich konverziu na frekvencie krátkych svetelných impulzov, ktoré sú z rotačnej časti merača teploty vysielané do statickej časti meracieho reťazca. Napätie z termočlánku putuje cez konektor J1 na neinvertujúci vstup sumačného zosilňovača tvoreného operačným zosilňovačom OP-177 ako komponent U1 (U2 pre druhý kanál), kde jeho invertujúci vstup je využitý na zavedenie spätnej väzby, ktorá určuje zosilnenie termonapätí na hodnotu približne 150 pomocou rezistorov R4, R9 a R12 (R7, R11 a R14 pre druhý kanál). Napätový delič, ktorý tieto rezistory vytvárajú nie je privedený priamo do nulového bodu, ale je posunutý o napätie dané deličom R2 a R3 spoločne pre obidva kanály.

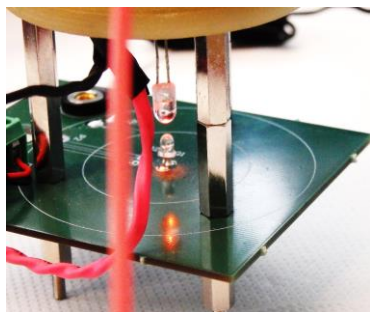
Tento posun je odvodený od priepustného diódového napätia a teda vyznačuje sa teplotnou závislosťou, ktorá kompenzuje chýbajúce termonapätie termočlánku v prípade, že jeho studený koniec sa nenachádza na teplote 0°C. Dióda snímajúca teplotu studeného konca termočlánku je pripojiteľná cez konektor J2. K tomuto konektoru je zapojený odrušovací kondenzátor C1. Rezistor R1 určuje prúd externou snímacou diódou a deličom vytvárajúcim posun.



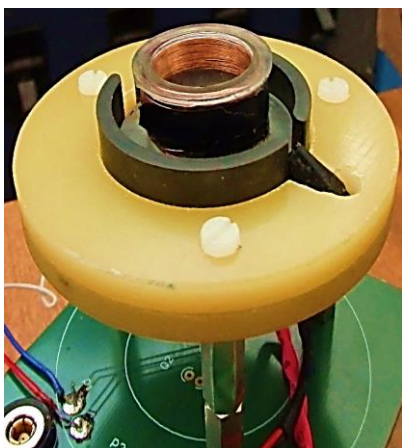
Obr. 3.5 Schéma zapojenia vysielacej časti merača teploty, ktorá je vstavaná v rotačnej časti meracieho systému

3.8 Fotodokumentácia realizovaného merača teploty

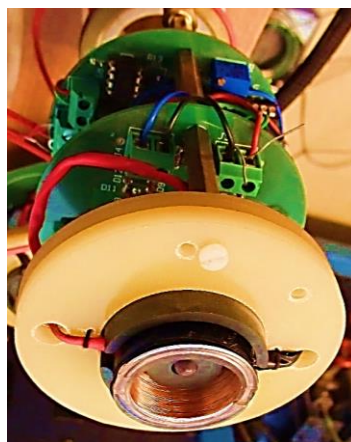
Na obr. 3.6 vidno fototranzistor umiestnený v statickej časti, ktorý je osvetlený oranžovou LED vysielajúcou svetelné impulzy v osi rotácie. Táto konštrukčná časť zabezpečuje prenos signálu z fotodiódy na fototranzistor. Svetelná dióda a fototranzistor sú v optickej osi, fokusácia svetla je zabezpečená optikou LED. (Fokusácia dodatočnou šošovkou alebo kolimátorom do bodu na fototranzistor sa v prevádzkových podmienkach nedá dosiahnuť z priestorových dôvodov.) Na obr. 3.7. sa nachádza merač teploty s odňatou rotačnou časťou od statickej. Vidno vinutie primárnej (statickej) strany hrnčekového transformátora v zostave merača. Na obr. 3.8 je pohľad na rotačnú časť merača teploty a detail sekundárneho vinutia hrnčekového transformátora a fotodiódu. Na obr. 3.9 je celkový pohľad na realizovanú konštrukciu implementovanú v HF CVD reaktore. Vidno pripojenie na termočlánky a celkové usporiadanie merača.



Obr. 3.6 Prenos signálu z fotodiódy na fototranzistor. Fototranzistor v statickej časti je osvetlený oranžovou LED vysielajúcou svetelné impulzy v osi rotácie. LED spolu s elektronickou časťou rotuje.



Obr. 3.7 Vinutie statickej (primárnej) strany hrnčekového transformátora



Obr.3.8 Rotačná (sekundárna) časť hrnčekového transformátora

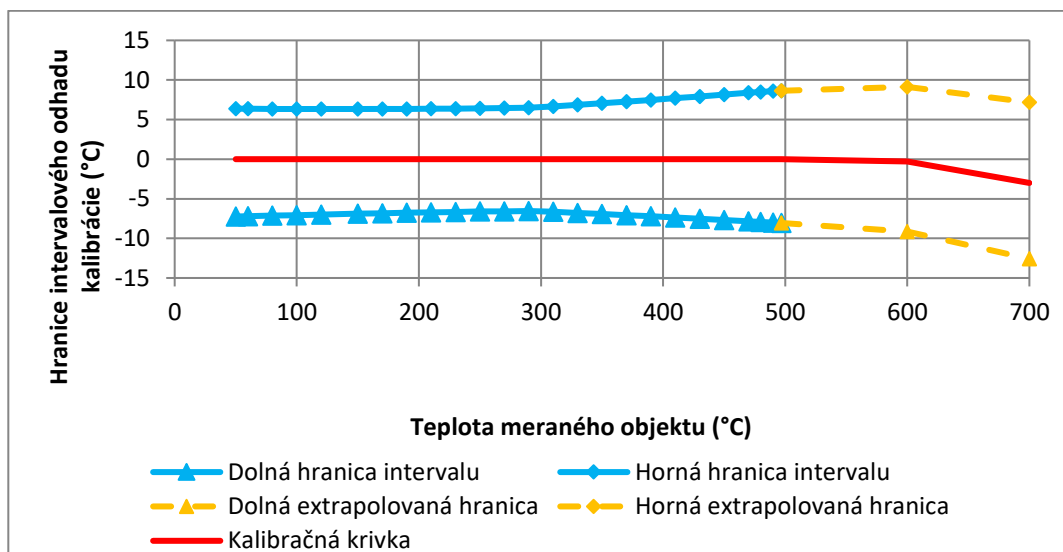


Obr. 3.9 Kombinovaný merač teploty inštalovaný v aparátúre HF CVD reaktora.

Kvôli elektrickej bezpečnosti zapojenia je inštalovaná tavná poistka v zapojení napájacieho zdroja. Konštrukcia je kvôli bezpečnosti zakrytá priehľadným plastovým krytom.

3.9 Vyhodnotenie kalibrácie merača teploty s použitím termočlánku typu N

Výsledkom kalibračného procesu je intervalový odhad kombinovanej neistoty merania teploty (obr.3.10) implementovaným meračom teploty $\pm 9^\circ\text{C}$ v rozsahu od 22°C do 500°C a $\pm 13^\circ\text{C}$ v rozsahu od 500°C do 700°C , ktorý je pracovným rozsahom pre syntézu CNTs.



Obr. 3.10 Intervalový odhad neistoty merania teploty v HF CVD reaktore novým kombinovaným meračom teploty

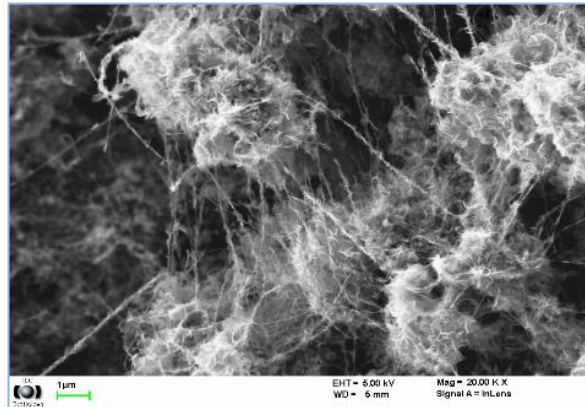
4 VÝSLEDKY SYNTÉZY UHLÍKOVÝCH NANORÚROK

Technológia a syntéza nanokompozitov s uhlíkovými nanorúrkami pozostáva z dvoch oddelených technologických krokov. Prvým je inkorporácia katalyticky aktívnych kovov do štruktúry minerálov a druhým je in-situ syntéza CNTs vo vodíkovej a metánovej atmosfére v HF CVD reaktore. Prvý krok, príprava a aplikácia katalyzátorov do substrátov sa uskutočňovala na spolupracujúcom pracovisku, na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave. In-situ metóda syntézy nanokompozitov znamená, že nanokompozity boli vytvorené v jednom pracovnom cykle v reaktore. Reakcie syntézy a depozície prebehli v tom istom reakčnom priestore a nanorúrky boli syntetizované v alebo na anorganickom substráte. Technologické experimenty boli realizované podľa odladenej technologickej schémy na Ústave elektroniky a fotoniky FEI STU v Bratislave.

4.1 Uhlíkové nanorúrky na montmorillonite



Obr. 4.1 Vzorka čistého montmorillonitu použitá ako substrát na syntézu CNTs. Ílový minerál MMT bol separovaný z bentonitu zo slovenskej lokality Stará Kremnička – Jelšovský Potok.



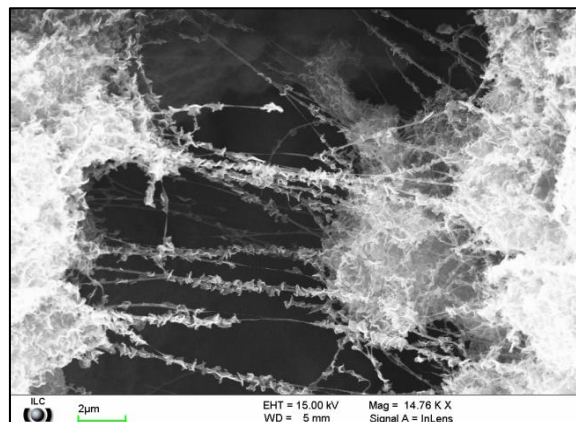
Obr. 4.2 Grafénové nanosteny a premostovanie častíc železitého montmorillonitu.

HF CVD syntézy na železom modifikovaných montmorillonitoch (Fe-MMT) vo všetkých prípadoch viedli k vytvoreniu uhlíkových nanorúrok alebo uhlíkovej vrstvy, v ktorej hlavné zastúpenie mali uhlíkové nanorúrky. Na vzorkách železitého montmorillonitu bol po depozícii CNTs pozorovaný vznik nanokompozitov zložených z trojrozmernej siete uhlíkových nanorúrok a častíc minerálu. Zavedením plazmového napätia v posledných 5 minútach depozície CNTs sa dosiahol vznik nanostien na stenách už narastených uhlíkových nanorúrok (obr. 4.2).

4.2 Uhlíkové nanorúrky na zeolite



Obr. 4.3 Vzorka prírodného zeolitu z najvýznamnejšieho slovenského priemyselne využívaného ložiska v Nižnom Hrabovci.



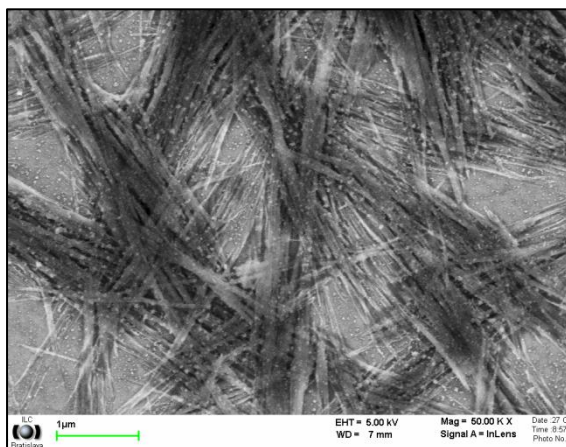
Obr. 4.4 SEM snímka uhlíkových nanorúrok prepájajúcich dve strany kavity platničky zeolitového tufu. Ako steny tufu, tak aj samotné nanorúrky sú pokryté grafénovými nanostenami.

Na prípravu katalytického substrátu boli použité platničky 10 x 6 x 1 mm z monolitického bloku zeolitového tufu. Výsledok syntézy nanokompozitov v HF CVD reaktore ilustruje obrázok 4.4. Dominantnou vlastnosťou vzniknutej uhlíkovej fázy na zeolite sú uhlíkové nanorúrky pokryté vrstvou grafénových

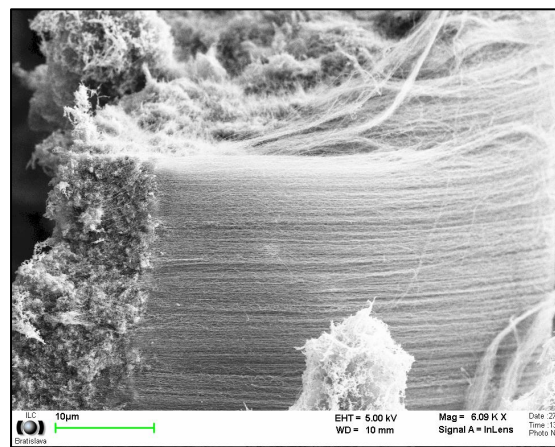
nanostien, ktoré boli zviditeľnené elektrónovou mikroskopiou a potvrdené Ramanovou spektroskopiou. Na obrázkoch vidieť aj premostovanie častíc zeolitu nanorúrkami. Na preskúmanie vnútornej štruktúry syntetizovaných nanorúrok bola použitá transmisná elektrónová mikroskopia. Pomocou transmisnej elektrónovej mikroskopie boli v nanorúrke videné aj katalytické častice železa. Tie sa nachádzali zapuzdrené vo vrcholoch uhlíkových nanorúrok, čo poukazuje na vrcholový rastový mód. Katalytické častice nezostávajú ukotvené na povrchu substrátu, ale sú počas rastu nanorúrky vytláčané do priestoru. Ramanova spektroskopia uhlíkových nanorúrok na zeolite poukázala na mnohostenné nanorúrky. Záver experimentov so zeolitom je ten, že pre úspešnú syntézu uhlíkových nanorúrok je nutná impregnácia železom a nanorúrky prerastajú štruktúru minerálu a tvoria 3D nanokompozit.

4.3 Uhlíkové nanorúrky na sepiolite

Kryštály sepiolitu majú podlhovastý tvar (obr. 4.5). V štruktúre sepiolitu sa nachádzajú kanáliky, ktoré sú zvyčajne vyplnené viazanou vodou a vymeniteľnými kationmi draslíka a sodíka. Iónová výmena železitými iónmi je pri syntézach uhlíkových nanorúrok efektívna.



Obr. 4.5 SEM snímka ukazujúca typický ihličkovitý tvar kryštálikov sepiolitu a ich rozmery



Obr. 4.6 Homogénne zväzky uhlíkových nanorúrok na železitom sepiolite

Uhlíkové štruktúry na sepiolite tvorili usporiadané zväzky uhlíkových nanorúrok (obr. 4.6). Tie sa vytvorili pod povrchom katalytickej vrstvy sepiolitu, ktorú tak počas rastu v HF CVD reaktore oddelili od podložnej kremíkovej platničky. Zväzky nanorúrok sa vyznačovali vysokou hustotou vzťahovanou na plošnú jednotku podkladového substrátu. Hrúbka týchto vrstiev bola približne 30 μm . Priemer nanorúrok vo vrstve bol približne od 10 nm do 20 nm.

Úspešná depozícia uhlíkových nanorúrok na sepiolite už bola publikovaná. Autori práce [6] uskutočnili syntézu SWNTs na Fe a Co/Mo-modifikovanom sepiolite s veľmi nízkym výťažkom nanorúrok. Doposiaľ však nebola opísaná úspešná syntéza vrstiev, alebo tzv. lesov vertikálne zoradených viacvrstvových nanorúrok nielen na sepiolite, ale ani na žiadnom inom prírodnom mineráli.

4.4 Uhlíkové fázy na zostatkoch po ťažbe rúd v banských vodách

Experimentálna syntéza uhlíkových nanorúrok sa uskutočnila na vzorkách získaných z banského odpadu z brehov sedimentačných nádrží v Markušovciach (obr. 4.7), z vody vytekajúcej z bane v Smolníku (obr. 4.8) a zo sedimentu z banských vôd z lokality Poproč (obr. 4.9).



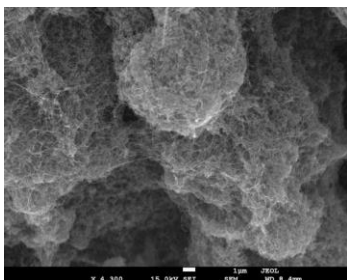
Obr. 4.7 Tmavý sediment na brehu odkalovacej nádrže v Markušovciach



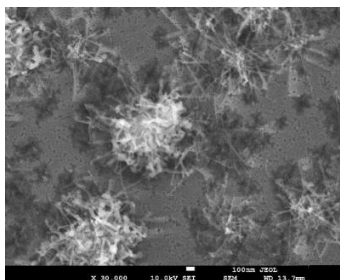
Obr. 4.8 Voda vytekajúca z banského diela v Smolníku



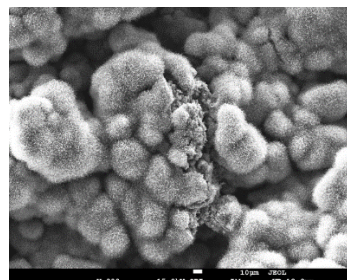
Obr. 4.9 Materiál odobratý z nánosov z banských vôd z lokality Poproč



Obr. 4.10 CNTs pokrývajúce povrch sedimentu z odkalovacej nádrže v Markušovciach.



Obr. 4.11 Nanokompozit syntetizovaný na zrazeninách banských vôd zo Smolníka



Obr. 4.12 Nanokompozit syntetizovaný na sedimentoch z bane Poproč

Výber banských odpadov použitých pre syntézu CNTs bol uskutočnený vzhľadom na prítomnosť železa v rôznych oxidačných stupňoch a prítomnosť iných prvkov, ktoré môžu pôsobiť ako ko-katalyzátory.

⁶ J.Q. Nie, Q. Zhang, M.Q. Zhao, et al: Synthesis of high quality single-walled carbon nanotubes on natural sepiolite and their use for phenol absorption, Carbon 49(5) (2011):1568-1580; DOI:10.1016/j.carbon.2010.12.039

Výsledky syntéz sú zobrazené na obr. 4.10 až 4.12. Katalytické substráty izolované z troch rôznych banských vôd sa výrazne líšia v mnohých fyzikálno-chemických vlastnostiach. Podľa očakávania sa aj vzniknuté uhlíkové fázy vo všetkých troch prípadoch výrazne líšia. V prípade experimentálnej vzorky banského odpadu zo Smolníka sa častice katalyzátora vo forme nanočastočiek kovu vplyvom technologických podmienok „zlievali“, čím sa znížil katalytický účinok kovu. V nanokompozitoch syntetizovaných na substrátoch z banských vôd z lokality Poproč boli pozorované okrem uhlíkových nanorúrok aj uhlíkové nanovlákná. Banský odpad z lokality Markušovce, obsahujúci pyrit FeS_2 , chalcopyrit CuFeS_2 a tetrahedrit $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, vplyvom vysokej teploty v reaktore ($\approx 2200^\circ\text{C}$) a následne prietokom H_2 a CH_4 za prítomnosti elektrického poľa katalyzoval tvorbu SWNTs a uhlíkových nanostien. Katalyticky aktívne látky pre syntézu CNT obsiahnuté v sedimente z brehu odkalovacej nádrže Markušovce sú podstatne účinnejšie ako katalyzátory získané zo zrazenín zo smolníckych banských vôd. Vznik homogénnej vrstvy nanovláknien depozitu na odpade z Poproče je ovplyvnený jednak prítomnosťou železitého katalyzátora a ko-katalyzátora, pravdepodobne Sb alebo As. Potvrdila sa naša pracovná hypotéza, že pri tých istých technologických podmienkach syntézy, bude na morfológiu výsledného CNTs depozitu mať rozhodujúci vplyv katalyzátor a ko-katalyzátor.

5 Hlavné prínosy dizertačnej práce

1. Hlavným prínosom konštrukčnej časti dizertačnej práce je funkčné mikroelektronické zariadenie na meranie teploty držiaka vzoriek v HF CVD reaktore, ktorý je realizovaný podľa vlastného návrhu na profesionálnej úrovni. Oproti pôvodnému riešeniu merania teploty je prínosom overená presnosť merania teploty v pracovnom teplotnom intervale, stabilita elektrických charakteristík elektronickej konštrukcie počas technologického procesu, galvanické oddelenie senzora teploty v meracom reťazci a jednoduchá údržba bez nutnosti údržby trecích prstencových kontaktov.

2. Hlavným prínosom technologickej časti práce je potvrdenie, že prírodné minerály a banské odpady po ťažbe, železa, medi a antimónu zo Slovenska vykazujú vysokú katalytickú aktivitu pri syntéze CNTs metódou HF CVD. Tú by bolo možné využiť aj na ich priemyselnú výrobu. Hlavnou cieľovou skupinou uplatnenia nanokompozitov na báze CNTs by mohli byť sorpčné a filtračné materiály a zároveň aj niektoré plasty, kde by CNTs mohli plniť funkciu fortifikačného (spevňujúceho) materiálu. Variabilita minerálnych substrátov a variabilita ich vlastností a uhlíkových štruktúr sa tu stáva ich veľkou výhodou.

6 ZÁVER

Výsledkom riešenia konštrukčnej časti dizertačnej práce je návrh a realizácia nového elektronického merača teploty držiaka vzoriek (stolčeka) v reaktore, ktorý spočíva na týchto technických parametroch:

1. Senzorom teploty je termočlánok typu N, ktorý je umiestnený v osi stolčeka. Stolček spolu s termočlánkom sa otáčajú konštantnou rýchlosťou. Vygenerované termonapätie je zosilnené a prevedené na frekvenciu napäťových impulzov.
2. Ťažiskom elektronickej konštrukcie merača teploty je zostavenie spínaného zdroja napätia, ktorého kľúčovým komponentom je hrnčekové transformátorové jadro, kde jeho kruhová geometria je využitá na prenos elektrického napájania zo statickej časti reaktorovej aparatury do elektroniky rotačného stolčeka.
3. Návrh nového zdroja napájania je konštrukčne unikátny v tom, že jeho výstupné svorky majú mechanickú voľnosť a teda možnosť rotovať bez použitia mechanických kontaktov. Prenos napájacej energie sprostredkúva magnetické pole v hrnčekovom transformátore. Nové riešenie napájania nie je závislé na údržbe trecích prstencových kontaktov.
4. V elektronike vysielacej časti elektrických impulzov je implementovaná aj elektronická kompenzácia ohrevu koncov termočlánku. Riešenie ďalej implementuje symetrizáciu výstupných napätí a ochranu proti nadprúdu v napájacom zdroji.
5. Galvanicky oddelený výstup spínaného napájacieho zdroja prevzal funkciu DC/DC meniča a izolačného zosilňovača po ich odstránení z pôvodného riešenia. Kompaktný DC/DC menič s galvanicky oddeleným výstupom bol nahradený flyback DC/DC meničom pozostávajúcim z hrnčekového transformátora, čím sa galvanické oddelenie v napájaní zachováva. Jeho riadenie je realizované spätnoväzobným prúdovým módom.
6. Auxiliárne vinutie transformátora, ktoré sa nachádza na statickej časti zdroja a na ktorom je možné sledovať výstupné napätie meniča je použité na reguláciu všetkých troch výstupných napätí meniča, kde dva výstupy so sekundárnymi vinutiami sú regulované automaticky transformačným pomerom transformátora.
7. Na výstupe zdroja pochádzajúceho z dvoch sekundárnych vinutí je zaradený lineárny symetrický postregulátor stabilizujúci výstupné napätie na $\pm 12\text{ V}$ s presnosťou regulácie napätí $\pm 5\%$, zabezpečujúci symetriu výstupných napätí aj pri nútenom poklese jedného z týchto napätí. Symetria napätí postačuje v rozsahu od 2 V do plného napätia (12 V) s odchýlkou symetrie do 0,5 V pri preťažení.
8. Bezdrôtový prenos informácie o teplote je realizovaný optickou väzbou vzduchom medzi fotodiodou a fototranzistorom. Ako vysielateľ svetelných impulzov pre optický kanál je použitá vysokosvietivá LED. Prijímač svetelných impulzov pozostáva z fototranzistora zapojeného v sérii s rezistorom na vstupe tranzistorového spínača.
9. Navrhnutý a skonštruovaný merač teploty bol postupne odladený v simulátore, boli merané jeho

elektrické parametre a kalibrovaný. Merač teploty sa vyznačuje týmito charakteristikami:

- Stabilitou spätnej väzby zrealizovaného flyback meniča, nakoľko po skokových zmenách záťažového prúdu jeho výstupné napätie nevykazuje žiadne tlmené kmity.
- Z priebehov odozvy výstupného napätia vyplýva optimálne nastavenie fázovej rezervy, keďže meraním pozorujeme absenciu tlmených kmitov.
- V odozve na skokové uvoľnenie záťaže po poklese výstupného napätia vybíjaním, regulačná slučka opäť otvára výkonový tranzistor, kedy pozorujeme reguláciu výstupného napätia s tlmenými kmitmi. Počet zákmitov je približne dva až tri. Fázová rezerva je dostatočná pre zabezpečenie stability postregulátora aj pre bezzáťažovú podmienku prevádzky.
- Galvanické oddelenie senzora teploty v meracom reťazci.
- Zosilňovanie, posun a konverzia U/f a f/U termonapätí termočlánku prebieha s malou nelinearitou danou vlastnosťami spracujúcej elektroniky, čo sa potvrdilo odchýlkami v kalibračnom modeli menšími než $\pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Výsledkom kalibračného procesu je intervalový odhad kombinovanej neistoty merania teploty implementovaným meračom teploty $\pm 9^{\circ}\text{C}$ v rozsahu od 22°C do 500°C a $\pm 13^{\circ}\text{C}$ v rozsahu od 500°C do 700°C .

V druhej časti dizertačnej práce sú prezentované vybrané depozity uhlíkových nanorúrok na Fe-dopovaných prírodných mineráloch (montmorillonit, zeolit) zo slovenských priemyselne významných ložísk a syntézy nanokompozitov na báze rudných zvyškov z prírody zo slovenských lokalít. Overenou nutnou podmienkou syntézy je dodržanie odladených technologických podmienok a to optimálnej doby rastu, vhodného pomeru prietokov plynov, udržanie zvolenej teploty substrátu a žeraviacich vlákien pre účinnú pyrolýzu metánu. Overeným výsledkom je, že za daných technologických podmienok v danom HF CVD reaktore dochádza k syntéze uhlíkových nanorúrok len nad teplotou 600°C a len na Fe obohatených minerálnych substrátoch.

7 RESUME

The dissertation has an experimental character. The main topic of the work is the optimization of technologies for the synthesis of nanocomposites based on carbon nanotubes in an hot filament chemical vapour deposition reactor (HF CVD). A solution of the first part of the dissertation is the design and implementation of a new electronic temperature meter of holding a sample in an HF CVD reactor. A stage, which rotates at a constant speed during the synthesis, is placed in the reactor chamber and tungsten fibers are heated above it. The temperature sensor is an N-type thermocouple placed under the table. The

generated thermal voltage is amplified and converted to the frequency of voltage pulses. Wireless transmission of temperature information is realized by optical air coupling between the photodiode and the phototransistor. The focus of the electronic design of the temperature meter is the assembly of a switched-mode power supply, the key component of which is a pot core transformer, where its circular geometry is used to transfer energy needed for power from the static part of the reactor to the rotary holder electronics. The design of the new power supply is unique in that its output terminals have mechanical freedom and thus the possibility of rotation without the use of mechanical contacts. The transmission of supply energy is mediated by the magnetic field in pot core transformer. The reconstruction of the transmitting part also enabled the implementation of thermocouple end heating compensation and the implementation of output voltage balancing and overcurrent protection. A switch-mode power supply with a "flyback" topology working with current mode control is designed. A linear symmetrical post-regulator is included at the output of the power supply, stabilizing the output voltage to ± 12 V with a voltage regulation accuracy of $\pm 5\%$, ensuring symmetry of the output voltages even with a forced drop of one of these voltages. Voltage symmetry is sufficient in the range from 2 V to full voltage with a symmetry deviation of up to 0.5 V at overload. The power supply is not dependent on the maintenance of the friction ring contacts. The designed and constructed temperature meter was gradually debugged in the simulator, its electrical parameters were measured and it was calibrated. The temperature meter was implemented in the HF CVD reactor. The temperature meter is characterized by two crucial electrical characteristics, namely the stability of the flyback converter feedback, because after sudden changes in the load current, its output voltage does not show any damped oscillations and sufficient phase margin for post-regulator stability and no-load operating conditions. The result of the calibration process is an interval estimation of the combined uncertainty of the temperature measurement implemented by the temperature meter $\pm 9^\circ\text{C}$ in the range from 22°C to 500°C and $\pm 13^\circ\text{C}$ in the range from 500°C to 700°C . In the second part of the thesis, selected synthesized nanocomposites based on carbon nanotubes (CNTs) and minerals from Slovak localities are documented and evaluated in terms of morphology. The selection of nanocomposites based on CNTs on residues after mining of ore raw materials, which contain metals capable of catalyzing the growth of CNTs, is also presented.

8 ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORA

Zoznam dokumentov podľa ISO690 k 1.6.2021

AAB Vedecké monografie vydané v domácich vydavateľstvách

AAB01 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BÉDIOVÁ, Katarína - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal**. *Nanokompozity na báze uhľíkových nanorúrok a vybraných silikátových minerálov*. 1. vyd.

Bratislava : Univerzita Komenského v Bratislave, 2018. 115 s. ISBN 978-80-223-4671-9.

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

- ADC01 BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol - ČAPLOVIČOVÁ, Mária - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip. Synthesis of Nanocomposites Based on Nanotubes and Silicates. In *Applied Surface Science*. Vol. 258 (2012), s.2540-2543. ISSN 0169-4332 (2012): 2.112 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.836 - SJR, Q1 - SJR Best Q).
- ADC02 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - PASTORKOVÁ, Katarína - LUPTÁKOVÁ, Viera - **KOLMAČKA, Michal** - VOJÁČKOVÁ, Anna - MICHÁLKA, Miroslav - VÁVRA, Ivan - KRIŽANOVÁ, Zuzana. The Growth of Carbon Nanotubes on Montmorillonite and Zeolite (Clinoptilolite). In *Applied Surface Science*. Vol. 254 (2008), s.5073-4079. ISSN 0169-4332 (2008): 1.576 - IF, 0.890 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: WOS.
- ADC03 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - KRIŽANOVÁ, Zuzana - VÁVRA, Ivan - JESENÁK, Karol - PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - OŽVOLDOVÁ, Miroslava. Electron Diffraction on Graphite Nanocrystals in the Walls of Carbon Nanotubes. In *Applied Surface Science*. Vol. 255 (2008), s.7568-7573. ISSN 0169-4332 (2008: 1.576 - IF, 0.890 - SJR, Q1 - SJR Best Q).
- ADC04 PASTORKOVÁ, Katarína - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal** - ČAPLOVIČOVÁ, Mária - LAZIŠŤAN, Filip - MICHÁLKA, Miroslav. The Growth of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Natural Clay Minerals (Kaolinite, Nontronite and Sepiolite). In *Applied Surface Science*. Vol. 258 (2012), s.2661-2666. ISSN 0169-4332 (2012: 2.112 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.836 - SJR, Q1 - SJR Best Q).

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

- ADE01 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - KLOTTON, Gabriel - **KOLMAČKA, Michal** - VANČO, Ľubomír. Redesign of the supply electronics of the temperature gauge in a HF CVD reactor. In *ElectroScope [elektronický zdroj]*. Roč. 2016, č. 1 (2016), online [4] s. ISSN 1802-4564.
- ADE02 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - BREZA, Juraj - VANČO, Ľubomír. Elimination of the leakage inductance of the primary winding of an impulse transformer for a contact-less temperature gauge. In *ElectroScope [elektronický zdroj]*. Roč. 2019, č. 2 (2019), [3] s. ISSN 1802-4564.

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

- ADF01 **KOLMAČKA, Michal** - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - LAZIŠŤAN, Filip - ZAJÍČKOVÁ, Lenka - ELIÁŠ, Marek - JESENÁK, Karol - PASTORKOVÁ, Katarína. Wireless Temperature Measurement in the Hot Filament CVD Reactor for Deposition of Carbon Nanotubes. In *Journal of Electrical Engineering*. Vol. 60, No. 6 (2009), s.346-349. ISSN 1335-3632 (2009: 0.175 - IF, 0.156 - SJR, Q3 - SJR Best Q).
- ADF02 PASTORKOVÁ, Katarína - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip - MICHÁLKA, Miroslav. Katalytická syntéza hlikových nanorúrok na montmorillonite a zeolite. In *ChemZi*. Roč. 5, č. 9 (2009), s.161. ISSN 1336-7242.

AFA Publikované pozvané príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- AFA01 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal** - HUBEŇÁK, Michal. Výskum nanokompozitov na báze uhlíkových nanorúrok v riešiteľskom kolektíve z Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity a Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. In *Sborník příspěvků 19. ročníku konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech : Pardubice, Česká Republika. 20.9.2017*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2017, S. 17-19. ISBN 978-80-7560-058-5.
- AFA02 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal** - CHRAPPOVÁ, Jana. Variabilita uhlíkových nanorúrok a ich zoskupení syntetizovaných na práškových anorganických matriciach. In *KSAP-PM 2019 : Sborník příspěvků 21. ročníku konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech. Pardubice, Česká republika. 19. září 2019*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2019, S. 17-19. ISBN 978-80-7560-222-0.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- AFC01 HUBEŇÁK, Michal - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal**. Syntéza uhlíkových nanorúrok na rôznych typoch anorganických matric. In *Sborník příspěvků 17. ročníku*

- konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech : Pardubice, Česká Republika, 17. září 2015.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2015, [5] s. ISBN 978-80-7395-886-2.
- AFC02 HUBEŇÁK, Michal - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - BREZA, Juraj - KUČHTA, Ľubomír. Comparison of the catalytic efficiency of natural and synthetic montmorillonites for the growth of carbon nanotubes. In *NANOCON 2015 : 7th International conference on nanomaterials. Brno, Česká republika. October 14th - 16th, 2015.* Ostrava : Tanger, 2016, S. 122-125. ISBN 978-80-87294-63-5. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-84962808557 ; WOS: 000374708800020.
- AFC03 HUBEŇÁK, Michal - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal**. Katalyticky aktívne kovy z ťažobných odpadov pre syntézu uhlíkových nanorúrok. In *KSAP-PM 2016 : 18. konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech. Pardubice, Česká republika. 21. září 2016.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2016, S. 74-78. ISBN 978-80-7395-985-2.
- AFC04 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - MICHÁLK, Miroslav - **KOLMAČKA, Michal**. Depozícia uhlíkových nanorúrok na montmorillonite. In *Sborník příspěvků 10. ročníku Konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech : Pardubice, Czech Republic, 11.9.2008* : Univerzita Pardubice, 2008, s.51-56. ISBN 978-80-7395-084-2.
- AFC05 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip - MICHÁLK, Miroslav. Stručná charakteristika výskumu syntéz nanorúrok na Katedre mikroelektroniky FEI STU a na Katedre anorganickej chémie PF UK. In *Sborník příspěvků 13. ročníku Konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech : Pardubice, Czech Republic, 22.9.2011.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2011, s.72-74. ISBN 978-80-7395-404-8.
- AFC06 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - ČAPLOVIČOVÁ, Mária - LAZIŠŤAN, Filip. Creation of Nanocomposites Based on Carbon Nanotubes and Zeolite and Carbon Nanotubes and Montmorillonite. In *NANOCON 2011 : 3rd International Conference. Brno, Czech Republic, September 21 - 23, 23011.* Ostrava : TANGER, 2011, s.CD-Rom. ISBN 978-80-87294-23-9.
- AFC07 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal** - MICHÁLK, Miroslav. Synthesis of Carbon Nanotubes on Natural Aluminosilicates. In *EDS'08. Electronic Devices and Systems IMAPS CS International Conference 2008 : Brno, Czech Republic, 10.-11.9.2008.* Brno : VUT v Brně, 2008, s.240-245. ISBN 978-80-214-3717-3.
- AFC08 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - KRIŽANOVÁ, Zuzana - VÁVRA, Ivan - JESENÁK, Karol - PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - OŽVOLDOVÁ, Miroslava. Carbon Nanotubes Studies by Electron Diffraction. In *EDS'09. Electronic Devices and Systems IMAPS CS International Conference 2009 : Brno, Czech Republic, 2.-3.9.2009.* Brno : VUT v Brně, 2009, s.26-32. ISBN 978-80-214-3933-7.
- AFC09 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip - PASTORKOVÁ, Katarína - BREZA, Juraj - ĎURAČKOVÁ, Daniela. The Principle of a new Thermometer in HF CVD. In *ISSE 2009. International Spring Seminar on Electronics Technology : Brno, Czech Republic, 13.-17.5.2009.* Brno : University of Technology, 2009, s.324-325. ISBN 978-80-214-3874-3.
- AFC10 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - PASTORKOVÁ, Katarína - LAZIŠŤAN, Filip - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal**. Connections and Bridges of Carbon Nanotubes Grown on Aluminosilicates (Namely: Montmorillonite and Zeolite - Clinoptilolite). In *NANOCON 2010 : 2.mezinárodní konference. Olomouc 12.-14.10.2010.* Ostrava : TANGER, 2010, s.CD-Rom.
- AFC11 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BÉDIOVÁ, Katarína - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal** - VANČO, Ľubomír - LAZIŠŤAN, Filip - ĎURAČKOVÁ, Daniela. The Influence of Different Structures of Silicates on an Efficient CVD Growth of Carbon Nanotubes. In *EDS'13. Electronic Devices and Systems IMAPS CS International Conference 2013 : Proceedings; Brno, Czech Republic, 26-27 June 2013.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2013, s.155-159. ISBN 978-80-214-4754-7.

- AFC12 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BÉDIOVÁ, Katarína - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal** - KADLEČÍK, Jozef - VANČO, Ľubomír - ČAPLOVIČOVÁ, Mária - LAZIŠŤAN, Filip. In *Situ Formation of NanoComposites Based on Carbon Nanotubes and Phyllosilicates (Kaolinite and Sepiolite)*. In *NANOCON 2012 [elektronický zdroj] : 4th International Conference. Brno, Czech Republic, October 23-25, 2012*. Ostrava : TANGER, 2012, s.CD ROM, [5] p. ISBN 978-80-87294-32-1.
- AFC13 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol - BREZA, Juraj - HUBEŇÁK, Michal - **KOLMAČKA, Michal** - VANČO, Ľubomír - KADLEČÍK, Jozef - ČAPLOVIČOVÁ, Mária. Creation of nanocomposites based on carbon nanotubes and nanotubes of TiO₂ or nanoribbons of sodium titanate. In *NANOCON 2014 [elektronický zdroj] : 6th International Conference. Brno, Czech Republic, November 5th - 7th 2014*. 1. vyd. Ostrava : TANGER, 2014, CD-ROM [5] s. ISBN 978-80-87294-55-0. V databáze: WOS: 000350636300027.
- AFC14 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal** - HUBEŇÁK, Michal - RACKO, Juraj. Hybridization of natural inorganic materials (natural minerals) by carbon nanotubes. In *ElectroScope [elektronický zdroj]*. Roč. 2018, č. 1 (2018), online [4] s. ISSN 1802-4564.
- AFC15 PASTORKOVÁ, Katarína - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal** - BREZA, Juraj - MICHÁLK, Miroslav. Ramanova spektroskopie uhlíkových nanorúrok syntetizovaných na zeolite. In *Sborník příspěvků 10. ročníku Konference o speciálních anorganických pigmentech a práškových materiálech : Pardubice, Czech Republic, 11.9.2008* : Univerzita Pardubice, 2008, s.70-75. ISBN 978-80-7395-084-2.
- AFC16 PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol. Štúdium vplyvu katalyzátora na rast uhlíkových nanorúrok pripravených metódou HFCVD. In *Pokroky v anorganické chemii : VIII. seminár. Cíkháj, 22.-25.6.2010*. Brno : Tribun EU, 2010, s.9-11. ISBN 978-80-7399-972-8.
- AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách**
- AFD01 BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol - ČAPLOVIČOVÁ, M. - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip. Formation of Nanocomposites Based on Carbon Nanotubes and Silicates. In *APCOM 2011. Applied Physics of Condensed Matter : Proceedings of the 17th International Conference. Nový Smokovec, Slovak Republic, June 22-24, 2011*. Žilina : Žilinská univerzita, 2011, s.44-47. ISBN 978-80-554-0386-1.
- AFD02 HUBEŇÁK, Michal - JESENÁK, Karol - KUREK, Matej - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal**. Syntéza uhlíkových nanorúrok metódou chemickej depozície pár na rôznych typoch anorganických matric. In *Študentská vedecká konferencia PriF UK 2015 : zborník recenzovaných príspevkov, 22. apríl 2015, Bratislava*. 1. vyd. Bratislava : Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, 2015, S. 979-984. ISBN 978-80-223-3859-2.
- AFD03 HUBEŇÁK, Michal - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal**. Použitie prírodného a syntetického montmorillonitu ako substrátu pre syntézu kompozitu s CNTs. In *Prírodné a syntetické zeolity na Slovensku, 6. odborný seminár, Bratislava, 23.6.2015 [elektronický zdroj] : zborník príspevkov*. 1. vyd. Bratislava : FCHPT STU v Bratislave, 2015, CD ROM, S. 106-110. ISBN 978-80-89597-26-0.
- AFD04 HUBEŇÁK, Michal - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal**. Využitie banských odpadov ako substrátov pre syntézu uhlíkových nanorúrok. In *Študentská vedecká konferencia PriF UK 2016 [elektronický zdroj] : zborník recenzovaných príspevkov*. 1. vyd. Bratislava : Univerzita Komenského, 2016, S. 944-947. ISBN 978-80-223-4103-5.
- AFD05 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - VOJÁČKOVÁ, Anna - MICHÁLK, Miroslav - **KOLMAČKA, Michal**. Depozícia uhlíkových nanorúrok na montmorillonite a klinoptilolite. In *Prírodné a syntetické zeolity na Slovensku : Odborný seminár. Bratislava, 12.6.2007*. Bratislava : FCHPT STU v Bratislave, 2007, s.Po02-1-14.
- AFD06 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - HUBEŇÁK, Michal - **KOLMAČKA, Michal** - BÁLINTOVÁ, Magdaléna. Syntéza uhlíkových nanorúrok na odpadoch po ťažbe rudných surovín na Slovensku. In *Zborník vedeckých príspevkov z konferencie Geochemia 2014*.

- Bratislava : Štátny geologický ústa Dionýza Štúra - ŠGÚDŠ, 2014, s. 83-85. ISBN 978-80-8174-002-2.
- AFD07 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - KRIŽANOVÁ, Zuzana - VÁVRA, Ivan - JESENÁK, Karol - PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - OŽVOLDOVÁ, Miroslava. Electron Diffraction Study of Carbon Nanotubes. In *APCOM 2009. Applied Physics of Condensed Matter : Proceedings of the 15th International Workshop. Bystrá, Slovak Republic, 24.-26.6.2009*. Žilina : Žilinská univerzita, 2009, s.65-68.
- AFD08 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - VOJAČKOVÁ, Anna - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal** - KRIŽANOVÁ, Zuzana - ČAPLOVIČOVÁ, Mária. Isolation of Carbon Nanotubes from other Carbon Structures in Deposited Nanotube Layers. In *Nanotechnology and vacuum : Conference. Bratislava, Slovenská republika, 21.12.2005*. Bratislava : Slovenská vákuová spoločnosť, 2005, s.89-95.
- AFD09 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - JESENÁK, Karol - HUBEŇÁK, Michal - VANČO, Ľubomír - ŠKRINIAROVÁ, Jaroslava - **KOLMAČKA, Michal** - BREZA, Juraj. Formation of nanocomposites based on carbon nanotubes and montmorillonite, chrysotile and vermiculite. In *APCOM 2015 : Proceedings of 21st international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 24-26, 2015*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2015, S. 268-271. ISBN 978-80-227-4373-0.
- AFD10 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - **KOLMAČKA, Michal** - JESENÁK, Karol - HUBEŇÁK, Michal - BÁLINTOVÁ, Magdaléna. Synthesis of carbon nanotubes on colloidal residues after ore mining at the sites near Rudňany and Smolník. In *APCOM 2016 : Proceedings of 22nd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 22-24, 2016*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, S. 270-274. ISBN 978-80-227-4572-7.
- AFD11 **KOLMAČKA, Michal** - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna. Optoelektronický merač teploty pre HF CVD reaktor. In *ŠVOČ 2007. Zborník víťazných prác : Bratislava, Slovak Republic, 25.4.2007*. Bratislava : STU v Bratislave, 2007, s.CD-Rom. ISBN 978-80-227-2650-4.
- AFD12 **KOLMAČKA, Michal** - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - LAZIŠŤAN, Filip - BREZA, Juraj. Nový merač teploty v HF CVD reaktore s bezdrôtovým (optickým) prenosom informácie o tepote. In *Škola vákuovej techniky : Vzájomná spolupráca pracovísk = kvalitný výskum. Štrbské Pleso, 5.-8.6.2008*. Bratislava : Slovenská vákuová spoločnosť, 2008, s.99-107. ISBN 978-80-969435-4-8.
- AFD13 LAZIŠŤAN, Filip - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - BREZA, Juraj. Kalibrácia merača teploty (s bezdrôtovým - optickým prenosom informácie o teplote) v HF CVD reaktore. In *Vákuum pre nanotechnológie : Škola vákuovej techniky. Štrbské Pleso, 28.-31.5.2009*. Bratislava : Slovenská vákuová spoločnosť, 2009, s.74-79. ISBN 978-80-969435-5-5.
- AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií**
- AFG01 HUBEŇÁK, Michal - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - BREZA, Juraj - KUČHTA, Ľubomír. Comparison of the catalytic efficiency of natural and synthetic montmorillonites for the growth of carbon nanotubes. In *Proceedings of Abstracts, 7th International Conference NANOCON 2015, October 14 – 16 2015, Brno*. 1. vyd. Ostrava : Tanger, 2015, [1] s. ISBN 978-80-87294-59-8.
- AFG02 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - KLOTTON, Gabriel - **KOLMAČKA, Michal** - VANČO, Ľubomír. Reconstruction of the supply circuits of the temperature meter in a HF CVD reactor. In *IMAPS flash conference : 1st International microelectronics assembly and packaging society. Brno, Czech Republic. 15-16 October 2015*. Brno : Brno University of Technology, 2015, S. 32-33. ISBN 978-80-214-5270-1.
- AFG03 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal** - HUBEŇÁK, Michal - RACKO, Juraj. Hybridization of natural inorganic materials by carbon nanotubes. In *IMAPS flash conference 2018 : 4th International microelectronics assembly and packaging society. Brno, Czech Republic. October 25-26, 2018*. Brno : University of Technology, 2018, S. 56-57. ISBN 978-80-214-5680-8.
- AFG04 KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - VANČO, Ľubomír - BREZA, Juraj. Elimination of the leakage inductance of the primary winding of an impulse transformer for a contact-less

temperature gauge. In *IMAPS flash conference 2019 : 5th International microelectronics assembly and packaging society. Brno, Czech Republic. October 24-25, 2019*. Brno : University of Technology, 2019, S. 64-65. ISBN 978-80-214-5796-6.

AFH Abstrakty príspevkov z domácich konferencií

- AFH01 HUBEŇÁK, Michal - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - JESENÁK, Karol - **KOLMAČKA, Michal**. Nanocomposite based on carbon nanotubes and montmorillonite. In *Preparation of ceramic materials : proceedings - 11th International conference, Herľany, 9. - 11. jún 2015*. 1. vyd. Košice : Technical University of Košice, 2015, S. 150-151. ISBN 978-80-553-2122-6.
- AFH02 PASTORKOVÁ, Katarína - JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip. Catalytic Deposition of Carbon Nanotubes on Natural Aluminosilicates. In *Proceedings of VIIIth International Conference "Preparation of Ceramic Materials". Herľany, 9.- 11. júna 2009*. Košice : Technical University of Košice, 2009, s.152-153. ISBN 978-80-553-0208-9.
- AFH03 PASTORKOVÁ, Katarína - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - LAZIŠŤAN, Filip - **KOLMAČKA, Michal** - JESENÁK, Karol - BREZA, Juraj - MICHÁLK, Miroslav. Carbon Nanotube Bridges Grown on Aluminosilicates by Hot Filament CVD Process. In *Nanoved & Nanotech & Techtransfer 2010 : 5th International Conference on Nanosciences, Nanotechnologies, Nanomaterials, Nanomedicine and Technology Transfer. Program and Abstracts. Bratislava, Slovakia, 16.- 19.5.2010*. Brno : Tribun EU, 2010, s.P-019. ISBN 978-80-7399-949-0.

BEF Odborné práce v domácich zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)

- BEF01 JESENÁK, Karol - KADLEČÍKOVÁ, Magdaléna - BREZA, Juraj - PASTORKOVÁ, Katarína - **KOLMAČKA, Michal** - LAZIŠŤAN, Filip - MICHÁLK, Miroslav - ČAPLOVIČOVÁ, Mária. Výber zaujímavých štruktúr uhlíkových nanorúrok pripravených na ílových mineráloch a zeolitoch. In *Prírodné a syntetické zeolity na Slovensku : odborný seminár. Bratislava, SR, 22. 6. 2011*. Bratislava : STU v Bratislave, 2011, s.136-144. ISBN 978-80-227-3522-3.

8.1 Štatistika publikačnej činnosti k 1.6.2021

AAB	Vedecké monografie vydané v domácich vydavateľstvách	1
ADC	Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch	4
ADE	Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch	2
ADF	Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch	2
AFA	Publikované pozvané príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách	2
AFC	Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách	16
AFD	Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách	13
AFG	Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií	4
AFH	Abstrakty príspevkov z domácich konferencií	3
BEF	Odborné práce v domácich zborníkoch (konferenčných aj nekonferenčných)	1
Súčet		48

8.2 Citácie k 1.6.2021

Autor eviduje 80 citácií podľa <https://scholar.google.com/citations?user=ygdQQbcAAAAJ&hl=en>

a 61 citácií v databáze Scopus <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=23977831800>.