



Elektrotechnický ústav

Slovenská akadémia vied

841 04 Bratislava, Dúbravská cesta 9

Posudok k habilitačnej práci

Autor: RNDr. Ing. Martin Kalbáč, PhD.

Názov: Isotopic labelling and in situ Raman spectroscopy in graphene research

Habilitačná práca Dr. Kalbáča má dve časti, v prvej sú zhrnuté výsledky dosiahnuté na jednovrstvovom („single-layer“) graféne. Druhá časť je venovaná grafénovým multivrstvám, a najmä izotopicky značkovaným („isotope labeling“) grafénovým multivrstvám. Práca je doplnená súborom 30 článkov publikovaných v rôznych vedeckých časopisoch, ktorých je Dr. Kalbáč autorom alebo spoluautorom. Články boli publikované v rokoch 2010-2018.

V každej z dvoch častí habilitačnej práce je identifikovateľný prínos Dr. Kalbáča, ktorý bol (a stále je) významný aj v medzinárodnom meradle. V prvej časti je to elektrochemické dopovanie grafénu v súčinnosti s Ramanovskou spektroskopiou. V tom čase (približne pre 10 rokmi) to bol nový prístup, ktorý priniesol nové a významné výsledky, a je v mnohých ohľadoch jednoduchší a účinnejší ako iné spôsoby dopovania (napr. elektrostatickým poľom alebo chemicky). Pomocou sledovanie parametrov, ako je poloha, intenzita a šírka Ramanovských čiar grafénu v závislosti od dopovania, sa dá určiť napríklad miera dopovania systému, pôvod a mechanizmus vzniku Ramanovských čiar, detaily o elektrón-fonónovej interakcii a zmena dĺžky väzby medzi uhlíkovými atómami. Druhou témou ograféne je otázka mechanického napätia (strain). Táto téma je úzko spojená s dopovaním, keďže vplyv napätia na ramanovské spektrum grafénu je veľmi podobný vplyvu elektrochemického dopovania. Dr. Kalbáč so svojimi spolupracovníkmi prispeli k rozvoju metódy, ktorá umožňuje navzájom odlíšiť vplyvy dopovania a mechanického napätia pomocou jednotlivých Ramanovských čiar grafénu. Schopnosť identifikovať nezávisle stupeň dopovania a mechanickú deformáciu mriežky grafénu, bola neskôr využitá aj v súbore prác týkajúcich sa interakcie grafénu so substrátom.

Druhá časť práce sumarizuje výsledky a publikácie týkajúce sa izotopicky značených grafénových multivrstiev. Táto metóda vyvinutá Dr. Kalbáčom a jeho spolupracovníkmi bola zásadná v snahe vysvetliť mnohé detaily fyzikálnych a chemických vlastností grafénu. Metóda je unikátna tým, že rôzne izotopové zloženie navzájom susedných grafénových rovín umožnilo jednoznačne, rovinu za rovinou,

identifikovať odozvu multivrstvy na externé vplyvy ako je dopovanie, zmena teploty, tvorba defektov energetickými iónmi a chemická funkcionalizácia. Ako dobrý príklad je možné uviesť, že pomocou tejto metódy sa podaril identifikovať rozdiel v elektrochemickom dopovaní turbostraticky usporiadanej dvojvrstvy a dvojvrstvy s AB usporiadaním grafénových rovín. Bez izotopického odlišenia rovín, by sa takýto výsledok nedal dosiahnuť.

Pokiaľ sa mám vyjadriť k aktuálnosti problematiky obsahu habilitačnej práce, tak môžem jednoznačne skonštatovať, že témy v nej diskutované, sú stále vysoko aktuálne vo výskumnom priestore na celom svete. Vo výskume grafénu sú nepochybne ešte otvorené otázky, takže je možné, že sa dočkáme zaujímavých publikácií na tieto témy aj od Dr. Kalbáča. Rozhodne sa nedajú tieto vedecké témy považovať ani za uzavreté, ani za nejakú marginálne vo vedeckej komunite.

Čo sa týka zvolených vedeckých metód a všeobecne prístupu k problematike, tieto považujem za vhodné a primerané. Nakoniec, viedli k publikovaniu niekoľko desiatok článkov v popredných svetových časopisoch, kde bola vhodnosť zvolených vedeckých metód predmetom (často veľa) recenzného konania. Vysoký počet originálnych článkov, 30, priložených k habilitačnej práci, považujem za jej jednoznačnú prednosť a dôkaz vysokej kvality vedeckej práce Dr. Kalbáča. Čo sa týka nedostatkov, je objektívne ťažké nájsť v práci nejaké. Samozrejme ja osobne, ako vedec zaoberajúci sa takisto Ramanovskou spektroskopiou, by som niektoré závery uvedené v habilitácii alebo priložených publikáciách formuloval inak, prípadne ich považujem za otáznе. Ale to je záležitosť vedeckej diskusie a nedá sa považovať za nedostatok habilitačnej práce.

Svoj posudok k predloženej habilitačnej práci Dr. Kalbáča si dovoľím zakončiť trochu všeobecnejšie, pretože moje poznatky o jeho práci nie sú obmedzené len na text habilitácie.

Dr. Kalbáča poznám už asi 15 rokov a za ten čas sme sa stretávali na rôznych konferenciách a seminároch venovaných hlavne Ramanovskej spektroskopii a grafénu. Viem teda, že články a príspevky Dr. Kalbáča boli a sú stále diskutované vo vedeckej komunite. O kvalitách vedeckej práce Dr. Kalbáča hovorí aj fakt, že pracoval v laboratóriu Prof. Mildred Dresselhausovej na MIT. Prof. Dresselhausová bola dlhé roky považovaná za jednu z „absolútnych“ autorít v Ramanovskej spektroskopii, a pracovať v jej laboratóriu znamenalo nielen uznanie kvalít spolupracovníka, ale aj možnosť podieľať sa na špičkovom výskume.

V Bratislave, 31.3.2019

Dr. Martin Hulman