

Oponentský posudek disertační práce:

Ing. Pavel Procházka: „Příprava grafenu a výzkum jeho fyzikálních vlastností“

Předložená disertační práce je věnována převážně experimentálnímu studiu růstu CVD grafenu a následné modifikaci pomocí gallia a RTG záření. Předmětem práce je také charakterizace vzorků pomocí spektrálních a mikroskopických metod a elektrická měření.

Práce, psaná v českém jazyce, je po formální stránce rozdělena do třinácti kapitol, včetně úvodu a závěru. Následuje přehled bibliografie, která obsahuje 156 citací a dále přílohy práce formou seznamů publikací autora a přehled použitých zkratk. Celkový rozsah práce bez příloh je 136 stran.

Po stručném úvodu a definici cílů disertační práce následuje přehled literárních poznatků o studovaném materiálu. Autor se věnuje zejména základnímu popisu struktury grafenu, přípravě grafenu metodou CVD, spektroskopické charakterizaci grafenu, měření elektrických vlastností grafenu, vlivu substrátu a defektů na grafen a aplikacím grafenu v elektronických zařízeních.

Dále následuje popis experimentálních výsledků práce. Nejprve se autor zabývá přípravou grafenu metodou CVD. Předmětem práce je testování různých podmínek přípravy s cílem získat co nejkvalitnější vzorky grafenu a to zejména z hlediska transportních vlastností. Zajímavý je postup, kdy je grafen syntetizován na atomárně hladkých površích mědi, která je připravena depozicí mědi na Si/SiO₂ substrát. Získané vzorky jsou testovány zejména pomocí elektrických měření. V některých případech byla dokonce realizována a měřena struktura Hall bar. V případě syntézy grafenu na atomárně hladkých foliích byly získány vzorky s trojnásobnou pohyblivostí nosičů náboje, než v případě komerčních válcovaných folií.

Autor se dále zabývá vlivem depozice gallia na elektrické vlastnosti grafenu. Pomocí transportních měření bylo zjištěno, že dochází k silnému dopování grafenu. V případě depozice většího množství gallia však dochází k tvorbě kapiček, čímž se efektivně snižuje pokrytí grafenu galliem a tak dopování klesá. Do budoucna by bylo jistě zajímavé získané poznatky porovnat s měření pomocí Ramanovy spektroskopie, která umožňuje určit dopování grafenu jeho mechanické napětí i množství defektů.

V poslední části práce se autor zabývá vlivem rentgenového záření na transportní vlastnosti grafenu. Experimenty ukázaly na zásadní roli substrátu. Ozáření grafenu na substrátu Si/SiO₂ došlo k negativnímu dopování grafenu, což bylo dle autora práce způsobeno vznikem kladně nabitých děr v substrátu Si/SiO₂, které mají stejný efekt jako kladně nabitých defektů. Během následného ozáření toto negativní dopování klesá díky neutralizaci kladně nabitých defektů. Autor navrhuje využití rentgenového svazku k řízenému dopování grafenu. Dle mého názoru je tato metoda dopování poněkud složitá pro praktické aplikace, nicméně poznatky práce jsou důležité pro spektroskopická měření grafenu, kde je RTG záření využíváno.


Práce sama je dobře čitelná, drobné výhrady může mít čtenář ke způsobu prezentace některých výsledků, například modifikace grafenu depozicí gallia a expozicí RTG záření je prezentována formou popisu jednotlivých experimentů. Pro přehlednost by bylo vhodnější výsledky shrnout např. do tabulky, aby bylo možné parametry a výsledky experimentů snadno porovnat. Uvedené výhrady však nikterak nezpochybňují kvalitu a cenné výsledky celé práce a lze konstatovat, že cíle práce byly splněny.

S potěšením konstatuji, že ing. Procházka předložil práci, která je zejména po experimentální stránce významným příspěvkem do aktuálního výzkumu grafenu. Ing. Procházka jednoznačně prokázal schopnost samostatné vědecké práce, využití dostupného experimentálního vybavení, kritické analýzy

výsledků a jejich interpretace. Během své práce s ing. Procházka seznámil s celou řadou sofistikovaných metod materiálového výzkumu. Výsledky své práce ing. Procházka publikoval v rámci 8 prací v impaktovaných časopisech, dále byly výsledky presentovány v rámci 10 konferenčních příspěvků. Kromě toho je ing. Procházka spoluautorem tří funkčních vzorků.

Práci doporučuji k obhajobě a věřím, že po úspěšné obhajobě bude ing. Procházkovi přiznán titul PhD.

V Praze, 29. 3. 2018


RNDr. Martin Kalbáč, Ph.D.

Otázky:

- 1) Prosím objasněte původ D a 2D modu v Ramanových spektrech. Proč je 2D mod výrazně širší než G mod?
- 2) Vysvětlete jaký je vliv transferu grafenu na jeho elektrické vlastnosti.
- 3) V práci je na straně 60 uvedeno, že pohyblivost nosičů náboje je 5x vyšší u grafenu vyrobeného v komerčním systému než u grafenu, který byl vyroben ve vysokoteplotním reaktoru. Čím si 5x vyšší pohyblivost vysvětlujete?