

Posudek bakalářské práce  
*Elektrické vlastnosti grafenu*

**Autor:** Jan Wyzula  
**Vedoucí práce:** doc. Mgr. Jiří Tuček, Ph.D.  
**Oponent:** Mgr. Milan Vůjtek, Ph.D.

---

Předložená bakalářská práce se zabývá vlastnostmi uhlíkových struktur, a to především s ohledem na elektrické vlastnosti grafenu. Teoretickým cílem je změření plošného odporu vzorku grafenu, experimentálním cílem změření plošného odporu oxidu grafenu.

Práce je rozdělena do tří hlavních kapitol. V první kapitole jsou nejprve uvedeny různé uhlíkové struktury (nano i makro) a posléze se zaměřuje na grafen, jeho vlastnosti, výrobu a také případné použití (ale jen velmi stručně). Zdůrazněno je to chování grafenu, které je výrazně odlišné od běžných materiálů. Druhá kapitola začíná popisem van der Pauwovy metody a podmínkami její použitelnosti a pokračuje charakterizací dostupného vzorku (XPS analýza) a popisem jeho kontaktování. Dále je uvedeno schema autorem realizovaného proudového zdroje. Klíčová třetí kapitola udává tabulky a grafy z měření plošného odporu pro různé protékající proudy a jejich vyhodnocení. Získaná hodnota je posouzena až v závěru práce, ovšem bez rozpracované teorie nijak podrobně.

Vybrané odborné nedostatky:

1. Vzhledem k tomu, že v experimentální části se měří vlastnosti oxidu grafenu, čekal bych jeho lepší popis v teoretické části (už vzhledem k velké různorodosti výsledků v literatuře).
2. Nepříliš zřetelně se rozlišuje mezi strukturami obsahujícími uhlík a čistě uhlíkovými.
3. Kapitola 2.2 by spíše měla být v první části práce.
4. Naměřená hodnota je označovaná jako odpor, ale ve skutečnosti jde o plošný odpor.
5. Chybné označení napěťové reference TL431 (str. 27).
6. Tvzení „fullerit, který obsahuje 60 uhlíkových atomů“ (str. 10).
7. Uvedená Fermiho rychlost  $106 \text{ m.s}^{-1}$ , která má být 300krát menší než rychlost světla (str. 18).

Po formální stránce má práce vyhovující úroveň, ale vyskytují se časté pravopisné a typografické chyby a také nepřesné formulace. Rozsah práce není příliš velký, ale stále ještě přijatelný, práce je vyhovujícím způsobem zdrojovaná a celkově splňuje požadavky na bakalářskou práci.

V souvislosti s obsahem práce mám na jejího autora několik dotazů:

1. Jaký je rozdíl mezi odporem, plošným odporem a rezistivitou. Můžete vysvětlit jednotku „Ohm na čtverec“?
2. Byla při měření zohledněna možnost vlivu přívodů (např. kontaktní napětí atd.)?
3. Bylo nutné stavět pro dané účely proudový zdroj, když se procházející proud stejně měřil (tedy nestačila by kombinace napěťový zdroj, potenciometr a ampérmetr)?
4. Jaká byla tloušťka použitého vzorku? Jednalo se skutečně o multivrstvu oxidu grafenu, nebo spíše o zoxidovaný grafit?
5. Lze z výsledku XPS analýzy „O=29.9 at.%“ skutečně tvrdit, že ve vzorku je „30% zastoupení oxidických skupin“?
6. Jaký význam má zelený pík v obr. 21 vpravo, resp. proč nedochází k jeho překryvu s naměřenými daty?
7. Mohlo mít na výsledky vliv zahřívání vzorku průchodem proudem? Jak dlouho trvalo jedno měření?
8. Proč nelze k vyhledání grafenu použít AFM (str. 15)?
9. Můžete blíže rozvést tvrzení „Čistý grafenový list by měl mít odpor limitně blížící se k nule“ (str. 32)?

Bakalářskou práci doporučuji k obhajobě a za předpokladu úspěšného zodpovězení otázek ji hodnotím stupněm C.

V Olomouci dne 31. 5. 2016

.....  
Mgr. Milan Vůjtek, Ph.D.  
Katedra experimentální fyziky  
Univerzita Palackého v Olomouci