

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího       posudek oponenta  
 bakalářské práce       diplomové práce

Autor/~~ka~~: **Bc. Tomáš Fridrišek**  
Název práce: **Optické hradlování epitaxního grafenu**  
Studijní program a obor: **Optika a optoelektronika**  
Rok odevzdání: **2022**

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: RNDr. Lukáš Nádvořník, Ph.D.  
Pracoviště: Katedra chemické fyziky a optiky, MFF UK  
Kontaktní e-mail: nadvořnik@karlov.mff.cuni.cz

## Odborná úroveň práce:

- vynikající    velmi dobrá    průměrná    podprůměrná    nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné    vzhledem k rozsahu přiměřený počet    méně podstatné četné    závažné

## Výsledky:

- originální    původní i převzaté    netriviální kompilace    citované z literatury    opsané

## Rozsah práce:

- veliký    standardní    dostatečný    nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající    velmi dobrá    průměrná    podprůměrná    nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné    vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet    četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající    velmi dobrá    průměrná    podprůměrná    nevyhovující

## Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:

Předkládaná práce Bc. Tomáše Fridriška se věnuje vlivu optické expozice monovrstev grafénu vzniklého termální dekompozicí SiC. Tato expozice může vést k dočasné změně vodivosti nebo vzniku fotoproudu v systému grafén-substrát prostřednictvím řady mechanismů a referuje se pak k *optickému hradlování*. Práce si klade za cíl ověřit a prostudovat tuto funkcionalitu na vlastních připravených vrstvách.

V tomto diplomovém projektu se student účastnil všech fází experimentálního výzkumu: od přípravy vrstev na půdě FÚ UK, jejich optické charakterizace, litografie hallovských součástek v infrastruktuře CEITEC NanoLab, přes konstrukci nového optického uspořádání, po samotné fotovodivostní měření. Ačkoli rozsah práce hodnotím jako standardní, míru nasazení studenta a šíři jeho činností oceňuji jako značně nadprůměrnou.

Práce je členěna na kratší aplikovaný úvod, kde je především představena metoda termální dekompozice SiC a její specifika, a dále na podrobnější popis přípravy struktur a charakterizaci vzorků a měřících aparatur. V kapitole experimentálních výsledků student prezentuje a diskutuje změny fotovodivosti a generovaných fotoproudů vlivem povrchové adsorpce a redistribuce náboje v substrátu v režimech různého složení okolní atmosféry, aplikace hradlových napětí, a především různých parametrů osvětlení. Mezi hlavní přínosy práce patří potvrzení vlivu adsorpce molekul hlavních složek vzduchu na vodivost grafénu a znatelný vliv optické expozice ve viditelné a UV oblasti na tuto kinetiku. Dále bylo prokázáno, že tato optická funkcionalita je stále efektivní i na frekvencích optické modulace minimálně do 2 kHz, což předjímá možné AC elektro-optické aplikace. Prozkoumání vlivu elektrického hradlování na optické gatování grafénu bylo provedeno, ale interpretace byla obtížná z důvodu existence parazitických proudů mezi hradlem a kontakty. Zajímavá korelace byla nalezena mezi spektrální propustností substrátu a spektrální odpovědí fotoproudů při různých intenzitách osvětlení: pečlivým srovnáním transmisních minim s polohami hlubokých hladin z literatury byly identifikovány možné přechody s vlivem na fotovodivost. V neposlední řadě byla také objevena netriviální závislost opticky asistované adsorpce na vlnové délce a především fluenci. Všechny tyto studované vlastnosti potvrzují využitelnost grafénu v logických optických součástkách a aplikacích.

Práce je graficky pěkně vyvedena: grafy jsou dobře čitelné, text je doplněn řadou fotografií a schémat, která usnadňují orientaci čtenáře. Ačkoli práce obsahuje všechny formální náležitosti, mírně vyšší pozornost autora by si zasloužila stylistická a jazyková stránka. Text je místy poměrně repetitivní (např. popisy experimentů v sekci 3.1, nebo 3× zopakovaná informace o stroboskopické frekvenci na str. 24), některé pasáže jsou hůře srozumitelné kvůli stylistice (např. popis fotoodezvy stacionárních a harmonických proudů na str. 29). Prohlášení opírající se o kanonické znalosti je lepší explicitně zdrojovat (např. model na str. 31 nebo identifikace Ramanových struktur na str. 7). Přes tyto formální neoptimálnosti hodnotím práci jako poctivou, pečlivou a především dobře reportující na provedený výzkum. Předkládaná studie je aktuální, odkazuje se na relevantní literaturu a z mého pohledu přináší relevantní zjištění v základní i aplikované fyzice epitaxního grafénu.

Z výše zmíněného vyplývá, že student touto prací plně splnil její zadání, a proto doporučuji, aby byla uznána jako diplomová s navrhovaným hodnocením *výborně*.

### **Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:**

1. V sekci 3.1 popisujete změny vodivosti systému grafén-substrát při osvětlení s fotonovou energií vyšší, než je gap SiC. Experiment za nízkého a atmosférického tlaku dobře ukazuje, že adsorpce hraje v experimentu významnou roli. Jaký vliv na experiment má ale fotovodivost samotného substrátu? Šlo by jej ověřit měřením na vzorku D1 (bez grafenu) při nadgapovém osvětlení?
2. Na konci sekce 3.1 shrnujete, že optické hradlování je nejefektivnější a nejstabilnější při zamezení adsorpce, tedy při pohybu Fermiho meze od Diracova bodu (vyšší vodivost). Jedná se o empirický fakt, nebo existuje nějaké jednoduché fyzikální vysvětlení?
3. Lze usuzovat, co způsobuje parazitní proud z hradla ke kontaktům? Jedná se o objemovou fotovodivost excitací z hlubokých hladin, nebo vodivost přes povrchové stavy? Šlo by tyto proudy zmenšit jinou volbou vlnové délky, příp. pasivací hran vzorku?
4. Jak si vysvětlujete pokles proudové odezvy s vyšší frekvencí optické modulace (obr. 3.9)?
5. Dávalo by smysl zkusit změřit také grafén narostlý na druhé straně SiC substrátu (C-straně)? Čekal byste nějaké odlišnosti?

### **Práci**

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

### **Navrhuji hodnocení stupněm:**

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta:

Praha, 1. 6. 2022