

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího
- diplomové práce

Autor: Bc. Tomáš Fridrišek
Název práce: Optické hradlování epitaxního grafenu
Studijní program a obor: Fyzika, Optika a optoelektronika
Rok odevzdání: 2022

Jméno a tituly vedoucího: RNDr. Václav Dědič, Ph.D.
Pracoviště: Fyzikální ústav Univerzity Karlovy, Matematicko-fyzikální fakulta UK
Kontaktní e-mail: vaclav.dedic@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:

Bc. Tomáš Fridrišek si vybral za téma své experimentální diplomové práce prozkoumání konceptu ladění vodivosti v epitaxním grafenu prostřednictvím svícení na jeho substrát-karbid křemíku. Epitaxní grafén se připravuje teplotní dekompozicí karbidu křemíku při teplotách kolem 1600°C a je vhodným kandidátem pro průmyslovou přípravu optoelektronických součástí pracujících za extrémních podmínek jako jsou vysoké teploty, tlaky či radiační toky. Doposud však nebyl nalezen způsob, jak efektivně zprovoznit hradlování, při kterém by se pomocí přiloženého napětí na spodní

stranu semiizolačního substrátu významně modifikovala vodivost grafénové vrstvy. Proto jsou snahy dané téma rozvíjet vysoce aktuální. Navržený princip optického hradlování je založen na modifikaci elektrického pole v substrátu SiC poblíž grafénové vrstvy prostřednictvím fotogenerovaného náboje a jeho záchytu na pastech v substrátu. Dostatečně velká variace elektrického pole způsobí změnu v koncentraci volných nosičů v grafénu, která je měřitelná citlivými proudovými metodami.

Práce obsahuje řadu originálních výsledků změřených na vzorcích epitaxního grafénu, které řešitel připravil v laboratořích FÚUK a na půdě CEITECnano LAB. Během časových měření proudů v grafénu po osvětlení substrátu nadgapovým světlem byl pozorován silný vliv složení okolní atmosféry, kdy vlivem adsorpce molekul obsažených ve vzduchu na jednoatomární grafénové vrstvě značně roste odpor vzorku. Měření frekvenčních závislostí fotoodezvy naznačuje, že optické hradlování na epitaxním grafénu má potenciál fungovat i při vysokofrekvenčních optoelektronických aplikacích. Z měření spektrální optické propustnosti substrátu řešitel identifikoval několik optických přechodů souvisejících s bodovými defekty vzniklými legováním vanadem či přirozenými defekty krystalové mřížky, které mohou participovat při nabíjení substrátu a optickém hradlování. Nakonec demonstruje pomocí spektrálních fotovodivostních měření zřejmou souvislost mezi absorbcí světla na defektech v substrátu SiC a proudem v kanálu source-drain v grafénu, přičemž změnu znamená tohoto proudu v případě malých světelných intenzit u vlnových délek menších 750 nm vysvětluje na základě desorpce molekul z grafénu do okolí.

Na základě provedených experimentů se ukázalo, že na vodivost epitaxního grafénu během přisvětlení měly vliv tři významné faktory. Jsou jimi adsorpce molekul z okolní atmosféry na grafénu, transfer nosičů náboje mezi grafénem a substrátem a fotogenerovaný náboj v substrátu. Ačkoliv za daných experimentálních podmínek nebylo pozorované optické hradlování výrazné, ukazuje se, že je možné. Volbou vhodných parametrů osvětlení, jako je vlnová délka či intenzita, případně optimálním legováním substrátu, lze předpokládat docílení silnějších efektů ladění vodivosti epitaxního grafénu.

Pro zesílení efektu fotovodivosti v grafénu bylo nutné připravit mikroskopické vzorky, kde je dopadající světlo soustředěno na malou plochu. Během řešení diplomové práce se kolega Fridrišek zvládl naučit, a pro zkoumaný materiál optimalizovat vícestupňovou elektronovou litografii spočívající ve vytváření grafénových struktur a kovových elektrod na škále jednotek mikrometrů. Řešitel tak připravil na epitaxním grafénu sadu funkčních modelových součástí ve tvaru tzv. Hall barů a elektrod v interdigitální konfiguraci, které poslouží i k dalšímu výzkumu nad rámec předložené diplomové práce.

Je potřeba zdůraznit řešitelovo nadšení pro práci v optické laboratoři a jeho samostatnost, kdy sám sestavil a automatizoval experimentální uspořádání pro mikroskopické mapování fotovodivosti za pomoci laseru a lock-in zesilovače. Byl schopen navrhovat experimentální metody, fyzikální modely a efektivně se orientoval v časopisecké literatuře.

Přes některé výhrady k místy horší stylistice a občasnému příliš stručnému vyjadřování v textu diplomové práce; vzhledem k objemu odvedené práce a velké míře samostatnosti, hodnotím celkovou práci Bc. Tomáše Fridriška a jeho přínos velmi pozitivně. Konstatuji, že předložená diplomová práce splňuje požadavky na ni kladené a doporučuji její postoupení komisi k obhajobě a navrhuji hodnotit ji stupněm „výborně“.

Práci doporučuji nedoporučuji

uznat jako bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm: výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího:

Praha 7.6.2022