

Oponentní posudek na disertační práci Ing. Mgr. T. Šamořila:

Aplikace fokusovaného iontového a elektronového svazku v nanotechnologiích

Práce Tomáše Šamořila je úhledně upravena, dobře se čte a obsahuje řadu zajímavých výsledků.

Téma práce je navýsost aktuální, neboť kombinované iontové a elektronové svazky přinášejí velké pokroky v nanotechnologiích. Rozlišovací schopnost rastrovacích elektronových mikroskopů se v poslední dekádě zvýšila několikanásobně a iontové svazky prožívají veliký rozvoj použitím iontů nových, dříve nepoužívaných prvků. To jen podtrhuje důležitost aplikačního výzkumu, který dokáže technologicky využít těchto nových možností.

Pan doktorand si za cíl zvolil přípravu pokročilých složitých mikro a nanostruktur rozličnými metodami. Po stručném úvodu a popisu přístrojového vybavení a interakcí elektronů a iontů s látkou následuje představení procesů leptání a depozice. Příslušné pasáže jsou psány stručně, názorně a prakticky a mohou tedy dobře sloužit i dalším studentům či doktorandům VUT pro osvojení si uvedených témat. Právě pedagogickou přístupnost hodnotím jako jeden z hlavních přínosů této práce. Při popisu metod ihned uvádí též praktické příklady, k čemu se používají. Je sympatické, že při popisu interakce částic s látkou používá vlastní simulace, nikoliv jen převzatá data z učebnic.

Nevyváženosti jsou zde jen drobné, např. vysvětlování Millerových indexů krystalografických rovin, které jsou předmětem základního kurzu VŠ, a to i ve zkrácených tezích. Naopak např. v úseku elektronové litografie se nevěnuje problematice tvorby velkých struktur – sešívání polí. Tzv. optimalizovaná geometrie trysky na obr. 3.7 se v praxi neosvědčila a nepoužívá se.

V další části autor zkoumá vliv nastavení expozičních podmínek (zejm. prodlevy svazku v každém bodě a rozteče mezi body) na vlastnosti deponovaných struktur (str. 71-81). Jeho závěry jsou ve shodě s používanou praxí, kterou potvrzují a rozšiřují. Tyto výsledky mají samozřejmě praktický význam a jsou prvním vrcholem disertační práce. Při prvkové analýze depozitů metodou EDX na str. 81 (teze str. 16) však není zcela zřejmé, jak odečetl vliv substrátu, když primární svazek prostřelí tenkou zkoumanou vrstvou, a dále vysoká koncentrace uhlíku na obr. 7.18 a 7.19 vzbuzuje obavy z kontaminace.

Zjištěnou tloušťku čar na str. 76 bych neprohlašoval za „velikost stopy“ iontového svazku, neboť měření závisí na vzorku: tloušťka čar na vrstvě chromu je poloviční a obrazové rozlišení FIB čtvrtinové.

Je sympatické, že autor nachází i originální uplatnění FIB např. při ostření hrotů AFM, což má pravděpodobně značný význam pro pracoviště Ústavu fyzikálního inženýrství VUT.

Dále autor používá tři metody pro selektivní mokré leptání křemíku, a sice přímý osvit FIB s amorfizací substrátu, procesy indukované svazky nabitých částic za použití prekurzorů (FEBID/FIBID) a elektronovou litografií (EBL). Byly připraveny rozmanité náročné struktury (str. 98-102), které jsou druhým vrcholem práce a jsou předmětem publikace. Ukazují, že autor plně zvládnul náročné technologie a splnil stanovený cíl práce. Příprava struktur vyžadovala zcela jistě precizní a trpělivou práci. Selektivní růst gallia na str. 107-109 bohužel není dotažen.

Autor aplikuje velmi pěknou metodu určení hloubky struktur na str. 104 (teze str. 25), ovšem není zcela jasné, zda je původní či převzatá. Dále měří elektrické vlastnosti nanopásků na str. 105 (teze str. 27) použitím dvoubodového měření, ovšem za běžné je dnes považováno čtyřbodové měření,

proto mi chybí větší diskuse a srovnání s jinými výsledky.

Za hlavní slabinu této zdařilé práce považuji malý počet publikací. Kromě pomoci jiným výzkumným úkolům s přípravou struktur (ve 3 publikacích) jsou stěžejní výsledky této práce s autorem na prvním místě předmětem jen jediného článku v českém časopise *Jemná mechanika a optika*. Přitom doktorandi by měli být hlavní hnací silou publikační činnosti pracoviště. Dle mého názoru by kupříkladu měření hloubky struktur či elektrických vlastností mohly být dotaženy do publikace.

Po formální stránce je práce velmi zdařilá a obsahuje jen minimální množství překlepů či chyb (např. nedokončené věty v tezích na str. 21 a 24).

Předložené teze dobře vystihují disertační práci. Mají téměř shodné členění a ve stručnosti obsahují všechny závěry hlavní práce.

Tomáš Šamořil prokázal tvůrčí schopnosti a doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.

Otázky pro doktoranda:

- Porovnejte dosažené rozlišení metodami FEBID a FIBID (nejmenší připravené struktury).
- Jak bylo korigováno měření EDX str. 81, když primární svazek prostřelí tenkou zkoumanou vrstvou. Byl měřen růst kontaminace bez prekurzoru?
- Jak je měření hloubky děr v křemíku vyleptaných pomocí FIB na str. 104 korelováno s průměrem stopy?
- Porovnejte dvoubodové a čtyřbodové měření elektrických vlastností nanopásků. Diskutujte výsledky zjištěného odporu str. 107 v porovnání s literaturou.

Ing. Jaroslav Jiruše, Ph.D.

2. května 2016