



**Masarykova univerzita**

**Přírodovědecká fakulta**

**Ústav fyziky kondenzovaných látek**

**doc. RNDr. Petr Mikulík, Ph.D., mikulik@physics.muni.cz**

Brno, 4. 3. 2016

### **Oponentní posudek na dizertační práci ing. Tomáše Šamořila**

Ing. Tomáš Šamořil předkládá dizertační práci s názvem „Aplikace fokusovaného iontového a elektronového svazku v nanotechnologiích“ pro obhajobu na VUT v Brně. Dizertační práce je napsaná v češtině, má 8+2 kapitol na 126 stranách. Práce je strukturována přehledně a vysázena v dobré kvalitě, obrázky jsou vytištěny zřetelně, autor adekvátně cituje rozsáhlé množství prací. Dizertační práci doprovází zkrácená verze v češtině o celkovém počtu 33 stran.

Během svého doktorského studia se autor zabýval detailně procesy přípravy mikro- a nanostruktur elektronovými a iontovými svazky pomocí elektronového mikroskopu se systémem SEM-FIB-GIS a vlastnostmi mokrého leptání monokrystalického křemíku. Dizertační práce tak obsahuje teoretickou i experimentální část pro tato témata. Použitím elektronů a (galiových) iontů v systému s plynovou injekcí prekurzoru (platina, wolfram) tak byly studovány různé způsoby dle nastavených podmínek v elektronovém mikroskopu: leptání či odprašování materiálu, litografie do rezistu, depozice materiálu prekurzoru. V práci se pro tyto metody používají zkratky EBL pro litografii, FEBID/FIBID pro depozici a FEBIE/FIBIE pro leptání. Zjištění a nastavení optimálních podmínek, za kterých dochází k jednotlivým procesům a které vedou k povrchové úpravě vzorku tak, že na něm řízeně a reprodukovatelně vznikají útvary velikosti desítek nanometrů až mikrometrů, vyžaduje řádné vyladění mikroskopu, použitých chemikálií a celého postupu.

S touto problematikou se autor vypořádal velmi dobře. V práci předkládá principy interakce svazku a materiálu a poté toto aplikuje na vytváření struktur. Výslednými strukturami tak byla celá řada objektů – např. proužky, mřížky, šachovnicová pole, mezikružít, pole pyramid. V konkrétních případech šlo například o strukturování povrchu v závislosti na rozteči mezi řádky při průchodu svazku po vzorku a prodlevě v každém bodě. Výsledkem práce je tak porozumění studovaným procesům a vytvoření rozsáhlého popisu pro další uživatele těchto metod. Dále pak autor studoval vytváření mikrostruktur při selektivním mokrému leptání (leptadlo s KOH) povrchu křemíku předpřipraveného v elektronovém mikroskopu.

Dizertační práce se taktéž stává dobrou příručkou pro postupy vytváření mikro- a nanostruktur za pomoci mikroskopu výše uvedeného typu. O kvalitě výsledků autora též hovoří množství publikačních výstupů: 6 článků dle Web of science.

K dizertační práci mám následující konkrétní připomínky:

1. Obr. 2.12. Je možné říci něco bližšího o hloubkovém profilu (například maximální hloubka, úhel zúžení)?
2. Obr. 2.16. Ostrost obrazu byla zlepšena rozostřením o 10 V – je toto typický rys pro daný mikroskop nebo doporučení pro všechny systémy FIB? Bylo by vhodné takovou korekci provést vždy, a to v závislosti na kopané hloubce?
3. Daly by se srovnat získané procesní postupy, které jsou specifické pro daný typ mikroskopu, s pracovními postupy dodávanými výrobcem?
4. Je možné srovnat procesní postupy, které jsou specifické pro daný typ mikroskopu, s obecnými postupy pro použití těchto metod známými z odborné literatury?

5. Je možné sepsat nějaké velmi krátké „how-to“ doporučení pro optimální vytváření struktur podle daného tvaru a dané velikosti?

Na závěr mého posudku bych shrnul, že ing. Tomáš Šamořil během doktorského studia získal velmi dobré výsledky v oblasti využití elektronové mikroskopie, litografie a depozice pro systémy s iontovými svazky, při přípravě mikrostruktur a nanostruktur, což má přímou návaznost na využití v základním výzkumu a používání elektronové mikroskopie v praxi. Dizertační práce splnila stanovené cíle, je zpracována na vysoké odborné úrovni, zkrácená verze práce odpovídá formálním požadavkům na teze, autor má dostatečné množství publikačních výstupů a proto souhlasím s udělením akademického titulu Ph.D.

**doc. RNDr. Petr Mikulík, Ph.D.**