

Oponentní posudek disertační práce

Ústav: **Ústav fyzikálního inženýrství**

Akademický rok: **2021/22**

Student(ka): **Ing. Michal Páleníček**

Doktorský studijní program: **Fyzikální a materiálové inženýrství**

Studijní obor: **Výzkum ultratenkých magnetických vrstev a nanostruktur**

Vedoucí pojednání práce: **prof. RNDr. Jiří Spousta, CSc.**

Oponent pojednání práce: **Ing. Petr Tichopádek, PhD.**

Název disertační práce: **Návrh komplexní modulární UHV aparatury pro tvorbu, modifikaci a pozorování nanostruktur in situ**

Aktuálnost disertační práce

Disertační práce Ing. Michala Páleníčka se zabývá vývojem UHV aparatury s integrovaným skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM) o vysokém rozlišení. Modulárnost navrženého řešení umožňuje připojit jak analytické nástroje, tak zařízení pro modifikace vzorků, a to v UHV podmínkách. Vývoj zařízení probíhal v rámci projektu AMISPEC, ve kterém spolupracovali výrobní firmy s vědeckými pracovišti. Funkčnost zařízení byla potvrzena na vyrobených prototypch a řešení vyvinutá v rámci této disertační práce byla použita v produktech firmy TESCANA Orsay Holding, a.s. Aktuálnost obsahu práce je potvrzena počtem spolupracujících subjektů a jejich zájmem o zařízení řešící problematiku modifikace a analýzy vzorků v prostředí UHV.

Splnění stanovených cílů

Navržená UHV aparatura splňuje náročné cíle disertační práce. Vznikl prototyp, který je umístěn na VUT a v současnosti na něm probíhá intenzivní vědecká a pedagogická práce.

Postup řešení a výsledky disertační práce

Disertační práce je rozdělena do pěti kapitol, které seznamují čtenáře s teoretickým úvodem do problematiky elektronové mikroskopie, technikami používanými k analýze a modifikaci vzorku, konstrukcí UHV aparatury a příklady aplikací provedených na prototypu zařízení.

První kapitola se věnuje historii elektronové mikroskopie a obsahuje základní popis principů fungování prvků elektronového mikroskopu, kterými jsou: i) používané zdroje elektronů (včetně jejich vzájemného srovnání), ii) stručný popis interakce elektronu s povrchem zkoumaného vzorku a iii) základní detektory elektronů.

Kapitola druhá je věnována popisu metod a technik používaných v ultravakuu. Obsahuje stručný popis metod a technik, které byly vybrány k následnému zakomponování do navrhované UHV aparatury. Zmíněné metody jsou: i) modifikace vzorku pomocí fokusovaného svazku iontů, ii) systém připouštění plynů, iii) molekulární epitaxní růst a iv) spektroskopie Augerových elektronů.

Třetí kapitola je stěžejní částí celé práce. Autor se v ní zabývá samotným popisem vývoje komplexního modulárního zařízení UHV SEM. V úvodní části jsou definovány cíle disertační práce a srovnání situace na trhu s podobnými systémy v době zahájení projektu. Popis vývojových prací je zahájen vysvětlením konceptu a následným zpracováním trojrozměrného uspořádání jednotlivých technik s vysvětlením vzájemných prostorových vazeb, které jsou podstatné pro funkčnost a součinnost jednotlivých analytických technik. Klíčovou součástí aparatury je návrh elektronového tubusu, který vychází z komerčně nabízeného produktu. Toto propojení s komerční sférou je důvodem popisů řešení bez detailní výrobní dokumentace. Obdobnou vývojovou práci bylo nutné provést i na ostatních detektorech popsanych v této kapitole. Se všemi použitými prvky jsem byl seznámen a musím ocenit použitá technická řešení pro jejich funkčnost a možnost použití v průmyslovém prostředí, ačkoliv se jedná o zařízení pro experimentální použití. Velká pozornost je věnována návrhu samotné analytické komory včetně magnetického stínění a systému pro zakládání a přípravu vzorků. Tyto návrhy jsou podpořeny výpočty magnetické indukce v komoře a čerpacími rychlostmi s ohledem na použitý typ těsnění a vakuových pump. Kapitola dále obsahuje popis rámu aparatury a manipulátoru vzorku. Tyto prvky jsou kritické pro tuhost a odolnost na vnější mechanické rušení, které ovlivňuje kvalitu výsledků z analytických metod.

Čtvrtá kapitola je již věnována příkladům vlastního použití UHV SEM modulární aparatury v laboratořích ÚFI FSI. Byla například sledována in situ desorpce SiO_2 při 600 °C a roztavení Au kuličky při kontaktu s křemíkovým substrátem. V aparatuře byla rovněž úspěšně provedena metoda měření CPEM (Correlative Probe and Electron Microscopy), kdy je současně studován povrch vzorku sondovou mikroskopií (AFM) a elektronovým svazkem.

Význam pro praxi

Z příkladů popsanych ve čtvrté kapitole a v závěru je zřejmé, že výsledky disertační práce našly uplatnění při vědecké práci a výuce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě fyzikálního inženýrství a jednotlivá technická řešení byla použita firmou TESCANA Orsay Holding, a.s. v nabízeném portfoliu výrobků.

Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň

Práce je psána velmi čtivě bez výraznějšího počtu chyb, srozumitelně a na vysoké grafické úrovni. Jednotlivé pasáže na sebe navazují, úvodní kapitoly umožňují plné porozumění textu kapitol následujících, které se do odpovídajících částí naopak správně odkazují.

Celkové zhodnocení práce a doporučení k udělení akademického titulu Ph.D.:

Z výše uvedeného je patrné, že předložená práce představuje ohromné množství poznatků, technik, postupů a konstrukčních detailů a řešení, které musel její autor zvládnout, aby vzniklo inženýrské dílo vysoké přidané hodnoty, kterým bezesporu navržený modulární UHV systém je. **Doporučuji disertační práci Ing. Michala Páleníčka k obhajobě** a po jejím obhájení a uspokojivém zodpovězení dotazů souhlasím s tím, aby Ing. Michalu Páleníčkovi byl udělen titul Ph.D.

Vyjádření k předloženým tezím

Předložené teze splňují formální a obsahové požadavky kladené na tento dokument.

Otázky na autora:

- 1) Popište důvody vypékání UHV aparatury. Je nutné některé prvky chránit proti účinkům vypékání? Jaký je časový průběh teploty při vypékání aparatury?
- 2) Navržená aparatura kombinuje analytické a metody s metodami napařování vrstev. Dochází k ovlivnění analyzátorů nežádoucí kontaminací v těchto zařízeních?
- 3) Proběhlo měření vibrací na manipulátoru (akcelerometr, výpočet z obrazu)?
- 4) Proč byl zvolen tubus LYRA jako základ pro vývoj UHV tubusu?
- 5) Jaký má vliv použití techniky GIS a MBA na UHV podmínky.

V Brně dne 2.2.2022

.....
Ing. Petr Tichopádek, PhD.