

POSUDEK OPONENTA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Johanidesová Eva

Oponent: Ing. Radim Špetík, Ph.D.

Studijní program: **Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**
Akademický rok: **2012/2013**

Téma diplomové práce: **Analýza výrobních technologií v polovodičovém průmyslu**

Hodnocení práce

Předložená diplomová práce se zabývá popisem základních fyzikálních principů a měřicích metod mikroskopie atomárních sil (AFM) se zaměřením na aplikace v polovodičové oblasti. Tyto analytické metody jsou pak srovnávány s vybranými konkurenčními analytickými metodami běžně používanými v polovodičovém průmyslu.

V úvodu práce autorka popisuje základní principy funkce mikroskopie atomárních sil včetně příbuzných a odvozených metod jakými jsou například rastrovací tunelová mikroskopie (STM) či rastrovací mikrovlnná mikroskopie (SMM). Zvláštní pozornost je zde věnována přehledu doplňkových módů AFM mikroskopie, kdy vedle základního měření topografie vzorku na principu vzájemné atomární interakce mezi hrotem a vzorkem je možné měřit také další fyzikální veličiny a vlastnosti vzorku, jakými jsou například volný elektrický náboj či některé jeho dielektrické vlastnosti. Jednotlivé módy AFM jsou prakticky demonstrovány na vlastních měřeních provedených na dodaných vzorcích připravených jako kolmý řez přes čip integrovaného obvodu bipolární trenčové technologie.

V druhé části úvodu se autorka zaměřila na popis vybraných srovnávacích analytických metod používaných v polovodičovém průmyslu pro analýzu topografie a koncentračních profilů polovodičových struktur. Jedná se zejména o rastrovací elektronovou mikroskopii (SEM) a odporovou profilometrii (SRP). Vzhledem ke skutečnosti, že vlastní srovnávací měření byla prováděna na vzorcích připravených epitaxi z plynné fáze na křemíkových deskách, věnuje se autorka v úvodu také problematice tažení a přípravě desek a růstu epitaxních vrstev.

Těžiště praktické části diplomové práce se nachází v analýze několika vzorků zkoumaných současně metodami založenými na AFM a SMM a srovnání takto získaných dat s měřeními provedenými pomocí SEM a SRP. Cílem bylo stanovení detekčních limitů včetně koncentračního a prostorového rozlišení jednotlivých analytických metod a na základě dosažených výsledků provést jejich vzájemné srovnání, vymežit rozsah použitelnosti každé metody a zhodnotit její přednosti a omezení vzhledem k ostatním zkoumaným metodám.

Zkoumané vzorky obsahovaly vždy několik epitaxních vrstev o různých tloušťkách, koncentracích a typech příměsí, tak aby pokrývaly typické rozmezí běžně používané v polovodičových technologiích. Vlastní naměřená data, měřená různými módy AFM a SMM autorka srovnala s výsledky získanými pomocí téhož selektivně naleptaného vzorku zobrazeného pomocí SEM, resp.

výbrusu analyzovaného pomocí SRP. Všechny tyto informace pak byly vyhodnoceny a srovnány s předem známými parametry připravených vzorků.

Z měření autorky vyplývá, že citlivost i rozlišení zkoumaných metod založených na bázi AFM je plně srovnatelné s porovnávanými konvenčními metodami, resp. že v některých případech, zejména v oblasti středních a nižších koncentrací elektricky aktivních příměsí, je možné dosáhnout pomocí AFM a SMM založených metod jak větší citlivosti, tak také většího koncentračního i prostorového rozlišení než u srovnávaných konkurenčních metod.

V závěru práce jsou shrnuty výsledky dosažené na zkoumaných vzorcích pomocí všech výše zmíněných analytických metod. Autorka zde rovněž uvádí nevýhody a omezení metod využívající AFM jakož i praktická úskalí na která narazila při vlastní práci s AFM mikroskopem.

Z rozsahu i vlastního obsahu diplomové práce je zřejmé, že se autorka důkladně seznámila se základními principy analytických metod založených na AFM, SEM a SRP, stejně tak jako s netriviální a časově náročnou obsluhou vlastního AFM mikroskopu a měření s ním. Osobně se rovněž podílela na přípravě všech vzorků a jejich analýze pomocí SEM a SRP na pracovištích firmy ON Semiconductor. Dosažené výsledky lze hodnotit jako vynikající a poskytují dobré předpoklady a zajímavé náměty pro využití AFM ve spolupráci s firmou ON Semiconductor.

Vlastní práce je členěna logicky, věcně a přehledně, externí zdroje informací jsou důsledně citovány. V praktické části bych uvítal detailnější popis a komentář k vlastním naměřeným datům. Zjištěné charakteristiky jednotlivých metod (koncentrační rozmezí citlivosti dané metody, prostorové rozlišení, koncentrační rozlišení, atd.) by si jistě zasloužily přehlednější shrnutí, např. formou tabulky, tak aby základní vlastnosti a omezení všech zkoumaných metod byly snadno a rychle porovnatelné.

Dotazy k diskuzi

1. Který ze zkoumaných módů AFM se Vám zdá nejvhodnější pro analýzu polovodičových vzorků? Zdůvodněte.
2. Do jaké míry jsou, dle Vašeho názoru, výsledky a závěry získané na základě Vaší práce, aplikovatelné též pro jiné polovodičové materiály než křemík (např. GaN, SiC, apod.)?

Celkové hodnocení práce:

Známku uvede oponent dle svého uvážení dle klasifikační stupnice ECTS:

A – výborně, B – velmi dobře, C – dobře, D – uspokojivě, E – dostatečně, F – nedostatečně.


Stupeň F znamená též „nedoporučuji práci k obhajobě“.

Předloženou diplomovou práci doporučuji k obhajobě a navrhuji hodnocení

A - výborně.

V případě hodnocení stupněm „F – nedostatečně“ uveďte do připomínek a slovního vyjádření hlavní nedostatky práce a důvody tohoto hodnocení.

Datum 18.6.2013


Podpis oponenta diplomové práce