

Oponentský posudek doktorské disertační práce (PhD.):

## **MECHANICKÉ A ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI TENKÝCH KOVOVÝCH VRSTEV NANÁŠENÝCH VAKUOVÝM NAPAŘOVÁNÍM**

Autor: Ing. Doaa Yahya, VUT v Brně, FEKT, Ústav mikroelektroniky

Oponent: Doc. Ing. Jiří Štencl, DrSc., MENDELU v Brně, AF, Ústav zemědělské,  
potravinářské a environmentální techniky

---

### **Úvod a aktuálnost zvolené tematiky disertační práce**

Předložená disertace Ing. Doaa Yahya odpovídá svým zaměřením a problematikou oboru „Mikroelektronika a technologie“. Z hlediska současných rozvojových trendů ji považuji jako aktuální. Práce je rozčleněna do šesti věcných kapitol. Dále obsahuje seznam použité literatury, seznam použitých symbolů a zkratk a přílohy – vybrané výsledky experimentů. Celkově je zpracována na 113 stranách. Obsahově naplňuje základní požadavky kladené na vědeckou práci, i když strukturálně není rozdělena obvyklým způsobem; především chybí samostatná kapitola „Materiál a metody“.

Vytváření tenkých kovových vrstev představuje v současné době významnou technologii a to nejenom v oblasti mikroelektroniky, ale i v jiných oborech, především strojírenských. Nanášení tenkých vrstev, zvláště fyzikální cestou vakuovým napařováním, je proces efektivní a perspektivní, ale také technicky náročný; stále se vyvíjí. Na základě této skutečnosti mohu konstatovat, že problematika předložené disertace je aktuální nejen v současnosti, ale svojí podstatou bude s určitostí předmětem vědeckých výzkumů i v budoucnosti.

### **Zpracovaný přehled o současném stavu problematiky**

Pro finální zpracování disertační práce prostudoval autor rozsáhlé množství vědeckých literárních zdrojů. Jejich úplný přehled, 100 citací, jež jsou uvedeny v disertaci podle číselných odkazů [XX], je prezentován celkově na sedmi stranách, s. 103 až 109. Úroveň a zpracování tohoto přehledu jednoznačně dokumentuje orientaci doktoranda v dané problematice a jeho schopnost aplikovat poznatky a postupy při svém studiu. Obvyklé je ale seřazovat takto označené citace vzestupně podle toho, jak se vyskytují v textu.

K rozsáhle zpracované úvodní části, kapitoly 1. až 3., s. 9. až 66. mám na doktoranda následující dotazy:

Str. 9 dole „Obecným principem napařování je kondenzace par v prostředí vytvořeného vakua.“ Změna skupenství je izobaricko-izotermický děj; jaká je závislost mezi teplotou změny skupenství a tlakem? Viz také poslední věta na s. 14 dole.

Str. 10 uprostřed „Vakuum zajistí, aby dráha částic byla přímočará a střední volná dráha nejdelší. Vyšší hodnotou vakua se prodlužuje střední volná dráha odpařovaných částic.“ Jak se vysvětlí, objasní uvedené pravdivé tvrzení? Další příklady pro potvrzení skutečnosti.

Str. 18 uprostřed „Slitiny se odpařují v závislosti na jejich tlaku nasycených par ...“ Jaké je vysvětlení tohoto jevu?

Str. 20 nahoře „Jde o přeměnu pevného materiálu do plynné fáze, ...“ Jedná se o sublimaci?

Str. 25 „Dávkování materiálu“ Je reálné použití vysoce přesného a dnes běžného dávkovače hmotnostního, kontinuálního – pásové váhy?

Str. 27 uprostřed „Když tepelně odpařený atom kondenzuje na povrchu, uvolňuje energii: ...“ Proč? Jaké je vysvětlení tohoto tvrzení?

### **Cíle disertační práce**

Tři hlavní cíle disertační práce jsou jasně formulovány v kapitole 4., s. 67 a 68.

### **Praktická část – výsledky disertační práce**

Kapitola 5., s. 69 až 99.

Tato kapitola obsahuje části materiál, metody, naměřené výsledky ve formě tabulek a grafů a fotodokumentaci. Z obsahu kapitoly je zřejmé, že pro všechna prováděná měření byla využívána moderní laboratorní technika a že doktorand pracoval podle standardních laboratorních metodik. Uváděné výsledky reflektují stanovené cíle. Výsledky stability napařených kovových vrstev byly již publikovány v původní vědecké práci, stejně tak, jako ověření hypotézy o větší homogenitě vrstvy aplikované na kmitající substrát. Originální přínos práce spatřuji v kapitolách 5.6, 5.7 a 5.8, kde je popsána a analyzována metoda ochrany tenkých kovových vrstev polymerem parylénem. Tuto část práce doporučuji doplnit

o statistické zpracování a analýzu naměřených dat, učinit závěry pro praxi a následně publikovat ve vědeckém časopisu.

Ke stěžejní kapitole 5. Mám tyto dotazy a připomínky:

Str. 69 uprostřed „Z odborné literatury jsem se však dočetl o parylénu ...“ Chybí citace.

Str. 74 první odstavec „Během napařování se objevily problémy s napařováním souvislé hliníkové vrstvy větších tloušťek, ... Její odpor při cyklování prudce narůstal“ Co mohlo být příčinou těchto jevů? Analýza.

Str. 77 dole „...vzorky uloženy v sušicí peci o teplotě 30°C a relativní vlhkosti 1% RH s přesností 0,1% RH, ...“ Jak bylo tohoto stavu dosaženo a jak byla RH měřena?

Str. 87 uprostřed a také 101 dole „Různé kovy mají různou stabilitu a různě reagují na stárnutí a velké výkyvy teplot. Jednoznačně ze skupiny kovů Al, Cu, Au a Ag dopadla nejhůře měď, ...“ Proč? Analýza příčin.

Obecně by měly být ve vědecké práci důsledně používány jednotky a symboly odpovídající soustavě SI (cm, hod – např. s. 83). U grafů musí být vždy označeny osy včetně jednotek, s. 81. Wikipedii nepovažuji jako relevantní literární zdroj pro citace ve vědecké práci.

### **Celkové hodnocení**

Po prostudování disertační práce doktoranda Ing. Doaa Yahya jsem dospěl k závěru, že jde o přínos k rozvoji poznání o tenkých kovových vrstvách nanášených vakuovým napařováním a jejich ochraně. Doktorand projevil schopnost samostatného řešení vědeckých úkolů. Na základě výše uvedeného mohu konstatovat, že práce splňuje základní požadavky kladené na doktorské disertace, a proto doporučuji, aby práce Ing. Yahya byla přijata k obhajobě.

V Brně dne 30. listopadu 2015

