

## **Posudek na disertační práci Ing. Jakuba Blažka, Pulsed reactive magnetron sputtering of thin films containing copper and characterization of their physical and mechanical properties.**

Předkládaná disertační práce se zabývá studiem pulzního reaktivního naprašování aplikovaného na depozice tenkých vrstev s obsahem mědi. Práce je rozdělena do šesti kapitol. V úvodní kapitole je přehledně popsán proces reaktivního magnetronového naprašování, mechanické vlastnosti vrstev, antibakteriální vlastnosti a charakterizace vybraných studovaných materiálů s různým obsahem mědi. Tato kapitola je velmi přehledně zpracována a snadno uvede čtenáře do studované problematiky. V kapitole č. 3 jsou uvedeny cíle disertační práce. V kapitole 4 následuje podrobný popis depozičního procesu a metod měření parametrů deponovaných tenkých vrstev. V kapitole 5 jsou podrobně popsány a diskutovány výsledky depozic všech tří typů tenkých vrstev. Formálně je tedy disertační práce zpracována na vysoké úrovni a lze se v ní snadno orientovat a najít rychle důležité výsledky a závěry zkoumané problematiky. Práce je psaná v AJ bez gramatických chyb. Cíle práce jsou v samostatné kapitole jasně definovány.

Ohledně věcného obsahu se jedná o výzkum tří typů materiálů Al-Cu-O, Cr-Cu-O, Al-Cu-O, kde je studován vliv různých koncentrací přidávané mědi na mechanické a antibakteriální vlastnosti těchto vrstev. Hlavním výsledkem u systému Al-Cu-O bylo nalezení koncentrací Cu, kdy vrstvy měly vysokou odolnost proti vzniku trhlin a zároveň vhodné mechanické vlastnosti (vysoká tvrdost atd). Tyto výsledky považuji za velmi cenné pro praktické použití těchto tenkých vrstev. U dalšího studovaného materiálu Cr-Cu-O byly studovány převážně antibakteriální vlastnosti. Byly nalezeny koncentrace Cu, kdy je vrstva antibakteriální, má vysokou tvrdost a kde její mechanické vlastnosti jsou stabilní do 500°C. Hlavním výsledkem u třetího deponovaného systému Al-Cu-N bylo nalezení vhodného depozičního postupu, kdy Al-Cu-N tj nanokompozitní struktura složená z nanokrystalů AlN a nanokrystalů Cu vykazovala velkou tvrdost, zvýšenou odolnost proti vzniku trhlin a vhodné antibakteriální vlastnosti. Zlepšení vlastností této nanokompozitní vrstvy bylo dosaženo zvýšením energetického toku na substrát a to aplikací zvýšeného předpětí substrátu, použitím většího výbojového proudu nebo snížením pracovního tlaku.

Celkově považuji předkládanou disertační práci za vědecky velmi kvalitní a je v ní prezentováno mnoho nových cenných dat pro výzkum této problematiky jak u nás tak v zahraničí. Nalezení a pochopení metod přípravy zkoumaných materiálů a jejich vlastností je klíčové pro jejich praktické aplikace. Důkazem kvality práce je celá řada vědeckých publikací v mezinárodních recenzovaných časopisech, kde jsou výsledky disertace publikovány a disertant je buď spoluautorem nebo hlavním autorem. Disertant tak prokázal svoje samostatné tvůrčí schopnosti a práce splňuje požadavky kladené na disertační práci v daném oboru. Všechny stanovené cíle práce považuji za splněné. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem doporučuji práci k obhajobě a udělení titulu Ph.D.

Na závěr bych měl na disertanta drobné doplňující dotazy:

1) V depozičním experimentu byl použit složený terč ze dvou komponent *Cu* a *Al* nebo *Cr* a *Cu*. Byla v deponovaných vrstvách díky této konfiguraci pozorována nějaká prostorová nehomogenita složení tenké vrstvy ?

2) Po určité době se na složeném terči jistě objevila erozní stopa a změnil se tak zřejmě tvar povrchu terče. Měl tento fakt nějaký vliv na změnu relativního obsahu *Cu* a *Al* v deponované vrstvě ?

V Praze 6.12. 2013



Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D.  
Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

# Posudek

disertační práce Ing. Jakuba Blažka

## **“Pulsed reactive sputtering of thin films containing copper and characterization of their physical and mechanical properties”.**

Předložená práce se zabývá problematikou přípravy tenkých vrstev (oxidů a nitridů Al a Cr) a zlepšením jejich vlastností přidáním Cu. Student se zaměřil na ternární systémy Al-Cu-O, Cr-Cu-O a Al-Cu-N s cílem zlepšit jejich odolnost vůči vzniku a šíření trhlin a připravit vrstvy s antibakteriálním účinkem. Pro potlačení oblouků byly vrstvy připravovány reaktivním odprašováním dvou terčů pulzním zdrojem v nevyvážené konfiguraci magnetického pole.

Student splnil vytyčené cíle disertační práce. Nalezl optimální podmínky pro růst Al-Cu-O, Cr-Cu-O a Al-Cu-N vrstev a demonstroval u dvou z nich zlepšenou odolnost vůči vzniku a šíření trhlin způsobenou přidáním Cu, u dvou z nich pak antibakteriální účinek jak za přítomnosti, tak za absence světla. Připravené vrstvy charakterizoval vhodnými metodami, v textu neopomněl připomenout i nevýhody a limity zvolených metod.

Práce je sepsána kvalitní angličtinou, její rozsah je 150 stran. Zejména v první části obsahující rešerši dostupné literatury je práce velmi pečlivě, logicky a systematicky členěna, student kladl velký důkaz na přehlednost textu, jak lze ukázat např. na členění kapitoly 2.2.2, organizací tabulky 2.1 apod. Ve vlastní části disertační práce je méně důsledný na přehlednost textu, např. experimentální podmínky přehledně uvedené na str. 85 jsou pak na straně 98 nepřehledně začleněny přímo do textu apod. Hodnotím, že práce neobsahuje větší množství překlepů a je graficky dobře rozvržena. Seznam literatury obsahuje téměř 300 položek, student tedy věnoval studiu dostupné literatury dostatečnou pozornost.

***V diskusi by se student mohl vyjádřit k následujícím otázkám:***

- V textu na str. 71 uvádíte, že vnitřní pnutí se s množstvím mědi nemění a usuzujete z toho, že Cu proniká do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  struktury. Na obrázku 5.1.8 je ale vidět prudká změna vnitřního pnutí ve vrstvě po přidání malého množství mědi až o 2 GPa, až pak se vnitřní pnutí ustaluje na hodnotě -2 GPa a s množstvím mědi se výrazně nemění. Na obr. 5.1.9 vnitřní pnutí zase s množstvím mědi monotónně klesá. Který z těchto vývoju odpovídá tvrzení o pronikání Cu do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ?
- Můžete detailněji komentovat vývoj reaktivního procesu. Na str. 83 předpokládáte, že koeficient sek. emise oxidovaného Cr terče je menší než čistého kovového Cr. Můžete tento předpoklad podpořit daty z literatury? Na obr. 5.2.1 ukazujete, že dochází k postupnému otrávení nejprve jednoho terče a až následně terče druhého. V sekci exp. uspořádání není přesně specifikováno, kde je v aparatuře umístěn vtok reaktivního plynu, přestože je to pro reaktivní naprašování důležité. Není možné, že došlo nejprve k otrávení toho z terčů, který byl ke vtoku reaktivního plynu blíže? Na obrázku 5.2.2 je vidět pokles celkového tlaku po přidání kyslíku, jedná se o pokles v rámci chyby měření, nebo o jev k zamyšlení?
- Cr-Cu-O vrstvy byly deponovány při teplotě 500 stupňů Celsia jako amorfni. Jejich vyhřátí po depozici na 450 stupňů Celsia vedlo ke krystalizaci, jak ukazujete na obr. 5.2.6. Máte vysvětlení, proč nedošlo k jejich krystalizaci již v průběhu depozičního procesu?
- U Cr-Cu-O vrstev ukazujete na str. 92 graf závislosti antibakteriálních účinků na vyhřátí po jejich depozici a píšete, že důvod, proč pozorujete tyto závislosti není jasný. Na str. 122 u Al-Cu-N vrstev navrhuje, že pozorovaný rozdíl v antibakteriálních účincích by mohl být přisouzen rozdílné drsnosti vrstev. Byl vliv drsnosti posuzován i u vyhřívaných Cr-Cu-O vrstev?
- V sekci 5.3.6 studujete vrstvy, které rostly za podmínek, jak píšete, velké energie dodávané v průběhu růstu. Proč jste zvolili právě tlak 2 Pa? V předchozí části 5.3.5 píšete, že snížením tlaku ze 2 Pa na 1 Pa by šlo docílit zvýšení iontového bombardu vrstvy až dvojnásobně a tedy, při aplikaci biasu na substrátu, podmínek větší energie dodávané v průběhu růstu.

**Závěr:**

Předložená disertační práce přináší velice zajímavě výsledky. Představuje značné množství časově náročných experimentů prováděných na Západočeské univerzitě, katedře fyziky, při depozici a charakterizaci multifunkčních vrstev obsahujících měď. Práce představuje velice široký experimentální záběr.

Na závěr je možné konstatovat, že autor ve své práci prokázal schopnost tvořivým způsobem přispět k získávání nových poznatků v oblasti materiálového výzkumu. **Předložená práce splňuje kritéria kladená na disertační práci. Proto navrhuji, aby po úspěšné obhajobě byla Ing. Jakubu Blažkovi udělena hodnost Philosophiae Doctor Ph.D.**

V Brně 21.11. 2013



.....

doc. Mgr. Petr Vašina, Ph.D.

Ústav fyzikální elektroniky, Masarykova univerzita