



KATEDRA FYZIKY FEL ČVUT, TECHNICKÁ 2
166 27 PRAHA 6
Tel. 224 352 333
Fax: 233 337 031
E-mail: pekarek@fel.cvut.cz

Oponentský posudek doktorské dizertační práce:

„Vysokoteplotní vrstvy Si-B-C-N a multifunkční vrstvy (Zr)-B-C-(N) připravené pulzním magnetronovým naprašováním“.

Dizertant: Ing. Petr Steidl

Školitel: Prof. RNDr. Jaroslav Vlček, CSc.

Školící pracoviště: Katedra fyziky, Fakulta aplikovaných věd, ZČU Plzeň

Hodnocení významu dizertace pro obor.

Během posledních dvaceti let se tenké vrstvy na bázi Si-B-C-N kvůli své specifické struktuře a vynikajícím vlastnostem staly předmětem intenzivního studia. Tyto skutečnost je způsobena použitím těchto vrstev například v dopravě, letectví, energetice i v životním prostředí. S ohledem na tyto možnosti použití se Ing. Steidl ve své dizertační práci zabýval aktuálními otázkami týkajícími se přípravy tenkých vrstev na bázi Si-B-C-N a (Zr)-B-C-(N) pomocí pulzního magnetronového naprašování.

Práce vznikla v rámci řešení výzkumného záměru MSM 4977751302 „Procesy ve výbojovém plazmatu a nové tenkovrstvé materiály s unikátními vlastnostmi“.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle.

Pro řešení problematiky použil autor klasický postup spočívající v popisu současného stavu problematiky, trendech výzkumu, definování cílů, řešení problému a nakonec v analýze obdržených výsledků. Tuto metodu autor rozvedl do šesti oddílů, následovaných seznamem citované literatury a seznamem prací dizertanta. Na počátku práce je dále obsažen seznam použitých symbolů a seznam použitých zkratk.

V prvním krátkém oddílu autor popisuje, čím se dizertace zabývá. Druhý oddíl se zabývá současným stavem problematiky. Mezi jiným jsou diskutovány nanostrukturální vrstvy s vysokou tvrdostí, mechanismy zvýšení tvrdosti, jsou diskutovány různé vysokoteplotní materiály, mechanismy koroze a finálně autor přistupuje k základnímu popisu tvorby tenkých vrstev pomocí nízkoteplotních výbojů. Po přečtení druhého oddílu čtenář získá rychle přehled o otázkách, kterými se dizertace bude zabývat.

V třetím oddílu jsou precizovány cíle dizertace. Ve čtvrtém oddílu autor dizertace popisuje metody zpracování. Jedná se o popis depozičního systému a popis metod použitých pro analýzu tenkých vrstev.

Těžištěm disertace je pátý, obsahově nejvýznamnější oddíl, který je rozdělen do dvou částí. První z těchto částí je věnována vysokoteplotní stabilitě vrstev Si-B-C-N a druhá část se týká vytváření a diagnostiky vrstev na bázi (Zr)-B-C-(N). Jsou zde popsány dosažené výsledky a je provedena jejich diskuse. V šestém závěrečném oddílu jsou stručně rekapitulovány výsledky. Z porovnání této rekapitulace se stanovenými cíly je zřejmé, že cíle disertace byly jednoznačně splněny.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu dizertanta.

Ze získaných výsledků je zřejmé, že dizertant zvládl techniku přípravy tenkých vrstev pulzním magnetronovým naprašováním s vynikající vysokoteplotní stabilitou, vysokou optickou transparentností a s relativně vysokou tvrdostí (vrstvy Si-B-C-N) a v případě vrstev (Zr)-B-C-(N) také s velmi vysokou tvrdostí, nízkým měrným odporem a dobrou oxidační odolností.

Dizertaci Ing. Steidla hodnotím jako velmi kvalitní. Je zřejmé, že Ing. Steidl během svého doktorského studia prostudoval velké množství literatury, vykonal velký kus experimentální práce a získal mnoho

nových originálních výsledků čímž přispěl k rozvoji poznání v oboru magnetronového naprašování tenkých vrstev a jejich vlastností. Práce je na vynikající úrovni, proto k ní nemám zásadní připomínky. Rád bych však dizertanta požádal o komentář k následujícím dotazům:

- U depozičního systému byla pro oddělení prostoru mezi terčem a držákem substrátů a ke stabilizaci výbojových podmínek bezprostředně před depozicí použita pohyblivá clona. Jak se případná nestabilita výboje projevovala a jakým způsobem byla stabilita výbojových podmínek detekována.
- Co autor rozumí pod pojmem: „střední výkon na terči v periodě 500 W“ (str. 35 nahore)?
- Autor získal velké množství experimentálních výsledků týkajících se vlivu různých faktorů na vlastnosti vrstev. V práci však poněkud postrádám porovnání získaných výsledků s výsledky dosaženými na jiných pracovištích. Tak například zaměříme li se konkrétně na tvrdost vrstvy, potom nejvyšší hodnota tvrdosti vrstvy kterou autor dosáhl je 39 GP pro vrstvu o přibližném složení $Zr_{25-28}B_{56-59}C_{11-14}N_{1-3}$ při $T=550$ °C. Je toto složení vrstvy optimalizováno z hlediska dosažení její maximální tvrdosti, případně existuje porovnání této hodnoty tvrdosti s výsledky pro vrstvu o analogickém složení získanými v jiných laboratořích?

Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni dizertační práce.

Předložená dizertační práce má 129 stran, obsahuje řadu obrázků a několik tabulek. Seznam v dizertaci citované literatury čítá 170 odkazů, zahrnující jak klasické učebnice, tak i literaturu týkající se zpracovávaného tématu. Práce je psána v českém jazyce, přičemž kvalita jazyka je velmi dobrá. Práce je zpracována profesionálně, přehledně a graficky velmi kvalitně.

Dizertační práce představuje vyvážený a kompaktní celek svědčící o schopnosti autora vysvětlit pozorované jevy a jasně formulovat dosažené závěry.

Vyjádření k publikacím dizertanta.

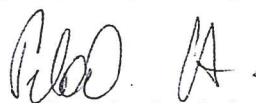
První publikace dizertanta jsou datovány do roku 2009. V seznamu publikací čítajícím 26 položek je Ing. Steidl spoluautorem případně hlavním autorem jak příspěvků na mezinárodních konferencích tak i publikací v prestižních impaktovaných časopisech. Seznam příspěvků z mezinárodních konferencí zahrnuje 22 položek- konference v USA, Francii, Německu, Velké Británii, Japonsku a Švédsku. Dizertant je dále spoluautorem tří článků publikovaných v Surface and Coating Technology a jednoho článku publikovaného v Thin Solid Films. Z těchto skutečností je tedy zřejmé, že se dizertant úspěšně zapojil do vědeckého týmu katedry fyziky Fakulty aplikovaných věd ZČU a jeho publikační aktivitu lze hodnotit jako vynikající.

Za velmi významnou považují také skutečnost, že část experimentálních výsledků byly získána a publikována ve spolupráci se zahraničními pracovišti – Air Force Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio a Department of Materials Science and Engineering, The University of Texas.

Vyjádření zda je dizertační práce doporučena k obhajobě.

Předložená práce přináší nové poznatky z oblasti pulzního magnetronového naprašování tenkých multifunkčních vrstev na bázi Si-B-C-N a (Zr)-B-C-(N) a vlastností těchto vrstev. Dizertace jednoznačně prokázala schopnost autora k samostatné tvořivé práci, a proto ji doporučuji k obhajobě.

Praha 11. 5. 2015


Prof. Ing. Stanislav Pekárek, CSc.
Katedra fyziky FEL, ČVUT Praha

Oponentský posudek disertační práce

Autor: Ing. Petr Steidl, Západočeská univerzita v Plzni

Název: Vysokoteplotní vrstvy Si-B-C-N a multifunkční vrstvy (Zr)-B-C-(N) připravené pulzním magnetronovým naprašováním

Oponent: Ing. Jaroslav Sobota CSc., Ústav přístrojové techniky AVČR Brno

Předložená práce se zabývá zajímavou a aplikačně vysoce aktuální tematikou – nanokrystalickými multikomponentními povlaky bázi přechodových kovů připravenými pulzním magnetronovým naprašováním. Navazuje na dlouhodobou angažovanost pracoviště v této problematice prezentovanou jak v řadě impaktovaných publikací tak disertačních prací. Cílem této práce bylo zjistit vlastnosti a oxidační odolnost vrstev $(B_4C)_{25}Si_{75}$, prostudovat vliv složení terče B₄C-(Zr) a výbojové atmosféry na depoziční parametry vrstev (Zr)-b-C-(N). Dalším cílem bylo pro vybrané kombinace složení terče a výbojové atmosféry prostudovat vliv depoziční teploty na depoziční parametry, složení a vlastnosti vrstev a provést studii oxidační odolnosti těchto povlaků.

Bylo prokázáno, že lze připravit povlaky Si-B-C-N, které odolávají teplotám při žíhání v hélíu. Materiál vrstev zůstal amorfni po žíhání v inertních plynech (He a Ar) do 1600°C bez patrných strukturních transformací a bez detekovatelných hmotnostních změn během žíhání. Tato oxidační odolnost je dána přítomností nanozrn BN v přechodové vrstvě působící jako difuzní bariéra.

Povlaky (Zr)-b-C-(N) nanášené pulzním reaktivním magnetronovým naprašováním vytváří hladké bezdefektní vrstvy s vynikající přilnavostí k podložkám. Vrstva $Zr_{25}B_{57}C_{14}N_3$ s nanosloupcovou ZrB₂ strukturou vykazuje vysokou tvrdost, nízké pnutí a vysokou elektrickou vodivost při oxidační odolnosti do 650 st. C. Tyto výsledky mají značný ekonomický potenciál, který by bylo škoda nevyužít buď v projektech s firmami předpokládající praktický výstup (TAČR), popřípadě prostřednictvím smluvního výzkumu financovaného přímo zainteresovaným firmami.

Konkrétní připomínky:

(strana řádek shora resp. strana^{řádek shora} příp. číslo odstavce, obrázku, tabulky)

Str.65 „Hn je dána nerovnicí.“ Spíše nerovností, že?

Str.315 „Čerpací systém byl tvořen rotační olejovou vývěvou pro dosažení tlaku ≈ 3 Pa a turbomolekulární vývěvou, která byla přečerpávaná membránovou vývěvou, pro dosažení základního tlaku před depozicí (3×10^{-3} Pa) a tlaku během depozice (0,5 Pa).“

Tlak během depozice (0,5 Pa) byl dosažen připouštěním plynu (plynů), že?

Str. 33 kapitola 1.4. „V případě vrstev Si-B-C-N bylo překryto 75% erozní zóny křemíkovými wafery o čistotě 99.9%“ Opravdu mají křemíkové salámy uvedenou čistotu?

Str. 37^{1,2} „Maximální hloubka vtisku H_{max} by měla být menší než 10% tloušťky vrstvy

Poměr maximální hloubky vtisku a tloušťky vrstvy by měl být menší než 0,1“

Jsou to opravdu dvě různá pravidla?

Str.103 obr. V-2.31: vzhledem k označení v levém horním rohu 25%N₂ přerušovanou čarou a 50% N₂ spojitou čarou to znamená, že pouze vrstva s 15% Zr je připravena při 25% N₂ a zbylé jsou připraveny při 50% N₂?

Předcházející připomínky poukazují na nedopatření, resp. nedokonalosti, které nemají pro disertační práci rozhodující význam. Ponechám na disertantovi, zda se hodlá k některým z nich v průběhu obhajoby vyjádřit. **Následující připomínky jsou však významnější a bude je nezbytné při oponentním řízení vyjasnit:**

Str.265 „Pro rozprašování keramických terčů s nízkou elektrickou vodivostí je navíc nutné použít radiofrekvenční zdroj, což s sebou přináší další technické i finanční nároky kromě většinou výrazně snížené depoziční rychlosti.“

Otázka: proč dochází k výraznému snížení depoziční rychlosti použitím radiofrekvenčních zdrojů?

Str. 27² „Při magnetronovém naprašování v reaktivním modu dochází k takzvanému otrávení terče.“ Otázka: Dochází k otrávení terče při magnetronovém naprašování v reaktivním modu vždy?

Str.88₁₇ „drsnosti 2.25 resp. 1.68 nm.“ S jakou přesností je drsnost povrchu určena, že je vykazujete na tři místa?

Závěr:

I přes uvedené výhrady, je moje odpověď na zásadní otázky, která klade oponentovi příslušná vyhláška komise pro vědecké hodnosti, vesměs kladná.

Konstatuji tedy, že zvolené téma je aktuální, cíle disertační práce byly splněny adekvátními metodami zpracování, disertace přinesla hodnotné výsledky s původními prvky a že význam řešení podobných úloh pro další rozvoj vědy i pro společenskou praxi je nesporný. Disertant prokázal svůj osobní přínos k prezentované práci v příloženém seznamu publikací na řadě mezinárodních konferencí a impaktovaných časopisech. Předložená práce přinesla bezesporu nové poznatky. Dále konstatuji, že disertant prokázal svoji způsobilost k tvořivé práci, ovládá vědecké metody práce, má dostatečné teoretické znalosti.

Doporučuji proto disertační práci Ing. Petr Steidla k obhajobě.

V Brně dne 29.5.2015



Ing. Jaroslav Sobota, CSc.

