

## Vliv energie částic na vlastnosti vrstev Me-B-C-(N) připravených reaktivní magnetronovou depozicí

Veronika Šímová<sup>1</sup>

### 1 Úvod

Materiály na bázi diboridů přechodových kovů se vyznačují vysokou teplotou tání (až 3200 °C) a chemickou stabilitou, neobvykle vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí a pozoruhodnými mechanickými vlastnostmi. Jsou proto vhodné pro použití v oblasti letectví a kosmonautiky, např. v leteckých motorech či na náběžné hrany, popř. jako otěruvzdorné povlaky na nástrojích.

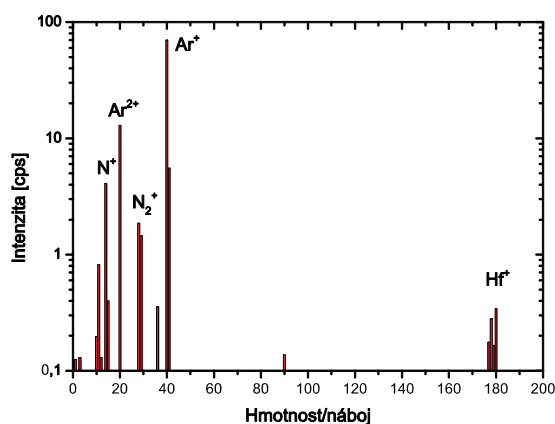
Na KFY ZČU byly připraveny tvrdé nanokrystalické vrstvy Zr-B-C (Vlček et al., 2013). Pulzním magnetronovým naprašováním v čistém Ar s použitím terče s 15 % Zr byly získány vrstvy vyznačující se vysokou tvrdostí (37 GPa) a nízkým kompresním pnutím (0,4 GPa).

Tenké vrstvy Hf-B-C připravené za stejných podmínek (Kohout et al., 2013) vykazovaly velice podobnou tvrdost (37 GPa) jako výše popsání vrstvy Zr-B-C, avšak pnutí v materiálu bylo mnohem vyšší (4,9 GPa).

Účelem této práce proto je objasnit rozdíl v naprašování tenkých vrstev na bázi Ti, Zr a Hf a zjistit příčinu vysokého pnutí v případě materiálů obsahujících hafnium. K tomu byla využita hmotnostní spektroskopie.

### 2 Hmotnostní spektroskopie při dc magnetronovém naprašování

Byly zkoumány materiály připravené ve směsi 95 % Ar + 5 % N<sub>2</sub> při obsahu přechodového kovu na terči 45 %. Obr. 1 ukazuje hmotnostní spektrum pro případ terče s 45 % Hf. Zastoupení iontů Ar<sup>+</sup> je značně vyšší než zastoupení ostatních iontů, proto budou pro popis všech jevů využity právě argonové ionty.



**Obrázek 1:** Hmotnostní spektrum při dc magnetronovém naprašování ve směsi 95 % Ar + 5 % N<sub>2</sub> při obsahu Hf na terči 45 %.

<sup>1</sup> studentka navazujícího studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Aplikovaná fyzika a fyzikální inženýrství, specializace Fyzika technologických procesů, e-mail: vsimova@students.zcu.cz

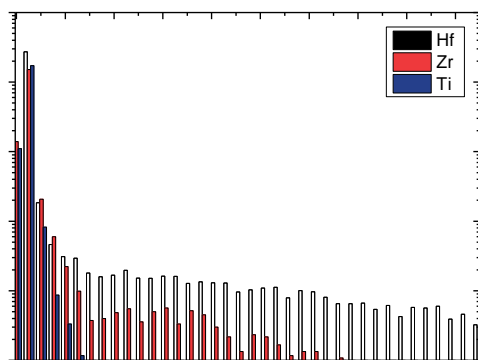
Vyšší energie dodaná do vrstev Hf-B-C (a s ní související vyšší pnutí) byla vysvětlena pomocí poměru kinetických energií odražených a dopadajících atomů Ar při pružné čelní srážce atomu Ar s těžším terčovým atomem kovu (Kohout et al., 2013):

$$(m_{\text{Me}} - m_{\text{Ar}})^2 / (m_{\text{Me}} + m_{\text{Ar}})^2 \quad (1)$$

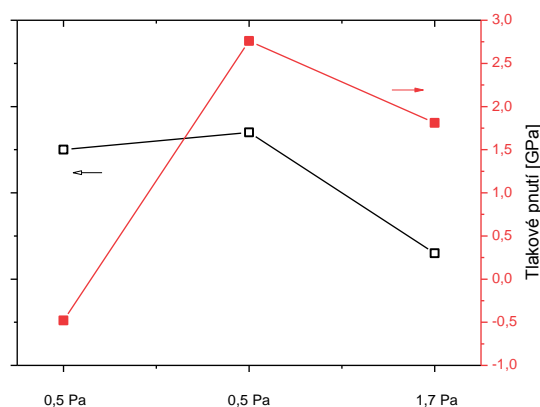
Tento poměr nabývá hodnoty 0,40 pro Hf, ale pouze 0,15 v případě Zr.

Pomocí hmotnostní spektroskopie bylo zjištěno, že rostoucím podílem  $M_{\text{Me}}/M_{\text{Ar}}$  (Me = Ti, Zr, Hf) dochází k prodlužování chvostů rozdělovací funkce iontů  $\text{Ar}^+$  při 45 % Ti, Zr, resp. Hf na terči (viz obr. 2). Tyto ionty majoritně vznikají ionizací atomů Ar odražených od terče. Získané výsledky potvrzují objasnění příčiny pnutí v materiálech obsahujících Hf, které je důsledkem vyšší energie dodané do vrstev při jejich růstu částicemi o vysoké energii.

Obr. 3 ukazuje tvrdost a vnitřní pnutí vrstev Me-B-C-N připravených dc magnetronovým naprašováním. Vrstvy Ti-B-C-N a Zr-B-C-N byly připraveny při tlaku 0,5 Pa. Při tomto tlaku však z důvodu vysokých vnitřních pnutí nebylo možné nadeponovat vrstvy Hf-B-C-N a bylo nutné zvýšit tlak na 1,7 Pa. Proto se z obr. 3 zdánlivě jeví, že v materiálu Hf-B-C-N bylo pnutí nižší než v případě Zr-B-C-N, to je však způsobeno právě rozdílnými tlaky při přípravě vrstev. Lze pozorovat, že zatímco vrstvy Ti-B-C-N mají tahové pnutí, vrstvy Zr-B-C-N mají mnohem vyšší tlakové pnutí a ve vrstvách Hf-B-C-N při tlaku 0,5 Pa je kompresní pnutí již tak vysoké, že nelze při těchto podmínkách materiál připravit.



**Obrázek 2:** Rozdělovací funkce iontů  $\text{Ar}^+$  v závislosti na typu přechodového kovu ve směsi 95 % Ar + 5 %  $\text{N}_2$  při tlaku 0,5 Pa a 45 % přechodového kovu na terči.



**Obrázek 3:** Tvrdost a pnutí vrstev Me-B-C-N připravených dc magnetronovým naprašováním. Vrstvy Ti-B-C-N a Zr-B-C-N byly připraveny při tlaku 0,5 Pa a vrstvy Hf-B-C-N při 1,7 Pa.

### 3 Závěr

Bylo zjištěno, že při dc magnetronovém naprašování dochází k prodlužování chvostů rozdělovacích funkcí iontů  $\text{Ar}^+$ , které majoritně vznikají ionizací atomů Ar odražených od terče, s rostoucí hmotností přechodového kovu. V případě Hf na terči to znamená nejvyšší energii odražených částic, a tím vysokou energii dodanou do vrstev Hf-B-C-N při jejich růstu, která souvisí s vysokým pnutím.

### Literatura

J. Vlček, J., Steidl, P., Kohout, J., Čerstvý, R., Zeman, P., Prokšová, Š., Peřina, V. *Surf. Coat. Technol.* 215 (2013) 186–191.

Kohout, J., Vlček, J., Houška, J., Mareš, P., Čerstvý, R., Zeman, P., Zhang, M., Jiang, J., Meletis, E. I., Zuzjaková, Š. *Surf. Coat. Technol.*  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.12.007>