

## Reaktivní vysokovýkonová pulzní magnetronová depozice vrstev oxidů vanadu

Tomáš Vytisk<sup>1</sup>

### 1 Úvod

Spotřeba a úspora energie se stává v dnešní době globálním problémem. Zvyšují se nároky na výrobu a společně s tím roste důraz na omezení plýtvání jakéhokoliv druhu energie. Řešení jak zamezit energetické ztráty nabízí různé formy tepelné izolace. Přesto zde zůstává slabina v tepelné izolaci oken. Zejména v oblastech, kde venkovní teploty stoupají vysoko, se díky infračervenému záření dostává do vnitřních prostor nežádoucí teplená energie, s níž rostou energetické náklady na klimatizování budov.

Možným řešením pro snížení těchto nákladů jsou termochromické materiály, které reagují na změnu okolní teploty. Oxid vanadu patří mezi slibné transparentní materiály, které při teplotě 67 °C, změni svoji vnitřní strukturu a přestane propouštět záření zejména v oblasti infračerveného záření, aniž by došlo ke snížení jejich transparentnosti. Velkou výhodou tohoto materiálu je, že tento proces je vratný. Cílem současného výzkumu je vytvořit takové vrstvy oxidu vanadu, aby došlo ke snížení této přechodové teploty na v praxi využitelných 40 °C. Další potenciál využití termochromických vrstev oxidu vanadu, se nalézá v laserové technice, bezpečnostních senzorech a tekutých krystalech.

### 2 Experiment

Tato práce je zaměřena na vysoko-výkonovou reaktivní magnetronovou depozici tenkých vrstev oxidu vanadu VO<sub>2</sub> s pulzním řízením toku reaktivního plynu – O<sub>2</sub>. Vrstvy byly připravovány v atmosféře Ar + O<sub>2</sub> při konstantním celkovém tlaku 1 Pa. Vanadový terč (99,999%) byl zatěžován konstantním průměrným výkonem přes celou dobu depozice  $\langle S_d \rangle = 13 \text{ W/cm}^2$ . Byla vytvořena sada dvanácti vzorků pro tři délky pulzu napěťového elektrického zdroje  $t_1 = 40, 50 \text{ a } 80 \mu\text{s}$  s konstantní střídou 1 % a polovina z nich byla vyhřívána na teplotu  $T = 400 \text{ °C}$  po celou dobu depozice. Doba depozice se pohybovala mezi 1300 – 3000 s pro vytvoření požadované tloušťky vrstvy.

Vytvořené vrstvy byly podrobeny strukturální a fázové analýze pomocí RTG difrakce na multifunkčním práškovém difraktometru X'Pert Pro MPD (PANalytical). Pro spektroskopickou analýzu byl použit Ramanův spektroskop LABRAM (Horiba Jobin Yvon). Pozorování termochromických vlastností bylo provedeno na vyhříváném Ex-situ spektroskopickém elipsometru VASE (J.A. Woollam).

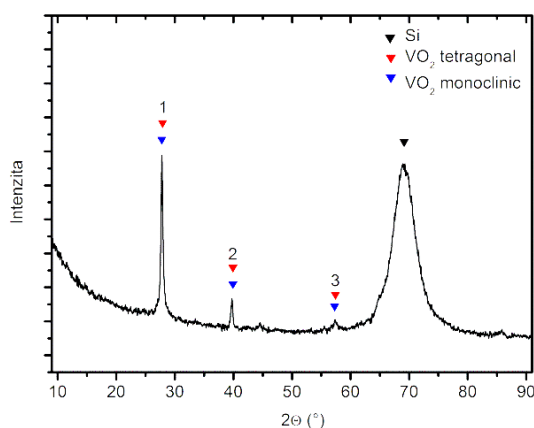
### 3 Výsledky a závěr

Provedené analýzy ukázaly významný vliv ohřevu substrátu při depozici vznikajících vrstev. Rentgenová difrakční analýza identifikovala amorfní strukturu všech vrstev, které neměly vyhříváný substrát během depozice. Vyhřívání vzorky mají vrstvy tvořené

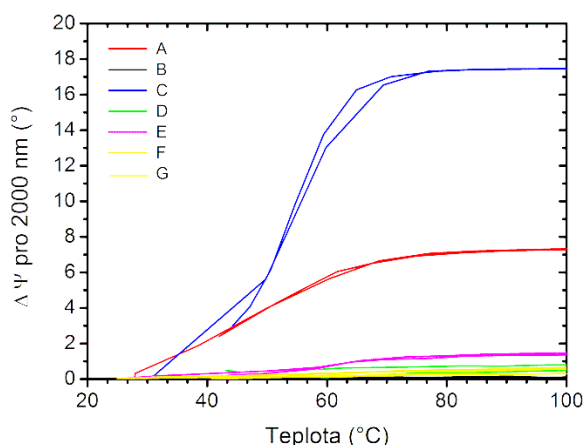
---

<sup>1</sup>student magisterského navazujícího studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Aplikovaná fyzika a fyzikální inženýrství, specializace Fyzika technologických procesů, e-mail: vytito@gmail.com

krystalickou strukturou s různými soustavami a stechiometrickým složením. Dobré výsledky vykazuje vrstva, jejíž difraktogram je zobrazen na obrázku 1. Depoziční parametry této vrstvy jsou: délka pulzu  $t_1 = 80 \mu\text{s}$ , průměrný výkon na terči  $\langle S_d \rangle = 13 \text{ W/cm}^2$ , teplota substrátu  $T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Z difraktogramu lze vyčíst, že vrstva obsahuje tetragonální nebo monoklinický oxid vanadu  $\text{VO}_2$ , kterým přísluší píky na pozici  $27,8^\circ$  (110),  $39,8^\circ$  (020) a  $57,4^\circ$  (220), dále se zde objevuje pík na  $70^\circ$  patřící křemíkovému substrátu. Na obrázku 2 je uvedena závislost rozdílu elipsometrického úhlu  $\Psi - \Psi_{\text{min}}$  na teplotě. Z průběhu tohoto rozdílu lze získat informace o optických vlastnostech zkoumané vrstvy, tedy i její transmitanci pro danou vlnovou délku záření. Termochromické chování této vrstvy, které je charakterizováno modrou křivkou C na obrázku 2, je nejslibnější ze všech vytvořených vrstev. Přechodová teplota  $T_t$  této vrstvy je přibližně  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ostatní vrstvy, jejichž termochromické chování je charakterizováno křivkou A, D, E, F a G, obsahují kromě  $\text{VO}_2$ , také  $\text{V}_2\text{O}_5$  nebo  $\text{V}_4\text{O}_9$ . Výsledky zobrazené na obrázku 2 jsou tedy v souladu s doposavad získanými informacemi o příznivých vlastnostech  $\text{VO}_2$  vrstev. Pro ilustraci je na obrázku 2 také zobrazeno chování amorfních vrstev, které je popsáno křivkou B. Porovnáním dosažených výsledků s prací od J. P. Fortier et al, která také studuje přípravu termochromických vrstev, lze úspěšně konstatovat, že byla vytvořena vrstva lepších parametrů, zejména pokud jde o transparentnost vrstev.



**Obrázek 1:** Difraktogram ukazující strukturu vytvořené vrstvy obsahující pouze  $\text{VO}_2$ .



**Obrázek 2:** Závislost změny polarizace záření na teplotě. Přechodová teplota  $T_t \sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## Literatura

Kiri, P. R., 2010. *Adv. Mat. Lett.* Vol. 1(2). pp 86-105.

Fortier, J.P. et al, 2014. *Solar Energy Materials & Solar Cells.* Vol. 125. pp 291–296.