

Vysokovýkonová pulzní reaktivní magnetronová depozice vrstev VO₂ na skle

Michal Tichý¹

1 Úvod

Termochromičnost je fenomén, který se zabývá problematikou změn optických vlastností materiálu v závislosti na změně teploty. Termochromické chování vykazuje oxid vanadičitý VO₂ společně s velmi slibnými optickými a elektrickými vlastnostmi. VO₂ je v současné době nejvíce zkoumaným termochromickým materiálem vzhledem k velmi nízké přechodové teplotě z jedné fáze do druhé, která je pro objemový materiál přibližně 68 °C. Zmíněná změna fází je reverzibilní a je popsána jako přechod z polovodičové struktury do vodivé kovové struktury při překročení přechodové teploty. Změna fáze je doprovázena výraznou změnou elektrických vlastností a optických vlastností v infračerveném spektru. Ve viditelném spektru naopak ke změnám nedochází. Krystalická struktura VO₂ se při této fázové přeměně mění z nízkoteplotní monoklinické struktury na vysokoteplotní tetragonální strukturu podobnou rutilu.

2 Cíle výzkumu

Cílem výzkumu je modifikovat přechodovou teplotu VO₂ povlaků na teploty blízké pokojovým teplotám, tedy asi 20-25 °C. Toho je možné dosáhnout například dopováním vrstev wolframem nebo molybdenem či vnesením vnitřního pnutí do vrstev. Další výzvou je snížit teplotu při depozici těchto vrstev, která je nyní často vyšší než 400 °C a znemožňuje tak depozici na teplotně citlivé substráty (například polymery), nehledě na vysoké náklady spojené s tvorbou vrstev. Poslední neméně výraznou překážkou pro uplatnění tenkovrstevných termochromických vrstev VO₂ v komerční praxi je nutnost použít při depozici vysokofrekvenční (RF) předpětí na substrát. To je samo o sobě další náročná a nákladná procedura a navíc homogenní pokrytí velkých substrátů RF předpětím je velice technologicky obtížné a firmy se tomuto přístupu vyhýbají.

3 Cíle práce

Cílem této práce bylo připravit termochromické vrstvy VO₂ pomocí vysokovýkonové pulzní magnetronové depozice (HiPIMS) za nízkých depozičních teplot a bez použití RF předpětí na substrátu. Pro depozice byl využit unikátní řídicí systém reaktivních depozic, který byl vyvinut a patentován na katedře fyziky ZČU. Právě tento řídicí systém umožňuje stabilizovat HiPIMS depozici a zároveň zachovat veškeré její výhody, především vysoký stupeň ionizace plazmatu a vysoké výkonové hustoty dodané do výboje. To umožňuje vytvářet dokonale stochiometrické vrstvy se sníženou přechodovou teplotou bez použití dopantů, epitaxních mezivrstev nebo předpětí na substrátu.

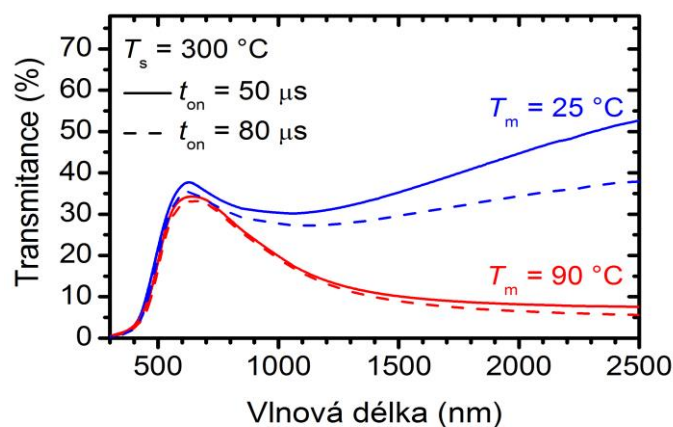
¹ student navazujícího studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Aplikovaná fyzika a fyzikální inženýrství, specializace Fyzika technologických procesů, e-mail: tichy3@students.zcu.cz

4 Parametry depozic a diagnostika vrstev

Byla provedena série přibližně 30 depozic na křemíkové a skleněné substráty při depozičních teplotách 250 - 400 °C. Délka napěťového pulzu byla 40 - 100 μs a opakovací frekvence pulzů 200 a 125 Hz. Průměrná výkonová hustota při depozici byla 12 – 14 Wcm^{-2} . Složení a fázová struktura vrstev byla zkoumána pomocí rentgenové difrakce XRD a Ramanovou spektroskopií, optické vlastnosti byly měřeny optickou elipsometrií. Transmittance vrstev byla určena spektrofotometrií a přechodová teplota byla vypočtena z hysterezní křivky transmittance při ohřevu vzorků a porovnána s hysterezní křivkou rezistivity vrstev měřenou pomocí čtyřbodové metody.

5 Výsledky

Vytvořené vrstvy VO_2 mají výborné optické vlastnosti a prokazují termochromické chování i při nízkých depozičních teplotách (300 °C). XRD analýza určila, že vrstvy jsou tvořeny prakticky jen monoklinickou fází VO_2 a při ohřevu dochází ke změně do fáze tetragonální. Nejdůležitějším výsledkem jsou hodnoty transmittance vrstev pod přechodovou teplotou a nad ní. V infračervené oblasti dochází po překročení přechodové teploty k výrazné změně transmittance – modulace transmittance $\Delta T_{2500\text{nm}} = 45\%$ (obr. 1), což je hodnota podobná hodnotám uváděným v literatuře. Zde se těchto výsledků však podařilo dosáhnout bez využití RF předpětí nebo epitaxních mezivrstev a navíc při nízké depoziční teplotě. Díky výhodám řízené HiPIMS depozice se podařilo snížit přechodovou teplotu z 68 °C na přibližně 59 °C a to bez využití dopantů. Tloušťka vrstev byla přibližně 50 nm.



Obrázek 1: Závislost transmittance tenké vrstvy VO_2 na vlnové délce dopadajícího záření.

Literatura

- Fortier, J.P., Baloukas, B., Zabeida, O., Klemberg-Sapieha, J.E., a Martinu L., 2014. Thermo-chromic VO_2 thin films deposited by HiPIMS. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 125. pp 291–296.
- Vlček, J., Rezek, J., Houška, J., Kozák, T., a Kohout, J., 2015. Benefits of the controlled reactive high-power impulse magnetron sputtering of stoichiometric ZrO_2 films. *Vacuum*, Vol. 114. pp 131–141.