

Reaktivní vysokovýkonová pulzní magnetronová depozice vrstev HfO₂

David Kolenatý¹

*Katedra fyziky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni,
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, Česká republika*

1 Úvod

V posledních dvaceti letech se plazmovým technologiím věnuje veliká pozornost. Modifikace povrchů materiálů a depozice tenkých vrstev v nízkotlakém plazmatu je důležitou oblastí v plazmových technologiích.

Díky miniaturizaci CMOSFET tranzistorů (complementary metal oxide-semiconductor field effect transistors) se v posledních letech začala rozvíjet spousta nových funkčních materiálů. V posledních několika desetiletích se vyvíjelo zpracování a výroba SiO₂ vrstev vysoké kvality o požadované tloušťce s velmi malým počtem defektů, které mají amorfni strukturu a tvoří perfektní rozhraní s Si substrátem. Podle kvantového tunelového jevu lze použít minimální tloušťku 1,2 nm. Tento limit způsobil zvýšení intenzity výzkumu materiálů s vyšší dielektrickou konstantou než má SiO₂, které by se daly použít jako dielektrické oxidy na gate elektrodu u CMOSFET, jelikož více potlačují kvantové tunelování skrz dielektrickou vrstvu. V současné práci J. H. Choi et al. (2011) je publikováno, že mezi termodynamicky stabilní materiály s vysokou dielektrickou konstantou ϵ_r patří například oxidy kovů: TiO₂, Y₂O₃, Ta₂O₅, ZrO₂ a HfO₂. Jako náhrada za konvenční SiO₂ se zdá HfO₂ nejvhodnější. Další z klíčových aplikací oxidů kovů s vysokou dielektrickou konstantou pro TFT (thin film transistors) je sběrnice u AMOLED (active matrix organic light emitting diode) displejů, která by měla zvýšit spínací rychlost těchto displejů.

2 Parametry depozice

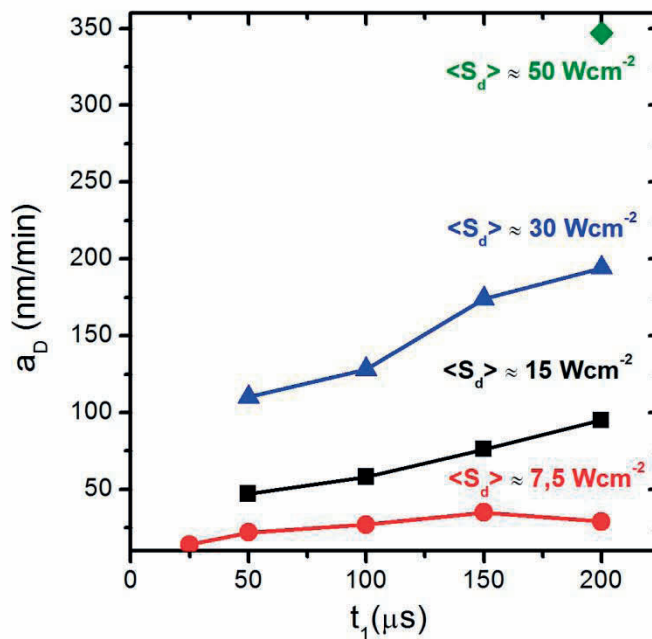
Tato práce je zaměřena na reaktivní vysokovýkonovou pulzní magnetronovou depozici densifikovaných stechiometrických vrstev HfO₂ s pulzním řízením přítoku reaktivního plynu. Vrstvy byly připravovány v atmosféře argonu a kyslíku za konstantního tlaku pracovního plynu $p_{Ar} = 2 Pa$. Hafniový terč o průměru 100 mm byl zatěžován výkonovou hustotou v periodě $\langle S_d \rangle = 5$ až $50 Wcm^{-2}$. Opakovací frekvence pulzů byla 500 Hz a střída 1,25% až 10%. Vrstvy byly nanášeny na křemíkový substrát s orientací (100), který byl upevněn na stolku ve vzdálenosti $d = 100 mm$ od terče. Proměnnými parametry depozičního procesu byla délka pulzu $t_1 = 25; 50; 100; 150$ a $200 \mu s$ a střední hodnota výkonové hustoty v periodě $\langle S_d \rangle = 5; 7,5; 15; 30$ a $50 Wcm^{-2}$. U takto připravených vrstev bylo provedeno měření depoziční rychlosti, tvrdosti a Youngova modulu, analýza fázového složení RTG difrakcí, elipsometrické měření extinkčního koeficientu k a indexu lomu n . V této práci jsou prezentovány závislosti výbojových a depozičních charakteristik, jako jsou depoziční rychlost a_D , průměrný průtok reaktivního plynu $\langle \Phi_{ox} \rangle$, poměr depoziční rychlosti a průměrného průtoku reaktivního plynu $a_D / \langle \Phi_{ox} \rangle$, průběh proudových a napěťových pulzů, samotný průběh proudu, tlaku a průtoku reaktivního plynu při depozici, na proměnných parametrech depozičního procesu t_1 a $\langle S_d \rangle$. Dále jsou prezentovány závislosti

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

charakteristik deponovaných vrstev, jakými jsou fázové složení, tvrdost H , Youngův modul E^* , extinkční koeficient k_{550} a index lomu n_{550} , na proměnných parametrech depozičního procesu t_1 a $\langle S_d \rangle$.

3 Výsledky

Z výsledků této práce plyne, že výše zmíněná metoda reaktivního vysokovýkonového pulzního magnetronového naprašování s efektivním řízením procesu je vhodná pro přípravu stechiometrických ($k_{550} < 0,001$) densifikovaných (n_{550} až 2,12) vrstev HfO_2 , navíc vytvořených za velmi vysokých depozičních rychlostí (až 347 nm/min), což je mnohonásobně více než bylo dosud publikováno v literatuře (např. F. M. Li et al. (2011)).



Obrázek 1: Graf závislosti depoziční rychlosti a_D na délce pulzu t_1 pro konstantní hodnoty výkonové hustoty v periodě $\langle S_d \rangle = 7,5; 15; 30$ a 50 Wcm^{-2} .

Literatura

F. M. Li, B. C. Bayer, S. Hofmann, *Appl. Phys. Lett.* **98**, 252903 (2011)

J.H. Choi, Y. Mao, J.P. Chang, *Materials Science and Engineering R* **72** (2011) 97–136