

GRayscale LITOGRAFIA PRE NOVÉ FOTONICKÉ MATERIÁLY

Ing. Marek Zdurienčík

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 01026, Žilina

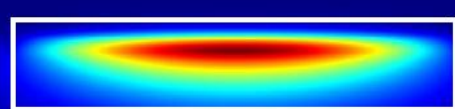
E-mail: zduriencik@fyzika.uniza.sk

Úvod

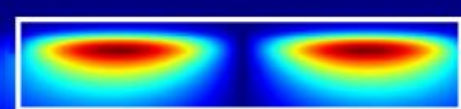
Oblasť polovodičov s extrémne širokým zakázaným pásmom ešte nie je veľmi dobre preskúmaná a často zahŕňa materiály s veľmi dobrými vlastnosťami pre elektrotechnické a fotonické aplikácie. Jedným z nich je Ga_2O_3 (gálium oxid) s šírkou zakázaného pásma **4,8 eV** [1], ktorý má potenciál na použitie vo vysoko-výkonnej technológii. Nedávny výskum ukázal, že filmy Ga_2O_3 môžu zvýšiť dôležité vysokovýkonné parametre fotonických štruktúr, ako je napríklad prahová hodnota výkonu pre poškodenie spôsobené laserom (LDT) [2]. Taktiež jeho polarizačne citlivé správanie môže byť použité v rôznych senzorických aplikáciách [3]. Šírka zakázaného pásma Ga_2O_3 znamená transparentnosť vo viditeľnej a blízkej infračervenej oblasti, a teda je možné vyvinúť integrovanú optiku založenú na tomto materiály pre viditeľné svetlo (VIS). Niektoré z prvých meraní na Ga_2O_3 optických prvkoch boli vykonané na jednoduchých vlnovodoch, kde sa preukázali dobré vodiace vlastnosti. V mojej práci predstavujem vlnovodové a mriežkové štruktúry vyrobené z negatívneho fotorezistu mrt-DWL na β - a κ - Ga_2O_3 , pripravené grayscale laserovou litografiou (GLL), ktorú som vyvinul v rámci diplomovej práce. Pripravené štruktúry v súčasnosti podstupujú reaktívne iónové leptanie (RIE) na ústave elektrotechniky Slovenskej akadémie vied v Bratislave, pri ktorom budú vytvorené do vrstvy Ga_2O_3 .

Experiment

Vlnovodové správanie Ga_2O_3 bolo skúmané v simulácii pracujúcej v časovej doméne s konečným rozdielom (FDTD), ktoré pripravil Ing. Daniel Benedikovič, PhD z katedry MIKT. Vlnovody Ga_2O_3 sme navrhli na zažiarovom substráte s rozmermi zodpovedajúcimi našim technologickým limitom. Výsledky ukazujú dobré šírenie základných aj vyšších módov vo vlnovode Ga_2O_3 pre vybrané vlnové dĺžky VIS (**400 nm a 650 nm**).



Ga_2O_3 vlnovod s $h = 200$ nm, $w = 2500$ nm a excitacným žiarením $\lambda = 650$ nm; $n_{\text{eff}} = 1.7960$ (TE0) (vľavo) a $n_{\text{eff}} = 1.7840$ (TE1) (vpravo).



Ga_2O_3 vlnovod s $h = 200$ nm, $w = 1500$ nm a excitacným žiarením $\lambda = 400$ nm; $n_{\text{eff}} = 1.8434$ (TE0) (vľavo) a $n_{\text{eff}} = 1.8133$ (TE1) (vpravo).

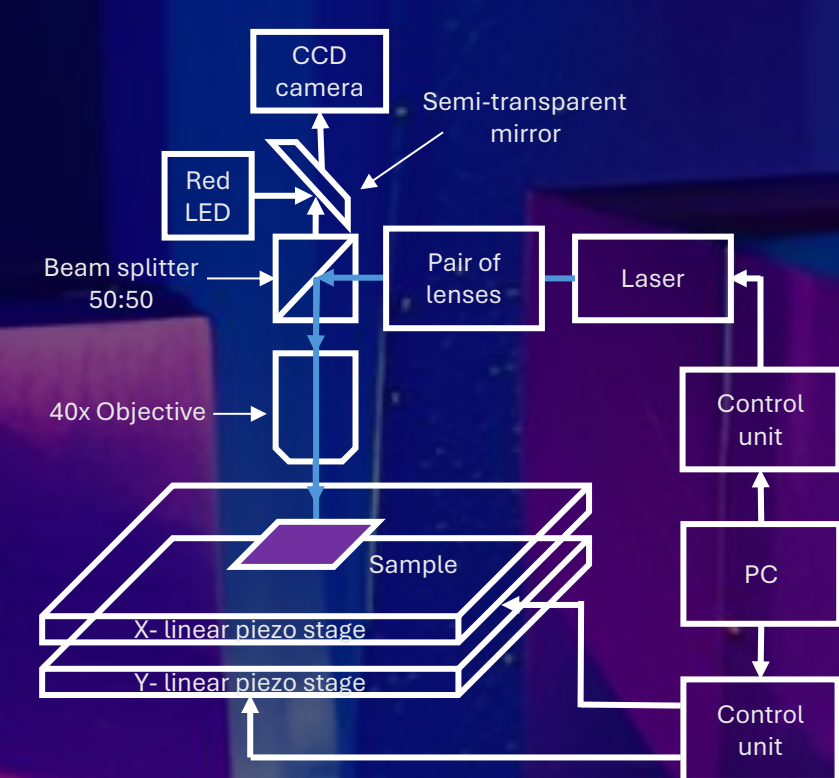
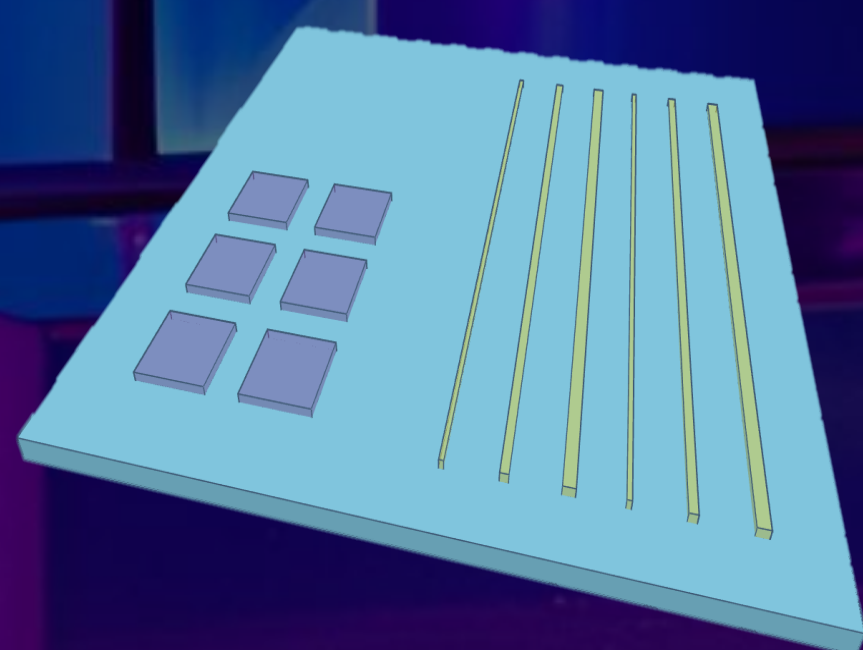


Schéma GLL zariadenia s 405 nm laserovou diódou.



3D návrh testovacej štruktúry na ploche $500 \times 500 \mu\text{m}^2$: pole mriežok a vlnovodov s rôznou hrúbkou.

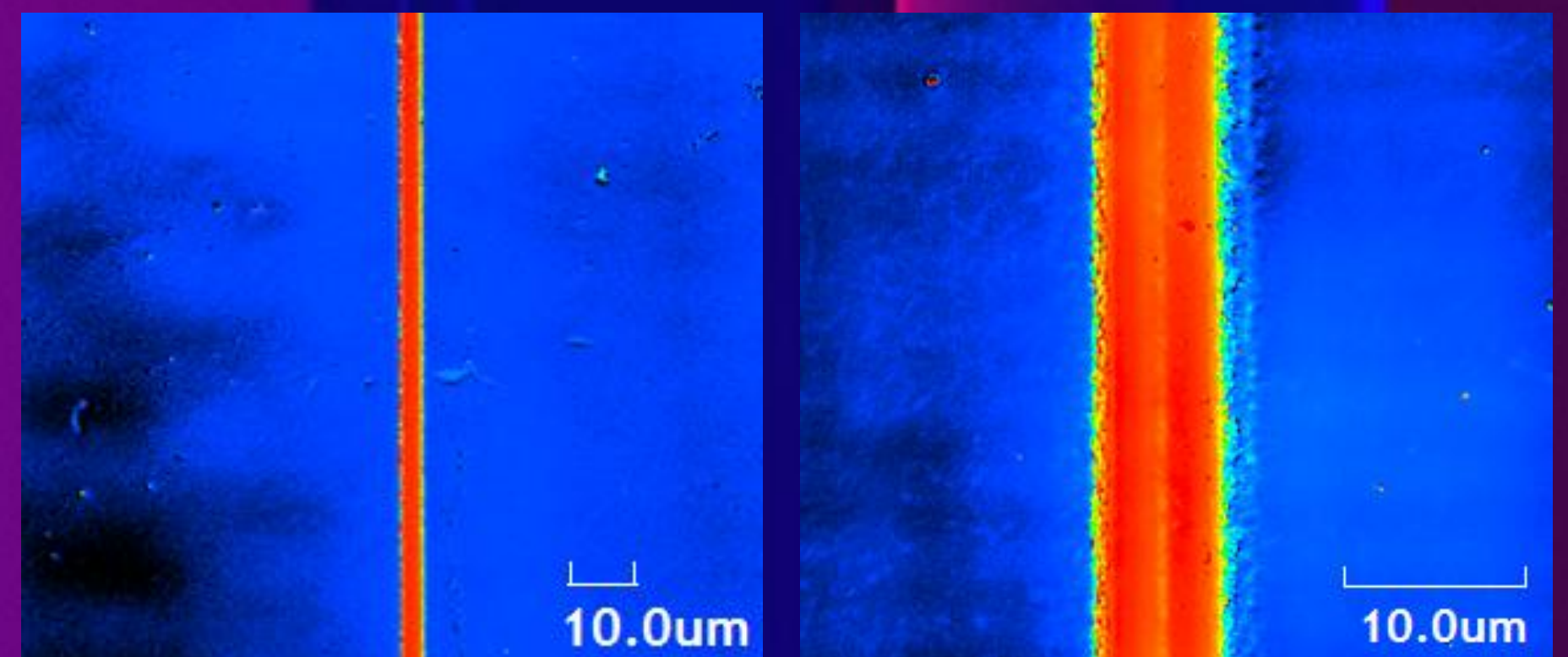
Referencie

- [1] Zhou J., Chen H., Fu H., Fu K., Deng X., Huang X., Yang T., Montes J., Yang C., Qi X., Zhang B., Zhang X. and Zhao Y., "Demonstration of low loss β - Ga_2O_3 optical waveguides in UV-NIR spectra," Applied Physics Letter 115; 251108 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5133845>.
- [2] Deng H., Leedle K. J., Miao Y., Black D. S., Urbanek K. E., McNeur J., Kozák M., Ceballos A., Hommelhoff P., Solgaard O., Byer R. L. and Harris, J. S., "Gallium oxide for high-power optical applications," Advanced Optical Materials 8; 1901522 (2020); <https://doi.org/10.1002/adom.201901522>.
- [3] Dereshgi S. A., Lee J., Ceneda D., Larciprete M. C., Centini M., Razeighi M. and Aydin, K., "MOCVD-grown Ga_2O_3 thin films for polarization-sensitive infrared optics," APL Mater. 1 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0177705>.
- [4] Negative photoresist mrt-DWL datasheet at: <https://www.microresist.de/en/produkt/mr-dwl-series/>.

Na vytvorenie požadovaných 2D štruktúr v negatívnom fotorezise bol systém GLL upgradovaný pre prácu s fotorezistom mrt-DWL. Lineárne mikro-krokové motory boli nahradené presnými piezo posuvmi s rozlíšením **50 nm** a vlastnou riadiacou jednotkou. Laserový modul DPSS 473 nm bol tiež nahradený modulom laserovej diódy **405 nm / 50 mW**, aby vyhovoval absorpčným vlastnostiam fotorezistu podľa katalógových hodnôt [4]. Poloha vzorky bola riadená riadiacou jednotkou a programom. Laserový lúč bol zaostrený 40x mikroskopickým objektívom na dosiahnutie vysokého rozlíšenia. Expozičný program pozostáva zo 6 mriežok s periódou **10 μm** na ploche $100 \times 100 \mu\text{m}^2$. Vedľa mriežok sú dve sady vlnovodov s dĺžkou 400 μm a šírkami **2,5, 7,5 a 10,5 μm** . Všetky štruktúry sú exponované vo vrstve fotorezistu s hrúbkou 500 nm.

Výsledky

Na Ga_2O_3 bola nanosená 500 nm hrubá negatívna vrstva fotorezistu. Navrhnuté štruktúry (mriežky a vlnovody) boli exponované vo vrstve fotorezistu pomocou GLL. Potom sa vzorky opláchlí v príslušnej vývojke mr-Dev 600 a premyli v izopropylalkohole. Výsledné mikroštruktúry boli skúmané optickým mikroskopom a konfokálnym laserovým skenovacím mikroskopom (CLSM).

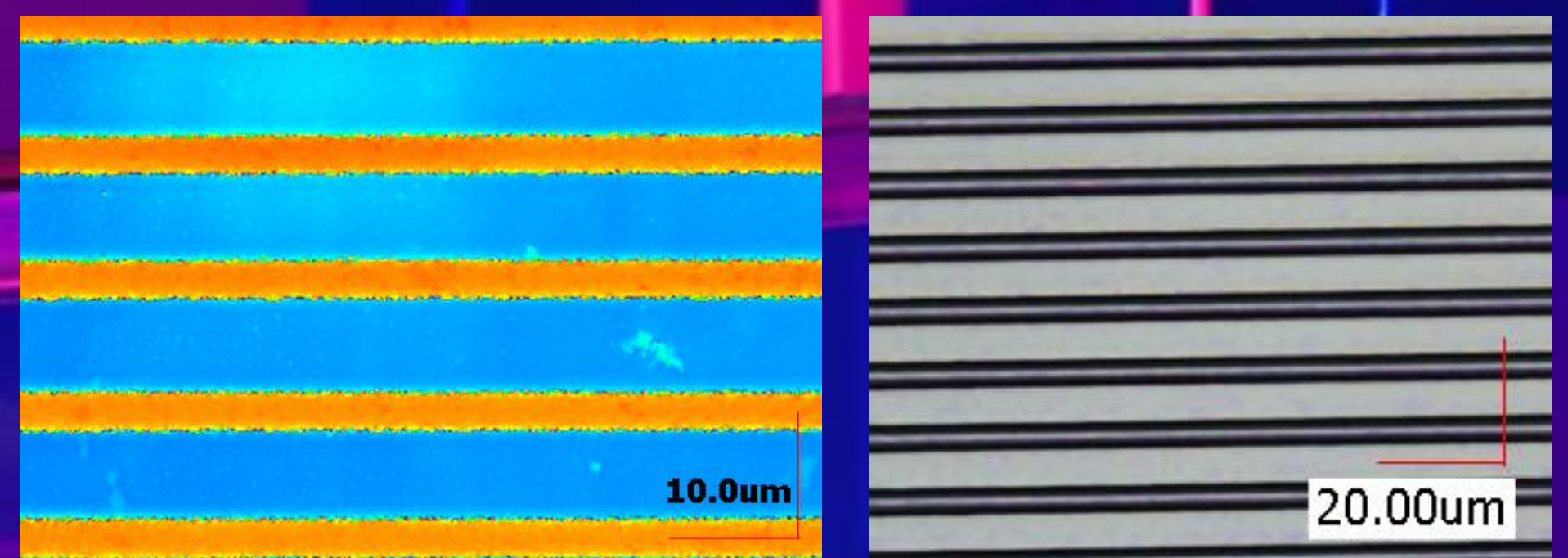


CLSM záznamy výškového profilu vlnovodov dlhých 400 μm hrubých 2.3 μm (vľavo) a 7.5 μm (vpravo).

Analýza vzoriek ukazuje dobrú uniformitu pripravených štruktúr. Rozmery súhlasia s dizajnom po celej vzorke. Vlnovody zachovávajú konštantnú šírku po celej dĺžke (400 μm). Nameraná výška je približne 500 nm, ako sa očakávalo. CLSM sken profilu mriežok naznačuje, že mriežkové štruktúry sú tiež dobre vyvolané. Výsledky demonštrujú systém GLL ako vysoko presný s rozlíšením atakujúcim 1 μm .



CLSM sken profilu mriežky s periódou 10 μm .



CLSM záznam výškového profilu (vľavo) a laserový sken (vpravo) mriežky s periódou 10 μm .

Záver práce

Prezentovaná práca ukazuje moje najnovšie výsledky smerujúce k novým fotonickým zariadeniam založených na Ga_2O_3 . Nedávne štúdie naznačujú, že Ga_2O_3 sa môže stať novým materiálom pre fotoniku a pre široko-spektrálne (NIR-UV) fotonické zariadenia. Schopnosti upravenej GLL zostavy sú demonštrované vysoko-kvalitnými mriežkami s periódou 10 μm a vlnovodmi s rôznou šírkou. Pripravené vzorky budú leptané pomocou RIE pre vytvorenie finálnych štruktúr do Ga_2O_3 vrstvy narastenej na zažiarovom substráte. Môj výskum vytvára novú platformu fotonických zariadení na báze Ga_2O_3 . V ďalších krokoch chcem na pripravených štruktúrach vykonať optickú analýzu a pripraviť ďalšie fotonické komponenty. Prezentovaný GLL systém ponúka široké možnosti použitia v nasledujúcom výskume.



ŽILINSKÁ UNIVERZITA
V ŽILINE

Študentská vedecko-odborná súťaž 2025

