

# Fotonické prvky na báze gálium oxidu pre on-chip aplikácie

Ing. Marek Zdurienčík

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

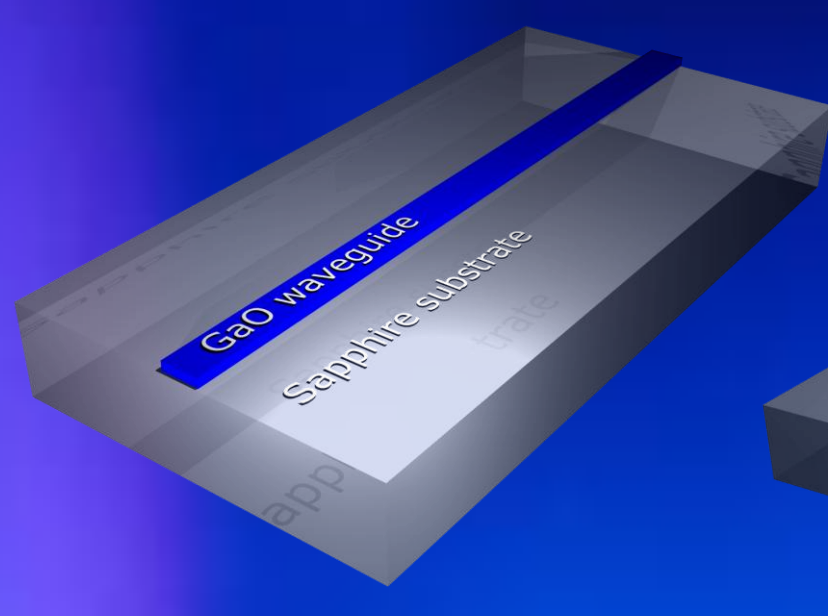
E-mail: zduriencik@fyzika.uniza.sk

## Úvod

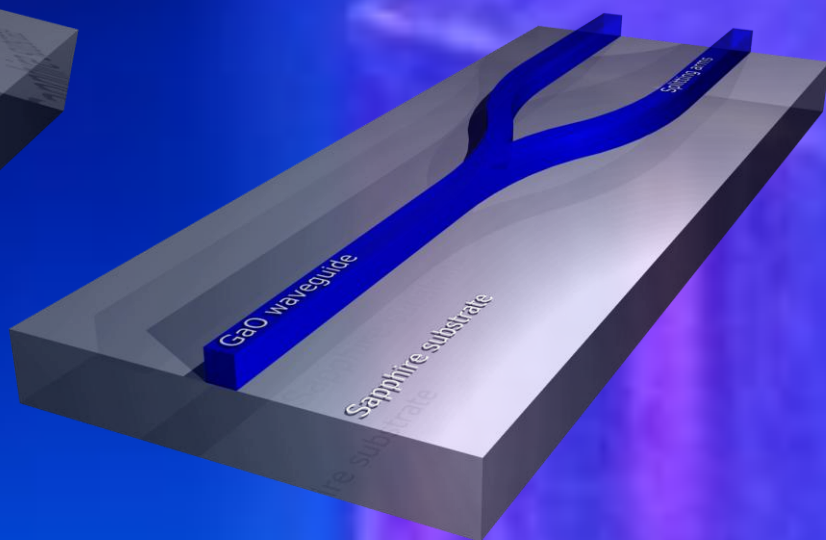
Gálium oxid je v súčasnosti široko skúmaný v elektrotechnike pre svoje unikátne vlastnosti. Šírka zakázaného pásu  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ( $\sim 4.8 \text{ eV}$ ) [1] je kľúčovým parametrom pre použitie vo výkonovej elektrotechnike. Napriek slabej tepelnej vodivosti a chýbajúcej p-dopácii, má  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  potenciál stať sa novou materiálovou platformou pre elektrotechniku. V oblasti fotoniky bol  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  skúmaný pre nízke nelineárne strany, dvojlom [2], širokopásmová transparentnosť (**UV-IR**), absorpcia v UV oblasti a index lomu ( $n \sim 2$ ) vhodný pre integrovanú fotoniku [3]. Prezentovaná práca ukazuje prvé pokusy o prípravu integrovaných prvkov na čipe spolu s detailným procesom prípravy a simuláciami optického poľa v pripravených prvkoch. Štruktúry boli pripravené do vrstiev  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , s hrúbkou 150 až 180 nm, narastených na zažírovom substráte. Prvky boli tvarované pomocou priameho vpisovania laserom (**DWL**) a pomocou laserovej interferenčnej litografie (**LIL**) do vrstiev pozitívneho aj negatívneho fotorezistu.  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  fotonické prvky boli následne vytvorené reaktívnym iónovým leptaním (**RIE**). Výsledné fotonické zariadenia na čipe boli analyzované pomocou skenovacie elektrónového mikroskopu (**SEM**), konfokálneho skenovacieho mikroskopu (**CLSM**) a mikroskopu atómových síl (**AFM**).

## Fotonické prvky na čipe

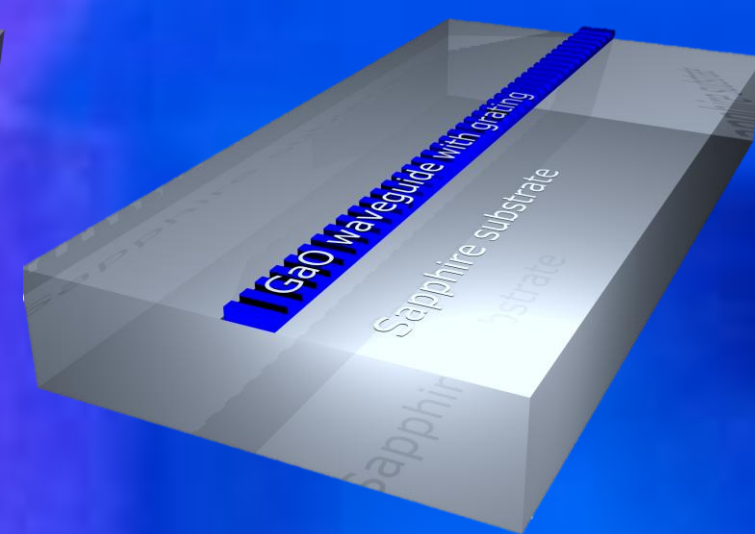
V prvých experimentoch sme pomocou DWL litografie vytvorili pásikové vlnovody ako základný prvok fotonických obvodov, ktorý plní úlohu prenosu signálu a prepojenia medzi časťami obvodu. Následne, úpravou exponovaných dráh sme dosiahli plynulú zmenu smeru vlnovodu a teda aj zmeny smeru šírenia žiarenia. Kombináciou upravených dráh boli pripravené prvé Y-deliče výkonu (tvz. Y-branch). Geometria prvku bola navrhnutá tak aby pri zmene smeru žiarenia boli straty na ohyboch vlnovodu čo najnižšie. Pomocou LIL boli pripravené  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  difrakčné mriežky ako základ pre výrobu naväzovacích prvkov a mriežok na čipe. Rovnaký postup bol potom aplikovaný na už vyrobené vlnovody pre dosiahnutie vôbec prvých  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  mriežok na vlnovode. Takéto prvky majú široké využitie v senzoroch, ako spektrálne filtre alebo ako naväzovacie prvky.



3D vizualizácia:  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  vlnovod

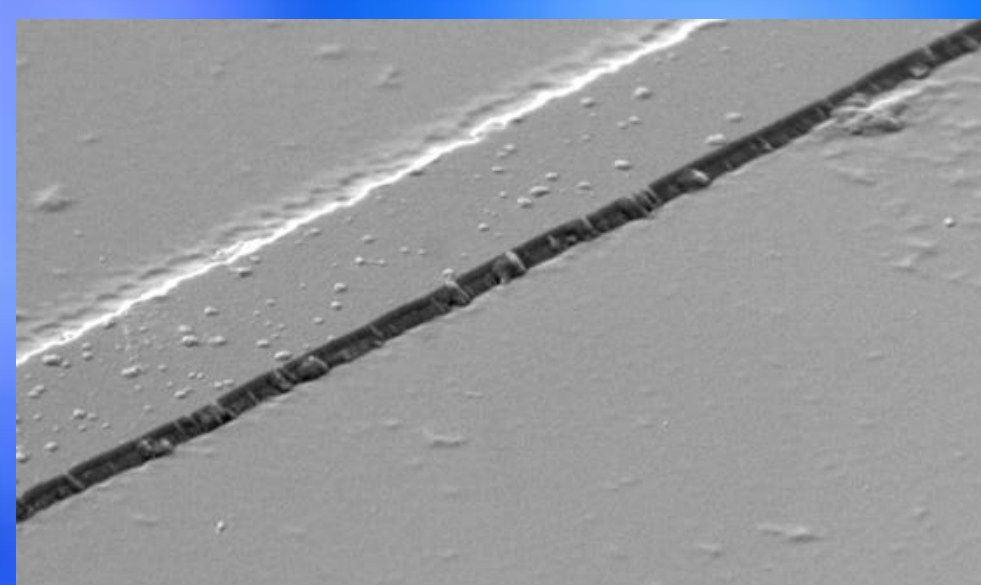


3D vizualizácia:  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  delič výkonu (Y-branch)



3D vizualizácia:  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  mriežka na vlnovode

## Súčasný výsledky projektu



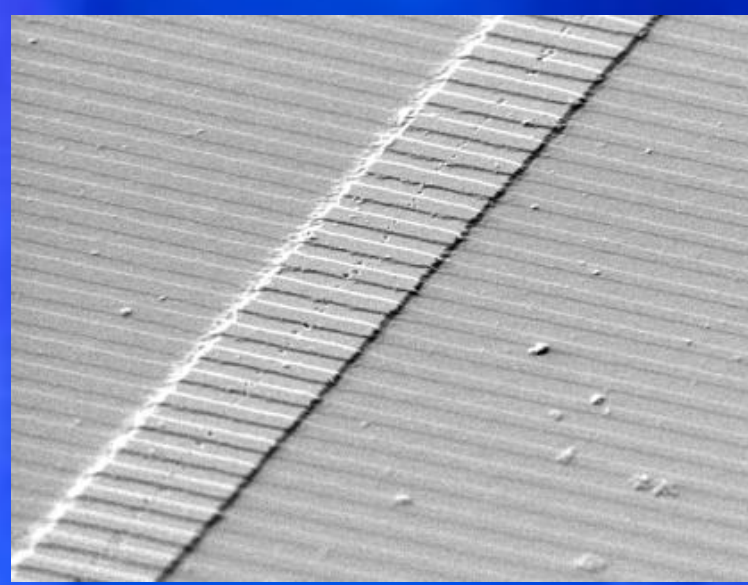
5.0 µm

SEM snímka  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  vlnovodu s hrúbkou 7.5 µm a výškou 150 nm



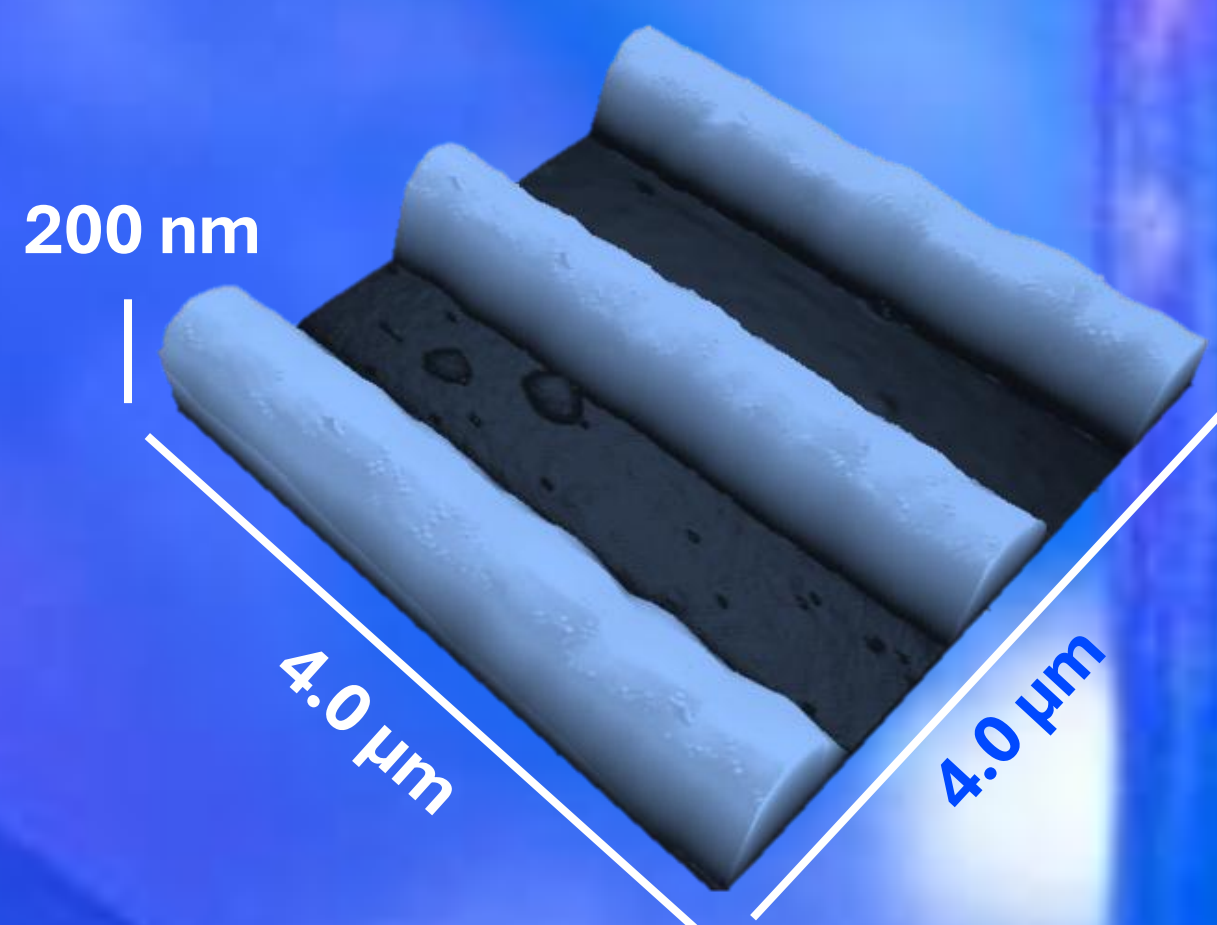
100.0 µm

CLSM snímka  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  deliča výkonu (Y-branch)

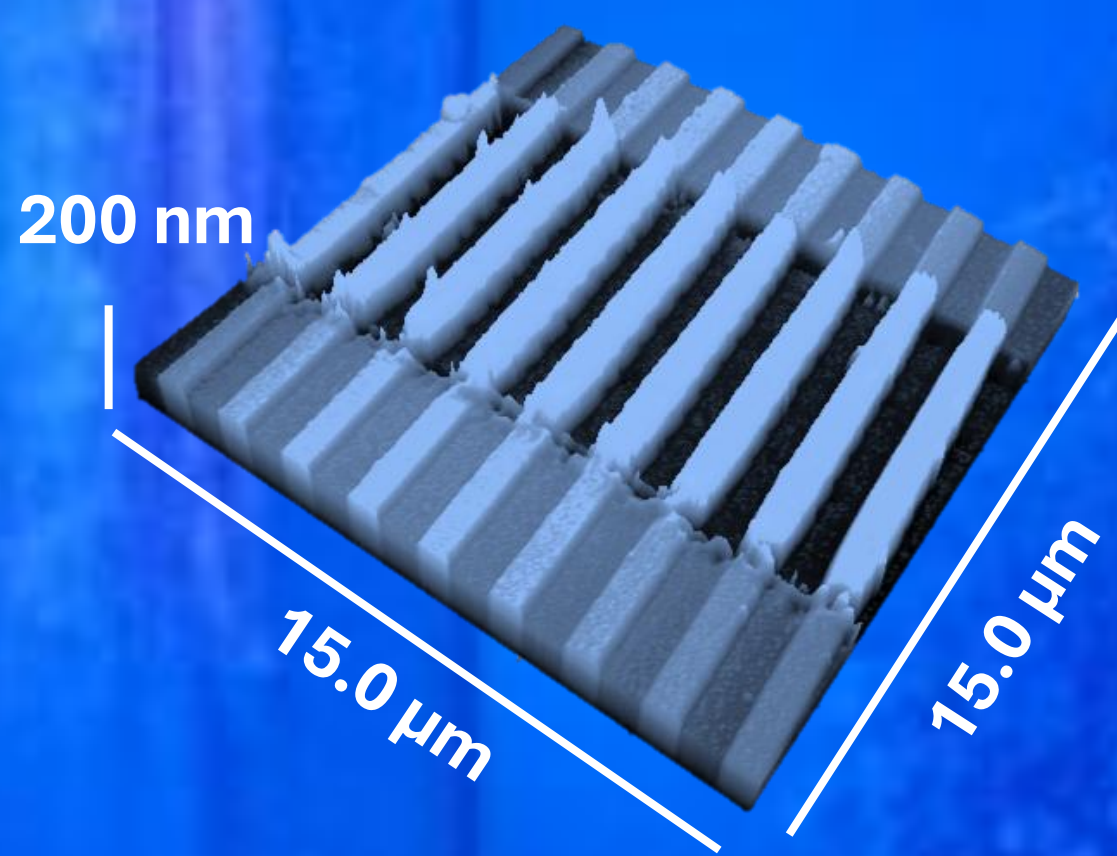


10.0 µm

SEM snímka  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  vlnovodu s mriežkou s hrúbkou 7.5 µm, výškou 150 nm a periódou 1.5 µm



AFM sken  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  vlnovodu s mriežkou s hrúbkou 7.5 µm, výškou 150 nm a periódou 1.5 µm

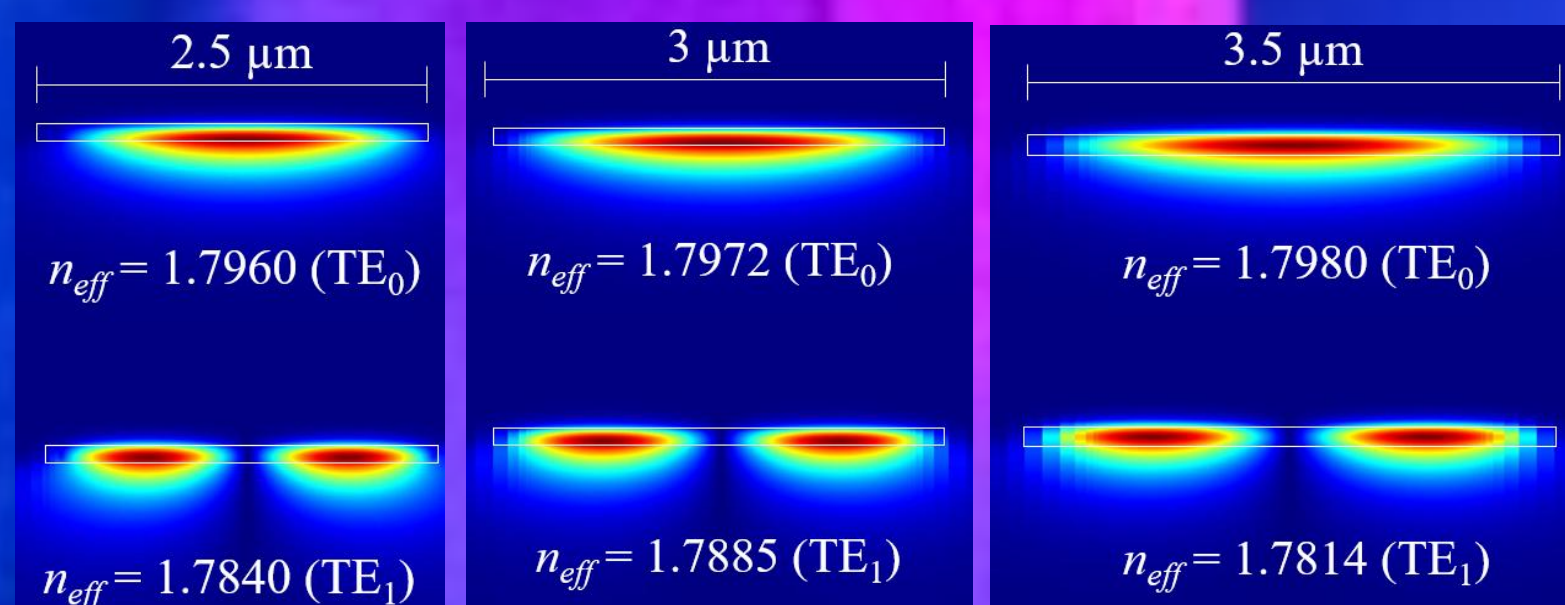


AFM sken  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  vlnovodu s mriežkou s hrúbkou 7.5 µm, výškou 150 nm a periódou 1.5 µm

## Simulácie

Simulácie vlnovodových štruktúr potvrdzujú dobré vlnovodové vlastnosti navrhnutých  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  prvkov. Parametre  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  boli skúmané v simulácii pracujúcej v časovej doméne s konečným rozdielom (**FDTD**), ktoré pripravil Ing. Daniel Benedikovič, PhD z katedry MIKT.

Štruktúry s výškou **od 150 do 200 nm** a šírkou **>1 µm** pracujú ako širokopásmové fotonické zariadenia vo **VIS** oblasti.  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  štruktúry sme navrhli s rozmermi zodpovedajúcimi výsledkom z nedávnych štúdií a ohľadom k technologickým limitom našich zariadení. Ako okolité prostredie uvažujeme vzduch a materiál substrátu je  **$\text{Al}_2\text{O}_3$**  ( $n \sim 1.85$ ). Výsledky ukazujú dobré šírenie základných aj vyšších módo v vlnovode  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  pre vybrané vlnové dĺžky **VIS (400 nm a 650 nm)** a **UV (300 nm)** spektra. Simulované boli módy **TE** a **TM 0-4**.



Vybrané simulácie optického poľa: módy  $TE_0$  a  $TE_1$ , šírené cez pásikové vlnovody  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  so šírkou 2,5 (vľavo), 3 (v strede) a 3,5 µm (vpravo) a výškou 200 nm pri excitačnej vlnovej dĺžke 650 nm.

## Záver práce

Prezentovaná práca ukazuje postup prípravy a výsledné štruktúry  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  fotonických prvkov. Práca poskytuje analýzu fotonických vlastností  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  pre aplikácie na čipe. Priložené simulácie dokazujú možnosť využitia  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  pre fotonické aplikácie na čipe. Analýza štruktúr pomocou CLSM, SEM a AFM ukazuje funkčnosť procesu výroby prvkov, prípadné drsnosti na stranách prvkov budú v budúcnosti odstránené vylepšeným procesom s použitím tzv. hard masky aby sa zabránilo rozptylovým stratám. Pripravené prvky čaká detailná optická analýza aby sa určili stratové mechanizmy v budúcich fotonických zariadeniach na čipe. Následne budú funkčné prvky kombinované do fotonických čipov pre integrované fotonické zariadenia. Fotonické čipy budú určené pre prácu v širokej UV-VIS oblasti. Prezentované štruktúry predstavujú významný posun v oblasti  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  fotoniky a vytvárajú silný základ pre novú materiálovú platformu elektrických a fotonických zariadení.

## 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  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  optical waveguides in UV-NIR spectra," Applied Physics Letter 115; 251108 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5133845>.
- [2] Dereshgi S. A., Lee J., Ceneda D., Larciprete M. C., Centini M., Razeghi M. and Aydin, K., "MOCVD-grown  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  thin films for polarization-sensitive infrared optics," APL Mater. 1 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0177705>.
- [3] 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>.



ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE

Študentská vedecká  
odborná súťaž

2026



I E E INSTITUTE  
OF ELECTRICAL  
S A S ENGINEERING SAS

