

## Posudek školitele disertační práce

Doktorand: **Ing. Jiří Beránek**

Název disertační práce: **Laser Crystallization of Semiconductors by Continuous and Pulsed Laser Irradiation**

Školitel: Prof. Ing. Zdeněk Bryknar, CSc., České vysoké učení v Praze,  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra inženýrství pevných  
látek

Školitel specialista: Prof. Dr. Sci. Nadezhda M. Bulgakova, Ph.D., Fyzikální ústav AV  
ČR, v.v.v.i., Sekce optiky, Oddělení vědeckých aplikací laserů.

Ing. Jiří Beránek zahájil doktorské studium programu Aplikace přírodních věd, oboru Fyzikální inženýrství, zaměření Inženýrství pevných látek na Katedře inženýrství pevných látek FJFI ČVUT v Praze dne 1. března 2018. Úspěšně absolvoval studijní blok, který uzavřel Rozpravou o disertační práci (Studie na téma „Modifikace vlastností pevných látek pomocí krátkých laserových pulzů“) a dne 26.6.2020 složil úspěšně Státní doktorskou zkoušku.

J. Beránek se ve své výzkumné práci zabýval interakcí laserového světla s polovodiči v režimech modifikace materiálů. Pro oddělení vědeckých laserových aplikací v HiLASE Centru Ústavu fyziky AV ČR byly tyto studie nezbytné pro pochopení procesů absorpce světla v polovodičích v různých režimech laserového záření laserů kontinuálních (CW) až po pulzní lasery s různou délkou pulzu od nanosekundových po piko- a femtosekundové pulzy. Cílem práce bylo vyvinout prediktivní modely pro parametry důležité v experimentech s interakcí laseru s polovodiči, jako je prahová hodnota poškození/tavení pro konkrétní délky pulzů a vlnové délky, jakož i maximální teploty dosažené při laserovém ozáření. Tyto informace jsou nezbytné pro krystalizaci nanosených materiálů nebo rekrystalizaci polovodičů během laserového zpracování. Doktorand se také podílel na experimentech zaměřených na osvojení technik laserového zpracování a diagnostiky.

Během práce na disertaci vyvinul J. Beránek účinný program pro numerické výpočty. Program představuje jednotnou bázi pro numerické modelování a byl aplikován při popisu dvou situací. Jeho první aplikace popisuje ohřev tenkého proužku amorfního křemíku na skleněném substrátu pomocí CW Ar<sup>+</sup> laseru. Pro numerickou realizaci kódu v dvourozměrné geometrii byl vyvinut algoritmus založený na rozdělení rovnic podle souřadnic. Simulace ukázaly, že vyvinutý kód efektivně využívá čas zpracování a paměťové zdroje a že s vysokou přesností aproximuje rovnici tepelné vodivosti doplněnou o popis procesu tavení. Výsledky simulací předpověděly celkovou dobu potřebnou k úplnému roztavení křemíkových proužků na skleněných substrátech, což je důležité pro výrobu křemíkových vlnovodů. Bylo také prokázáno, že za optimálních podmínek tavení je hloubka změkčení substrátu z taveného křemene, kde teplota dosahuje bodu žhání, zanedbatelně malá. Tato informace znamená, že sklo pod vlnovody není znatelně deformováno, což je klíčový požadavek pro přípravu křemíkových vlnovodů.

Druhou aplikaci kódu vyvinutého Jiřím Beránkem představuje numerické modelování pulzního laserového ozáření, ohřevu a tavení několika polovodičových materiálů důležitých pro průmyslové aplikace (Si, Ge, GaAs, CdTe a InP). Jednotný numerický model byl použit k určení prahových hodnot tání těchto materiálů ozářených nanosekundovými laserovými pulzy o různých vlnových délkách a s různou délkou pulzu a k výzkumu počátečních fází tavení krystalických polovodičů. K výpočtu plynulého přechodu přes bod tání byl použit přístup založený na roztavené frakci. Výsledky byly porovnány s dříve publikovanými teoretickými a experimentálními údaji. Ukázaly, že vyvinutý model je účinný (použitelný) a přesný pro simulace různých typů polovodičů, jak jednoelementových, tak složených. Termofyzikální a optické vlastnosti simulovaných materiálů byly systematicky analyzovány na základě simulací a nejrelevantnější údaje o teplotně závislých vlastnostech pevného a kapalného stavu těchto polovodičů byly tabulkově zpracovány a publikovány v časopise „Applied Sciences“. Tento článek vzbudil velkou pozornost ve vědecké komunitě.

Získané výsledky mají významný vědecký a praktický význam. Přispívají k pochopení procesů interakce laserového světla s polovodičovými materiály v širokém rozsahu ozařovacích podmínek, od ultrakrátkých laserových pulzů po ozařování kontinuální vlnou. Spolehlivost výsledků je dobře odůvodněna srovnáním s výsledky modelování známými z literatury a experimentálními údaji.

Výsledky Jiřího Beránka byly prezentovány na několika mezinárodních konferencích, jako jsou Venice International School on Lasers in Material Science 2018, Advanced Laser Technologies 2018, Advanced Laser Technologies 2019, Conference on Applications of Femtosecond Lasers in Materials Science 2019, International Conference on Micro- and Nano-Electronics 2021, 4th International Conference on Optics, Photonics and Lasers (OPAL 2021), International Conference on Laser Ablation, (COLA 2021/2022) a Conference on Lasers and Electro Optics CLEO 2023. Na téma doktorské práce bylo publikováno pět článků v odborných časopisech, tři články ve sbornících z konferencí; jeden článek je v současné době v přípravě. Mimo rámec DP byl prezentován v impaktovaném časopise jeden článek.

Během práce na disertační práci se Jiří Beránek projevil jako nezávislý, vysoce kvalifikovaný výzkumník s kreativním přístupem k řešení složitých teoretických a experimentálních problémů. Rád bych také zdůraznil jeho schopnost pracovat jak samostatně, tak v týmu, poskytovat podporu a sdílet odborné znalosti v rámci týmu. Výše uvedené recenzované a impaktované výstupy doktoranda prokazují jednoznačně jeho schopnost kvalitní, kvalifikované a samostatné tvůrčí práce v oboru Fyzikální inženýrství.

Vzhledem k tomu, že jsou též splněny všechny podmínky požadované studijním řádem, doporučuji disertační práci, kterou předkládá Ing. Jiří Beránek, **přijmout k obhajobě**.

V Praze dne 25.8.2025

prof. Ing. Zdeněk Bryknar, CSc.