

# Pokroky v oblasti optických vláken

Progress in optical fibers

**Ivan Kašík, Ondřej Podrazký, Jan Mrázek, Michal Kamrádek, Ivo Bartoň,  
Jan Aubrecht, Vlastimil Matějec, Miloš Hayer, Jana Proboštová, Filip Todorov,  
Pavel Peterka, Pavel Honzátko**

Ústav fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Chaberská 57, 182 51 Praha 8 – Kobylisy, kasik@ufe.cz

*Článek se zabývá současnými trendy v oblasti optických vláken pro vláknové senzory, zesilovače a lasery, zejména z pohledu jejich technologie. Shrnuje výsledky materiálového výzkumu dosažené v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR.*

*Paper deals with current trends in the field of optical fibers for fiber sensors, fiber amplifiers and lasers, namely from the point of view of technology of their fabrication. Results of material research achieved in the Institute of Photonics and Electronics of Academy of Sciences are presented.*

## Úvod

Rok 2022 byl vyhlášen Organizací spojených národů Mezinárodním rokem skla, což vypovídá o globálním významu tohoto materiálu v nejširším slova smyslu. Optická vlákna z křemenného skla jsou jednou z velmi specifických oblastí sklářských produktů. Lze je charakterizovat složitou technologií přípravy, vysokou přidanou hodnotou, šetrností vůči životnímu prostředí a širokou paletou využití. Složitost technologie vyplývá z teplot zpracování zhruba 1 800 – 2 100 °C, používané materiály na bázi SiO<sub>2</sub> se běžně vyskytují v zemské kůře nebo je lze recyklovat, optická vlákna mají široké využití od telekomunikací přes vláknově-optické senzory až po vláknové zesilovače a lasery. Spojení vynálezů optických vláken a laseru vedlo k širokému rozmachu Internetu a všechny tyto úspěchy vědy a techniky lze zařadit mezi klíčové pokroky 20. století.

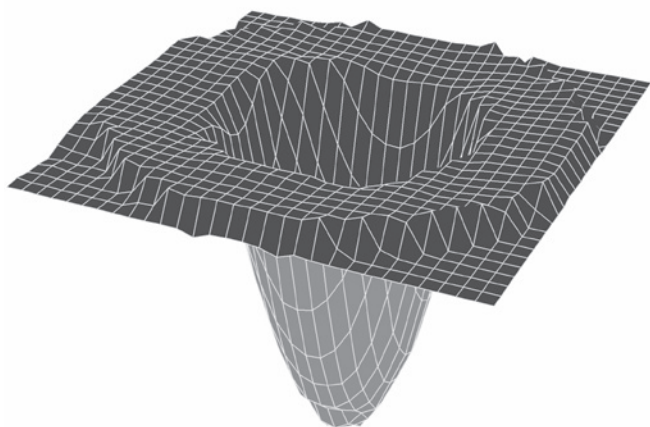
Za výchozí bod v oblasti optických vláken lze považovat průkopnický výzkum v laboratořích Standard Telecommunications Laboratory u Londýna (Tony Karbowiak, Charles Kuen Kao a spol.) a v Compagnie générale de télégraphie Sans Fil, nyní součást firmy Thales,

u Paříže (Jean-Claude Simon, Erich Spitz a spol.) v polovině šedesátých let 20. století<sup>[1]</sup>. Za přínos k výzkumu optických vláken byla udělena v roce 2009 polovina Nobelovy ceny<sup>[2]</sup>. Erich Spitz, který pochází z Brna, referoval o svém příspěvku k tomuto tehdejšímu výzkumu např. na sympoziu SPIE Optics + Optoelectronics v roce 2019.

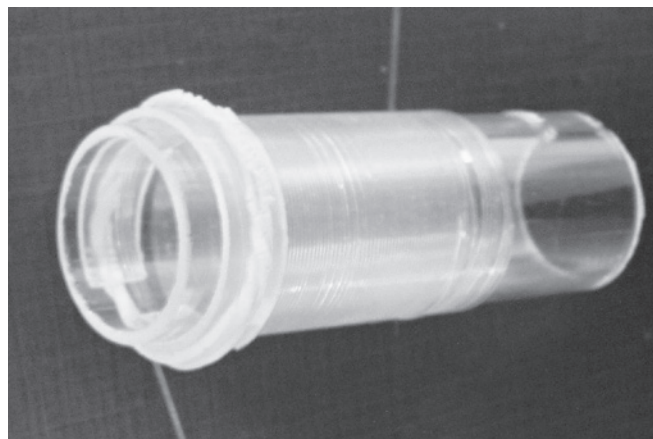
V roce 1970 Robert Maurer připravil ve firmě Corning pro Kaa první dostatečně čisté křemenné vlákno, schopné přenosu světla na jeden kilometr a tedy vhodné pro praktické použití v optických komunikacích. O čtyři roky později John McChesney představil metodu depozice z plynné fáze tzv. „Modified Chemical Vapor Deposition“ (MCVD), kterou bylo možné připravit optická vlákna o útlumu zhruba 0,2 dB/km, tedy schopná přenést asi 95 % světelného záření na vzdálenost jednoho kilometru<sup>[3]</sup>. Pro praktickou představu je to asi tolik, kolik projde tabulí okenního skla o tloušťce 3 mm.

McChesney svými výsledky, které uvedl na Kongresu ICG v Praze v roce 1977, inspiroval Jiřího Götze a Miloše Hayera – hlavní protagonisty optických vláken v tehdejší Československu.

Těm nedalo mnoho práce přesvědčit legendu českého sklářství a tehdejšího prezidenta ICG Prof. Jaroslava Staňka o užitečnosti vznikajícího oboru. Prof. Staněk silou své osobnosti prosadil v roce 1979 založení pracoviště s danou tematikou při Společné laboratoři silikátů Akademie věd a VŠCHT Praha. V roce 1981, po získání speciální pece pro tažení vláken, bylo připraveno první křemenné vlákno typu „Polymer-Clad-Silica“ s optickými ztrátami srovnatelnými s první generací vláken R. Maurera. Výchozím bodem výzkumu v naší zemi tedy bylo pouze jednáctileté zpoždění za světovou špičkou. Dosažená vysoká optická propustnost na velké vzdálenosti u křemenných vláken byla určující pro jejich nasazení v telekomunikacích, zatímco vývoj vláken tažených z měkkých optických skel, vedený ve Státním výzkumném ústavu sklářském, vedl k aplikacím na krátké vzdálenosti např. v zobrazovacích svazcích<sup>[4]</sup>. První přenos pomocí vláken vyrobeného ve Společné laboratoři silikátů byl veřejnosti předveden na Karlově mostě v roce 1984. V roce 1987 byla předána do výroby ve Výzkumném ústavu Sklo Unionu Teplice



Obr. 1 – Tomografický profil indexu lomu vlákna s invertovaným gradientním průběhem



Obr. 2 – Optické vlákno typu „Polymer-Clad-Silica“ s tenkým speciálním povlakem navinuté do cívky pro detekci uhlovodíků ve vodě

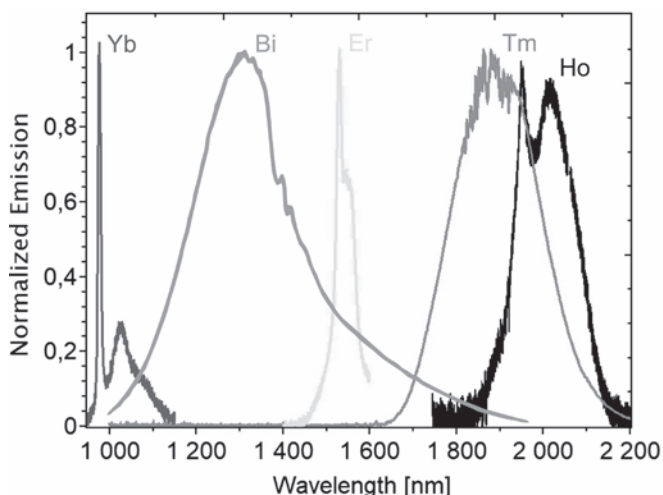
technologie nové generace optických vláken gradientního typu s minimálním optickým útlumem pod 2 dB/km a následně technologie jednovídných optických vláken s minimálním útlumem asi 0,2 dB/km. To bylo v té době srovnatelné se špičkovou světovou produkcí. Tato technologie byla po změnách v listopadu 1989 posléze postoupena do firmy Hesfibel v Turecku, kde je dodnes provozována. Úspěchy, kterých pracoviště dosáhlo, byly shrnuty ve speciálním čísle časopisu Sklář a keramik<sup>[5]</sup> vydaném u příležitosti desátého výročí založení pracoviště.

## Pokroky křemenných optických vláken v oblasti vláknových sensorů

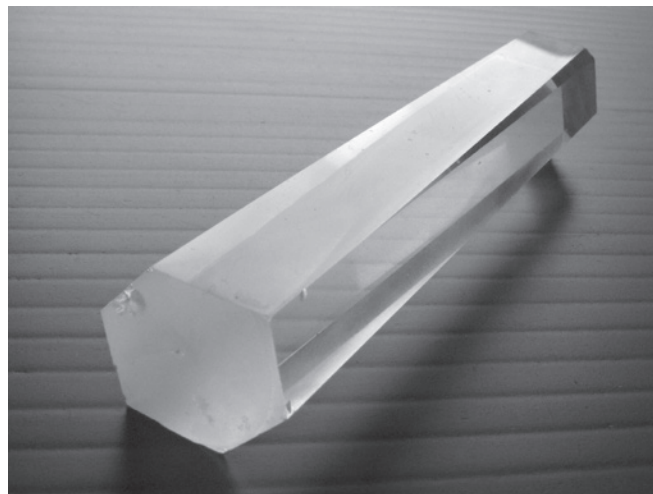
Pokroky ve výzkumu křemenných optických vláken pokračovaly začátkem 90. let v Ústavu radiotechniky a elektroniky AV, pod jehož křídla pracoviště přesídlilo. Spočívaly v přechodu od pasivních aplikací optických vláken, tedy od jejich použití pro přenos infor-

mací, směrem k aktivním aplikacím, kdy vlákna sama o sobě jsou zdrojem informací. První takovou oblastí byly optické vláknové sensory. V rámci jejich výzkumu byly hledány a studovány nové materiály a struktury, které by vykazovaly specifickou citlivost vůči fyzikálním nebo chemickým veličinám, a vlákna by tak mohla být využívána pro optické sensory. Předností takových zařízení je schopnost mnohobodové nebo distribuované detekce, možnost umístění do obtížně přístupných míst včetně lidského těla, imunita vůči vnějšímu elektromagnetickému poli, vysoká mechanická, chemická a tepelná odolnost. Fyzikální veličiny jako např. teplota jsou v takových případech sledovány prostřednictvím změn charakteristik spektrální propustnosti nebo fluorescenčních charakteristik vláken<sup>[6]</sup>. Pro chemickou detekci lze využívat změn indexu lomu detekovaných látek nebo více specifických opto-chemických převodníků<sup>[7]</sup> imobilizovaných na povrch vláken jako plášť. Pro dosažení specifické citlivosti optických vláken byly navrhovány různé

struktury a vypracovávány technologie jejich výroby, např. s invertovaným profilem indexu lomu (Obr. 1)<sup>[8]</sup>, se zvýšeným obsahem oxidu germaničitého v jádře pro snadnější zápis mřížek<sup>[9]</sup>, vlákna byla pokrývána tenkými polysiloxanovými povlaky nebo byla ztenčována do špiček tzv. taperů. Vlákna s tenkými povlaky byla nakonec využita pro refraktometrický sensor uhlovodíků ve vodě (Obr. 2) schopný detekovat během několika sekund jednotky ppm (desetitisíciný procenta) ropných produktů,<sup>[10-11]</sup> To jsou koncentrace povolené v rámci českých hygienických norem i standardů Evropské unie. Proto se také tyto sensory používaly a používají v systémech včasného varování při nebezpečí úniku ropných látek do volné přírody. Transferu vědeckých výsledků dosažených v ústavu do praxe se chopila nejdříve ČKD a následně firma Deno, která instalovala a spravovala několik desítek takových zařízení např. pro Českou správu letišť, Shell, RWE, Škodu. Druhým úspěšným příkladem vyvinutého vláknového senzoru je optický mikro-pH-metr<sup>[12]</sup>. Zašpičatěním (tape-



Obr.3 – Emisní spektra dopovaných optických vláken vhodných pro vláknové lasery



Obr.4 – Preforma pro tažení hexagonálního thuliem dopovaného optického vlákna čerpaného přes plášť

rováním) konce vlákna na úroveň několika mikrometrů a imobilizací vhodného pH-převodníku na vytvořenou špičku lze analyzovat in vivo vzorky o minimálním objemu pouhých několika mikrolitrů v reálném čase. To se může hodit nejen pro vědecké úlohy, např. studium toku kapalin v hospodářských plodinách<sup>[13-14]</sup>, ale třeba také v praktické oftalmologii a podobně<sup>[15]</sup>. Přístroj byl vyvinut ve spolupráci s firmou Safibra, která se zabývá jeho uvedením na trh.

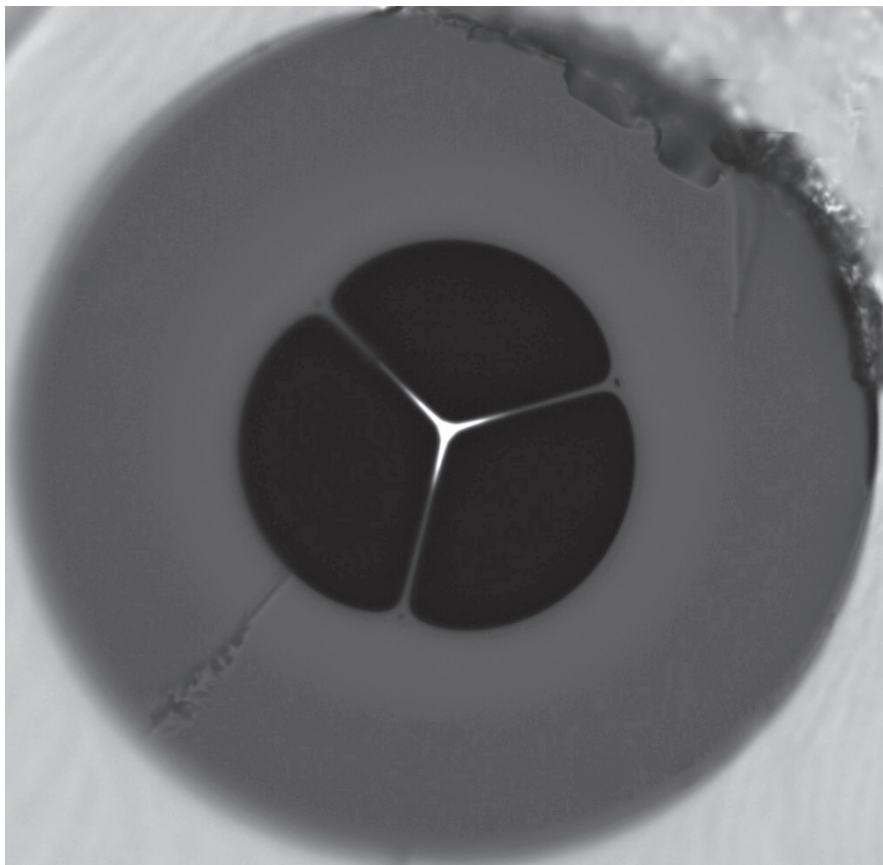
Uvedené příklady jsou samozřejmě jen malou a velmi úzkou ukázkou z celosvětově rozvíjené oblasti, ale lze na nich dobře dokumentovat obecné trendy výzkumu v oblasti speciálních optických vláken v nedávné minulosti.

## Pokroky křemenných optických vláken v oblasti vláknových zesilovačů a laserů

Druhou významnou oblastí, kde optická vlákna mají aktivní funkci, jsou vláknové zesilovače a vláknové lasery. Vláknové zesilovače byly zkoumány nejprve s ohledem na optické zesilování v telekomunikacích, tedy ve spektrální oblasti okolo 1550 nm. K tomuto světovému trendu přispělo pracoviště svojí prvotní prací založenou na erbiem dopovaných optických vláknech vlastní produkce<sup>[16]</sup>. Zkušenosti byly pak zúročeny při vypracovávání technologie přípravy thuliem dopovaných vláken, nejprve za účelem dosažení optického zesílení v telekomunikačním pásmu S v oblasti okolo 1470 nm<sup>[17]</sup> a později pro vláknové zesilovače a lasery pracující ve spektrální oblasti kolem 2 000 nm.

Od vláknových zesilovačů je už jen malý krok k vláknovým laserům, které v současné době procházejí obdobím bouřlivého rozvoje. Speciální dopovaná křemenná vlákna jsou srdcem těchto zařízení. Aktuálně probíhá jejich intenzivní výzkum zaměřený na rozšíření spektra dostupných vlnových délek, zvýšení účinnosti a výkonu. Na **Obr. 3** jsou patrné pracovní vlnové délky vláknových laserů vyvíjených v současné době v Ústavu fotoniky a elektroniky AV, což je současný název pracoviště.

Potřeba poměrně širokého materiálového výzkumu takových speciálních vláken vyplývá z faktu, že prvky vzác-



Obr. 5 – Křemenné optické vlákno typu „steering wheel“ se třemi dutinami obklopujícími optické jádro

ných zemin v matici křemenného skla způsobují odmísení již v koncentraci okolo 200 ppm<sup>[18]</sup>. Při tak nízkých koncentracích nelze dosáhnout požadovaných vyšších optických výkonů finálních vláknových laserů. Pro potlačení efektů fázové separace při vyšších koncentracích vzácných zemin (klastrování, rozptyl) bylo nutné najít další sklotvorné nebo intermediární oxidy, kterými by vlákna byla dopována současně s ionty prvků vzácných zemin a které by přispěly k vyšší rozpustnosti iontů vzácných zemin v křemenném skle. Zároveň takové ko-dopanty nesmí zkracovat fluorescenční dobu života těchto iontů. Pro ytterbiové vláknové lasery se ukázal jako ideální ko-dopant oxid fosforečný  $P_2O_5$  přítomný ve skle v rozmezí cca 5–10 mol%, který má zároveň příznivý vliv na index lomu optického jádra vláken. Vlákná dopovaná  $P_2O_5$  se však ukázala jako zcela nevhodná při dopování ionty thulia nebo holmia, kterým významně zkracuje fluorescenční dobu života. Proto jsou thuliová vlákna dopovaná v jádře dále oxidem hlinitým  $Al_2O_3$ , který nejenže zabraňuje fázové separaci, ale také příznivě zvyšuje index lomu skloviny a prodlužuje fluorescenční dobu života thuliových iontů. K dosažení všech těchto materiálů bylo zapotřebí

soustavně vyvíjet technologické postupy i teoretické modelování<sup>[19]</sup>.

Rozvoj technologických postupů pro přípravu dopovaných vláken byl nutný proto, že výchozí látky velmi často existují pouze v pevném stavu, takže skla nelze připravovat běžnými postupy metod chemické depozice CVD. Jednou z námi originálně vyvinutých metod byl technologický postup dopování preforem (vláken) pomocí nanočástic<sup>[20-23]</sup>. Umožňuje dosažení vyšších koncentrací  $Al_2O_3$  (cca 10 mol%) a tedy i iontů vzácných zemin v jádře vlákna, což vede k prodloužení jejich fluorescenční doby života, celkově pozitivně ovlivňuje vlastnosti thuliových a holmiových vláknových laserů a usnadňuje celý postup přípravy vláken. Z thuliem dopovaných vláken byl sestaven např. monolitický thuliový laser pracující na vlnové délce 1951 nm<sup>[24]</sup>. Thuliový vláknový laser byl dále využíván jako čerpací zdroj studovaných holmiových vláknových laserů. Ty se ukázaly jako vhodný nástroj pro řadu medicínských aplikací od fototerapie po kosmetiku a chirurgii<sup>[23, 25-26]</sup>. Vlákná dopovaná současně thuliem a holmiem byla využita pro vývoj výkonných širokospektrálních ASE (Amplified Spontaneous Emission) zdrojů s plochou emisí od 1550 nm až po 2050 nm<sup>[27-28]</sup>.

K podstatnému zvýšení výkonu vláknových laserů došlo po roce 2000 v souvislosti s vynálezem kruhově nesymetrických vláknových struktur (**Obr. 4**) umožňujících čerpání přes optický plášť. Do té doby vláknové lasery dosahovaly výkonů v desítkách a později stovkách Wattů, v současné době jsou komerčně dostupné vláknové lasery s výkonem až 100 kW.

Pro přípravu takových kruhově nesymetrických vláknových struktur bylo opět třeba na pracovišti vyvinout řadu vlastních speciálních technologických postupů jako je přesné broušení preforem, opracovávání preforem svazkem CO<sub>2</sub> laseru [29], vrtání preforem, skládání a postupné tažení preforem (tzv. „stack and draw“) a další. Postupy „stack and draw“ se obvykle připravují různé duté vláknové struktury, jak je vidět např. na **Obr. 5** [30], ale také lze provádět nanostrukturování optických vláken [31], které vede k jejich specifickým vlastnostem.

## Závěr

Od svého zrodu v šedesátých letech a intenzivního rozvoje v osmdesátých

letech minulého století prochází oblast optických vláken soustavnými rozvojem. Přestože se občas vyskytují názory, že se oblast vědecky vyčerpala, s periodou zhruba 10 let vždy přicházejí nové a nové nápady, které jsou intenzivně celosvětově rozvíjeny, posouvají lidské poznání a přinášejí následně zcela nové inovace. Vláknové sensory, vláknové zesilovače a vláknové lasery jsou toho příkladem. S jejich aplikacemi se setkává denně každý, kdo používá alespoň minimálně telefon, mobil, platební kartu apod. Výsledky výzkumu na poli optických vláken byly prvotně prezentovány na platformě ICG Annual meetings a kongresů, kde původně představovaly jen malý příspěvek zastupující oblast materiálového výzkumu speciálních skel. Ústav fotoniky a elektroniky AV se podílí na pořádání pravidelných konferencí o speciálních optických vláken v rámci symposií SPIE Optics+Optoelectronics a SPIE Photonics Europe [32]. Dnes tvoří oblast optických skelných materiálů a optických vláken velmi podstatnou část těchto akcí a s potěšením lze konstatovat, že Česká republika má na těchto akcích nepřehlédnutelné zastoupení. Pro členy výzkumného

týmu z Ústavu fotoniky a elektroniky je potěšením se podílet na tomto celosvětovém trendu. Svůj výzkum dnes mohou realizovat díky prozíravosti a úsilí starších generací, které dokázaly tento mimořádně náročný výzkum zahájit a udržet tak krok s předními technologicky vyspělými státy.

## Poděkování

Autoři by rádi poděkovali Akademii věd a grantovým agenturám GAČR a TAČR za dosavadní finanční podporu výzkumu optických vláken. Dále by rádi poděkovali za dlouholetou spolupráci svým akademickým partnerům z Fyzikálního ústavu AV, Ústavu přístrojové techniky AV, Ústavu chemických procesů AV, Ústavu experimentální botaniky AV, Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT, Elektrotechnické fakulty ČVUT, Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT, Vysoké školy chemicko-technologické a komerčním partnerům Safibra, SQS vláknová optika, Optokon, Optovit, Matex PM.

## LITERATURA

- 1] Hecht J.: City of light: the story of fiber optics. Oxford University Press, New York (1999).
- 2] Peterka P., Matějec V.: Optická vlákna se dočkala Nobelovy ceny za fyziku, Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 55(1) (2010) s. 1–11.
- 3] McChesney J.B., O'Connor P.B., DiMarcello F.V., Simpson J.R., Lazay P.D.: Preparational low loss optical fibers using simultaneous vapor phase deposition and fusion, Proc. 10<sup>th</sup> ICG (1974) 6–40 – 6–44.
- 4] Haladej L.: Multicomponent glasses for waveguides of high numerical aperture, Project report SVUS (1990).
- 5] Sklář a keramik, 39, speciální číslo 3 (1989)
- 6] Boisdé G., Harmer A.: Chemical and biochemical sensing with optical fibers and waveguides, Artech House, Boston, 1996, ISBN 0-89006-737-6.
- 7] Kašík I., Matějec V., Chomát M., Hayer M., Berková D.: Optical fibres for optical sensing, Optical Chemical Sensors (Nato Science Series, Series II: Mathematics, Physics and Chemistry, 224), Kluwer (2006) s. 59–76.
- 8] Kašík I., Matějec V., Chomát M., Hayer M., Mrázek J., Skokánková J.: Silica-based optical fibres with refractive index profiles tailored in a region of 1.46–1.62 for fibre-optic chemical detection, Sensors and Actuators B-chemical 107 (2005) s. 93–97.
- 9] Chomát M., Berková D., Matějec V., Kašík I., Kaňka J., Slavík R., Jančárek A., Bitner P.: Responses of a long-period grating fabricated in a graded-index optical fiber to temperature and refractive-index changes, Materials Science & Engineering C-biomimetic and Supramolecular Systems 26 (2006) s. 457–461.
- 10] Matějec V., Chomát M., Berková D., Mrázek J., Ardeleanu R., Harabagiu V., Pinteala M., Simionescu B.C.: Detection of toluene dissolved in water by using PCS fibers excited by an inclined collimated beam, Sensors and Actuators B-chemical 90 (2003) s. 204–210.
- 11] Skokánková J., Mrázek J., Matějec V., Hayer M., Kašík I., Chomát M., Berková D., Barau A., Zaharescu M., Raileanu M.: Properties of xerogel layers for the detection of toluene in water, Materials Science & Engineering C-biomimetic and Supramolecular Systems 26 (2006) s. 208–213.
- 12] <https://www.ufe.cz/cs/opticky-ph-metr>
- 13] Kašík I., Mrázek J., Martan T., Pospíšilová M., Podrazký O., Matějec V., Hoyerová K., Kamínek M.: Fiber-optic pH detection in small volumes of biosamples, Analytical and Bioanalytical Chemistry 398 (2010) s.1883–1889.
- 14] Kašík I., Podrazký O., Mrázek J., Martan T., Matějec V., Hoyerová K., Kamínek M.: In vivo optical detection of pH in microscopic tissue samples of Arabidopsis thaliana, Materials Science & Engineering C 33 (2013) s. 4809–4815.
- 15] Podrazký O., Mrázek J., Proboštová J., Kašík I., Pitrová Š., Pavlíčková K.: Sledování pH komorové tekutiny při operaci šedého zákalu (katarakty) pomocí vláknově optického senzoru, Jemná mechanika a optika 62 (2017) s. 294–296.
- 16] Lin J.T., Kaňka J., Dong L., McStay D., Rogers A.J.: A simultaneously Q-switched and mode-locked fibre laser, Tech. Digest of the European Quantum Electronics Conference, 27–30.8.1991, Edinburgh.
- 17] Peterka P., Faure B., Blanc W., Karasek M., Dussardier B.: Theoretical modelling of S-band thulium-doped silica fibre amplifiers, Opt. Quant. Electron. 36 (2004) s. 201–212 <https://doi.org/10.1023/B:ooel.0000015640>

- 18] Mazurin O.V., Strelcina M.V., Schvaiko-Schvaikovskaia T.P.: Properties of glasses, Nauka (1980).
- 19] Peterka P., Kašík I., Dhar A., Dussardier B., Blanc W., Theoretical modeling of fiber laser at 810 nm based on thulium-doped silica fibers with enhanced 3H4 level lifetime, Optics Express 19 (2011) s. 2773–2781.
- 20] Podrazký O., Kašík I., Pospíšilová M., Matějec V.: Use of alumina nanoparticles for preparation of erbium-doped fibers, 2007 IEEE Leos Annual Meeting Conference Proceedings 1–2 (2007) s. 246–247.
- 21] Podrazký O., Kašík I., Pospíšilová M., Matějec V.: Use of nanoparticles for preparation of rare-earth doped silica fibers, Physica Status Solidi C – Current Topics In Solid State Physics 6 (2009) s. 2228–2230.
- 22] Kašík I., Kamrádek M., Aubrecht J., Peterka P., Podrazký O., Cajzl J., Mrázek J., Honzátka P.: Thulium-doped optical fibers for fiber lasers operating around 2 μm, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences 67 (2019) s.981–986; DOI: 10.24425/bpasts.2019.130883.
- 23] Kamrádek M., Kašík I., Aubrecht J., Mrázek J., Podrazký O., Cajzl J., Vařák P., Kubeček V.: Ceramic nanoparticle-doping implementation into MCVD method for fabrication of holmium-doped fibers for fiber lasers, IEEE Photonics Journal 11 (5) (2019) s. 1–10.
- 24] Peterka P., Honzátka P., Becker M., Todorov F., Písařík M., Podrazký O., Kašík I., Monolithic Tm-doped fiber laser at 1951nm with deep-UV femtosecond-laser-induced FBG pair, IEEE Photonics Technology Letters 25 (2013) s. 1623–1625.
- 25] Aubrecht J., Peterka P., Koška P., Podrazký O., Todorov F., Honzátka P., Kašík I.: Self-swept holmium fiber laser near 2100 nm, Optics Express 25 (2017) s. 4120–4125.
- 26] Sotor J., Pawliszewska M., Sobon G., Kaczmarek P., Przewolka A., Pasternak I., Cajzl J., Peterka P., Honzátka P., Kašík I., Strupinski W., Abramski K.: All-fiber Ho-doped mode-locked oscillator based on a graphene saturable absorber, Optics Letters 41 (2016) s. 2592–2595.
- 27] Honzátka P., Baravets Y., Kašík I., Podrazký O.: Wideband thulium-holmium-doped fiber source with combined forward and backward ASE at 1600–2300 nm spectral band, Optics Letters 39 (2014) s. 3650–3653.
- 28] Aubrecht J., Peterka P., Honzátka P., Moravec O., Kamrádek M., Kašík I.: Broadband thulium-doped fiber ASE source, Optics Letters 45 (2020) s. 2164–2167.
- 29] Jasim A.A., Podrazký O., Peterka P., Todorov F., Honzátka P.: Experimental investigation and characterization of fabrication shaped clad optical fiber by thermally polishing optical fiber preforms with CO<sub>2</sub> laser, Micro-structured and Specialty Optical Fibres VI (Proc. SPIE), 11029, 2019, 1102909, <https://doi.org/10.1117/12.2520995>
- 30] Martan T., Kaňka J., Kašík I., Matějec V.: Theoretical analysis and preparation of tapered suspended core microstructure fibers, International Journal of Optomechatronics 3 (2009) s. 233–249.
- 31] Franczyk M., Pysz D., Stępień R., Cimek J., Kasztelaniec R., Klimczak M., Zhao L., Kašík I., Peterka P., Buczyński R.: Dual band nanostructured core fiber for two-color fiber laser operation, Journal of Lightwave Technology 40 (21) (2022) s. 7180–7190 doi 10.1109/JLT.2022.3199581
- 32] Kalli K., Mendez A., Peterka P.: Front Matter: Volume 11029, Proc. SPIE 11029, Micro-structured and Specialty Optical Fibres VI, 1102901 (17 July 2019), <https://doi.org/10.1117/12.2535408>

Lektor: doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.

## Nepřehlédněte – ročníky Skláře a keramik 2002–2020 na jednom CD!

Čísla časopisu Sklář a keramik 2/2002 – 10–12/2020 jsou dostupné ve formátu PDF na CD. Cena kompletu včetně media a poštovného je 2 000 Kč. Jednotlivé ročníky nebo čísla objednat nelze. V případě zájmu prosím kontaktujte redakci: [redakce@sklarakeramik.cz](mailto:redakce@sklarakeramik.cz).

## Jak lze získat časopis Sklář a keramik?

Odborný časopis pro průmysl skla a keramiky Sklář a keramik, který vychází v nákladu 420 výtisků, je tradičním médiem na českém trhu, které pravidelně přináší aktuální a zajímavé informace o dění v oboru doma i v zahraničí (vychází již 72 let, počítáme-li jeho předchůdce Sklářské rozhledy pak dokonce 98). Pro svou odbornost je zařazen do aktuálního seznamu neimpaktovaných recenzovaných časopisů. Mezi jeho odběrateli jsou též zahraniční firmy či jednotlivci a informace o otištěných studiích pravidelně vychází v řadě odborných evropských sklářských časopisů.

Odborný časopis Sklář a keramik není ve volném prodeji, lze jej proto získat pouze formou a) předplatného nebo b) vstupem do České sklářské společnosti (ČSS).

a) Zisk SaK formou předplatného – pro firmy i jednotlivce 800 Kč ročně (6 čísel časopisu o rozsahu 40–52 stran). V případě zájmu kontaktuje administraci Skláře a keramik – vydavatelství [sklarakeramik.cz](mailto:sklarakeramik.cz)

b) Zisk SaK členstvím v ČSS – jen pro jednotlivce

Individuální člen – 400 Kč ročně

Individuální člen (důchodce, student) – 200 Kč ročně

(v rámci členského příspěvku člen obdrží 6 čísel časopisu o rozsahu 40–52 stran)

V případě zájmu kontaktuje sekretariát ČSS

[secretary@czech-glass-society.cz](mailto:secretary@czech-glass-society.cz)

## Ceník inzercí pro rok 2023

Obálka – 1. strana 25 000 Kč

Obálka – 2 až 4 strana: 20 500 Kč

Formát A4	Barevná inzercie (Kč)	Černobílá (Kč)
1/1	19 000	15 000
1/2	16 000	11 500
1/3	13 000	8 000
1/4	10 000	6 000

[www.sklarakeramik.cz](http://www.sklarakeramik.cz)