

5-6
2015

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS

**60 let světla
v Ústavu fotoniky a elektroniky
Akademie věd ČR**

- ➔ Biosenzory s povrchovými plasmony str. 158
- ➔ Thuliové vláknové lasery str. 174
- ➔ První laserová operace oka str. 197
- ➔ Symposium SPIE
Optics + Optoelectronics str. 204

ISSN 0447-6441
Index 46 723

UFE



Akademie věd
České republiky



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

REDAKČNÍ RADA

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, s.r.o., Přerov, mobil: 731 439 380

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, prof. RNDr. Dr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, doc. RNDr. Monika BOŽIKOVÁ, Ph.D., SPU, Nitra, Ing. Ondřej ČÍP, Ph.D., UPT AV ČR, v.v.i., Brno, Ing. Alexandr DEJNEKA, Ph.D., FZÚ AV ČR, v.v.i., Praha; doc. RNDr. Ondřej HADERKA, Ph.D., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, prof. Ing. Pavoľ HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, doc. Ing. Jan HOŠEK, Ph.D., ČVUT Praha, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, v.v.i., Praha, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, doc. RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KÜR, Mesing, spol. s r.o., Brno, prof. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, prof. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, doc. RNDr. Miroslav MILER, DrSc., ÚFE AV ČR, v.v.i., Praha, prof. Ing. Jiří NOVÁK, Ph.D., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, Mgr. Sylvie PETROVÁ, LF MU, Brno, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, RNDr. Michael PROUZA, Ph.D., FZÚ AV ČR, v.v.i., Praha, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, Ph.D., UK, Bratislava, RNDr. Petr SCHOVÁNEK, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava, doc. Ing. Olga TŮMOVÁ, CSc., Západočeská univerzita, Plzeň. Čestný člen Ing. Zdeněk MARTÍNEK, Nové město nad Metují

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v.v.i. za spoluúčasti SPIE, the international society for optics and photonics v Nakladatelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, v.v.i.

Ředitel FZÚ AV ČR, v.v.i.: prof. Jan ŘÍDKÝ, DrSc.

Odpovědný zástupce vydavatele: prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc,

tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: eva.pelclova@upol.cz

Adresa redakce v Přerově (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,

mobil: 776 011 925, e-mail: eva.pelclova@upol.cz

Otisk povolen se svolením redakce a se zachováním autorských práv. Nevyžádané materiály se nevrací. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Vychází: 10x ročně (z toho 2 čísla jako dvojčísla)

Předplatné: Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO distribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí předplatné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v případě zaslání poštou 300,- Kč/rok.

Rozšiřuje vydavatel a Podniková prodejna Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov.

V Slovenské republice je kontaktní místo: RNDr. Dagmar Senderáková, Ph.D., katedra experimentální fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/149, SK-842 48 Bratislava, tel. 00421 260 295 391, e-mail: senderakova@fmph.uniba.sk

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., JSMF pobočka Žilina, ul. 1. mája 32, 010 01 Žilina, e-mail: ivo.cap@fel.uniza.sk

Tiskne TYP Oservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov,

tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz

Inzerce: redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,

tel.: 581 243 441, mobil: 776 011 925, e-mail: eva.pelclova@upol.cz

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2015

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 60 5 - 6/2015

OBSAH

Úvodní slovo ředitele Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (J. Homola) ...	155
Detekce chemických a biologických látek pomocí biosenzorů s povrchovými plazmony (H. Lisalová Vaisocherová, M. Vala, J. Homola)	158
Vliv hustoty pokrytí kovových nanočástic na výkonnost SERS-aktivních optických vláken (J. Kaňka)	161
Generace záření ve střední infračervené oblasti v nelineárních krystalech s použitím vláknových laserů (Y. Baravets, P. Honzátko, F. Todorov, P. Gladkov)	164
Teorie a modelování vlnodivných fotonických struktur (J. Čtyrkoký)	166
Aktivní vlákna dopovaná nanočásticemi (J. Mrázek, I. Kašík, O. Podrazký, J. Aubrecht, J. Cajzl, J. Proboštová, P. Peterka)	170
Thuliem dopovaná vlákna a optické vláknové součástky pro vláknové lasery na vlnových délkách v okolí 2 μm (P. Peterka, P. Honzátko, I. Kašík, O. Podrazký, F. Todorov, J. Cajzl, P. Koška, Y. Baravets, J. Aubrecht, J. Mrázek)	174
ÚFE na veletrhu AMPER 2015 (A. Michková)	177
Vláknové optický senzor pH pro in-vivo měření v mikroskopických biologických vzorcích (O. Podrazký, J. Mrázek, T. Martan, S. Vytykáčová, J. Proboštová, I. Kašík, D. Sedmera, K. Hoyerová)	178
Nízkoteplotní fotoluminiscenční spektroskopie krystalických a skelných polovodičů (P. Gladkov, J. Zavadil)	182
Jednodimenzionální nanostruktury ZnO (J. Grym, R. Yatskiv, J. Vaniš, O. Černošský, J. Lorinčík)	185
Bioelektrodynamika: vysokofrekvenční elektromagnetické procesy v biologických systémech (O. Kučera, D. Havelka, M. Cífra)	189
Přenos přesného času pomocí optických vláken (A. Kuna)	191
Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. jubluje (P. Peterka)	194
Začátky výzkumu optické holografie (M. Miler)	196
První laserová operace oční sítnice v Československu (J. Blabla, V. Trkal)	197
Komunikace pomocí laserového svazku v atmosféře – jedno z prvních uplatnění laseru (M. Chomát, M. Miler)	199
60 let světla v Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (P. Peterka, J. Zavadil)	200
Symposium SPIE Optics + Optoelectronics zaznamenalo rekordní zájem	204
Elita v oboru polovodičových materiálů a optiky pro střední infračervenou spektrální oblast se sešla v Praze (F. Todorov, P. Nováčková)	205

Bližší informace o poslání časopisu, pokyny pro autory, obsah časopisu apod. je uveden na internetu: <http://jmo.fzu.cz/>

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, e-mail: eva.pelclova@upol.cz.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

Chairman: Miloslav VYCHODIL - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.)

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Monika BOŽÍKOVÁ - Slovak Univ. Agricult., Nitra (Slovak Rep.), Ondřej ČÍP - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Alexandr DEJNEKA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Ondřej HADERKA - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Pavol HORŇÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Jan HOŠEK - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KRŠÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric., Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Miroslav MILER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.), Jiří NOVÁK - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Sylvie PETROVÁ, Fac. of Medicine, Masaryk Univ. (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Michael PROUZA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Olga TŮMOVÁ, University of West Bohemia, Plzeň (Czech Rep.), Honorary member Ing. Zdeněk MARTÍNEK, Nové město nad Metují (Czech Rep.)

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

FINE MECHANICS AND OPTICS

Published by Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic under participation of SPIE, the international society for optics and photonics in the Publishing House of the Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic: Jan ŘÍDKÝ

Editor: Miroslav HRABOVSKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: eva.pelclova@upol.cz

Address of the Editor's office in Přerov (Managing Editor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Reproduction only with permission of the Editor and under observing the copyright. Unasked manuscripts are not sent back. The authors are responsible for originality and correctness of their contributions.

Subscription fee: Annual fee is 420,- CZK. This price of subscription is the same for both Czech and Slovak Republics. Fine Mechanics and Optics journal is distributed into other countries for uniform price 10 EUR/Pcs. For members of SPIE/CS the annual subscription fee is 120,- CZK. For Bc., Mgr., Ph.D. and secondary school students the subscription fee is 120,- CZK per year, annual subscription including postage is 300,- CZK.

Distribution: by the Publisher, Company Sales shop of Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Contact place for the Slovak Republic: Dagmar Senderáková, Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina F2/149, 842 48 Bratislava, Slovak Republic, tel. 00421 260 295 391, e-mail: senderakova@fmp.uniba.sk

Printing: TYPoServis Holešov, Masarykova 650, CZ-769 01 Holešov, phone: 573 398 746 (from abroad: ++420 573 398 746). e-mail: dtp@typoservis.cz

Advertising: editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, e-mail: eva.pelclova@upol.cz

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2015

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

VOLUME 60

5 - 6/2015

CONTENTS

Introduction from the director of the Institute of Photonics and Electronics of the CAS, v. v. i. (J. Homola)	155
Plasmonic biosensors for detection of chemical and biological agents (H. Lisalová Vaisocherová, M. Vala, J. Homola)	158
Effect of the coverage density of metal nanoparticles on the performance of SERS-active optical fibers (J. Kaňka)	161
Generation of mid-infrared radiation in nonlinear crystals using fiber lasers (Y. Baravets, P. Honzátko, F. Todorov, P. Gladkov)	164
Theory and modeling of guided-wave photonic structures (J. Čtyroky)	166
Nanoparticle-doped active optical fibers (J. Mrázek, I. Kašík, O. Podrazký, J. Aubrecht, J. Cajzl, J. Proboštová, P. Peterka)	170
Thulium-doped fibers and fiber-optic components for fiber lasers at around 2 μm (P. Peterka, P. Honzátko, I. Kašík, O. Podrazký, F. Todorov, J. Cajzl, P. Koška, Y. Baravets, J. Aubrecht, J. Mrázek)	174
ÚFE at the fair trade AMPER 2015 (A. Michková)	177
Vláknově optický senzor pH pro in-vivo měření v mikroskopických biologických vzorcích (O. Podrazký, J. Mrázek, T. Martan, S. Vytykáčová, J. Proboštová, I. Kašík, D. Sedmera, K. Hoyerová)	178
Low-temperature photoluminescence spectroscopy of crystalline and glass semiconductors (P. Gladkov, J. Zavadil)	182
One-dimensional ZnO nanostructures (J. Grym, R. Yatskiv, J. Vaniš, O. Černohorský, J. Lorinčík)	185
Bioelectrodynamics: High-frequency electromagnetic processes in biological systems (O. Kučera, D. Havelka, M. Cífra)	189
Time transfer using optical fiber links (A. Kuna)	191
The jubilee of Prof. Miroslav Miler (P. Peterka)	194
Beginnings of optical holography research (M. Miler)	196
The first laser surgery of eye's retina in Czechoslovakia (J. Blabla, V. Trkal)	197
Free space optical communication using lasers - one of the first laser applications (M. Chomát, M. Miler)	199
60 years of light in the Institute of Photonics and Electronics (P. Peterka, J. Zavadil)	200
Symposium SPIE Optics + Optoelectronics: record attendance	204
The Elite in the field of semiconductor materials and optics for the mid-infrared spectral region met in Prague (F. Todorov, P. Nováčková)	205

For further information about the journal intention, instructions for authors, contents etc. please refer to <http://jmo.fzu.cz/>

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, e-mail: eva.pelclova@upol.cz.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Thulium-doped fibers and fiber-optic components for fiber lasers at around 2 μm

Fiber lasers are the youngest and most rapidly developing branch of lasers. Golden era of fiber lasers started only in early 2000's and followed success of fiber amplifiers in telecommunications in nineties. Nowadays, the ytterbium fiber lasers at around 1 μm are the most powerful lasers available, reaching 100 kW of average output power. The 2 μm class fiber based on thulium-doped fibers are getting increasing importance thanks to better eye-safety, relaxed non-linear limits, more efficient processing of various materials, e.g., plastics, and high slope efficiency of up to 70 %. In the paper we review our recent progress in research of novel host materials for enhancements of fluorescence properties of thulium-doped fibers and new fiber-optic components and their applications in monolithic thulium-doped fiber laser. Results of coherent combination of thulium-doped fiber lasers are also presented.

Keywords: fiber lasers, thulium, cladding pumping

1. INTRODUCTION

Thulium-doped fiber lasers operating at wavelengths around 2 μm are rapidly developing a new class of coherent light sources with a high slope efficiency reaching 70 %. The 2 μm radiation sources have many advantages over the 1- μm sources, e.g., better eye-safety, relaxed non-linear limits and often more efficient material processing, e.g., plastics. Thulium-doped fiber lasers will find applications in material industry, medicine, environment monitoring, security and safety. Particularly important application of 2- μm fiber lasers is in a highly-efficient generation of wideband mid-infrared radiation through third order nonlinear effects in soft-glass fibers.

In this paper we review recent progress in the research area of thulium-doped fiber lasers in the team of Fiber laser and nonlinear optics of the Institute of Photonics and Electronics (IPE). We are working in the domains of fiber fabrication and basic research of new materials; research of novel fiber-optic components and also novel types, configurations and regimes of thulium-doped fiber lasers. The paper about material research and fiber fabrication and application of the fibers in broadband ASE (Amplified Spontaneous Emission) sources was recently published in this journal that is why we describe only one particular case of alumina nanoparticle- and thulium-doped fiber and its application in monolithic fiber laser. More details about fiber fabrication and characterization can be found in [1] and in an invited paper [2]. Then we review specific examples of fiber optic components, the WDM (Wavelength Division Multiplexer) and coherent combination of thulium fiber lasers.

2. THULIUM- AND ALUMINA-NANOPARTICLE- DOPED FIBERS AND THEIR APPLICATION IN MONOLITHIC FIBER LASER AT 1951 nm

The thulium-doped fiber devices suffer from relatively high nonradiative decays rates and reduced quantum conversion efficiency (~10 % for the 2 μm laser transition) compared to almost 100 % efficiencies at 1.5- μm erbium- and 1- μm ytterbium-doped fiber devices. In cooperation with colleagues from the University of Nice we have developed a method of modification of local environment of thulium ions by high alumina co-doping and in such a way we increased thulium quantum conversion efficiency

[3]. Particularly high concentration of alumina we achieved by codoping with alumina nanoparticles of <50 nm size. The alumina content was 11.2 mol %. Codoping with germanium oxide was not applied. We measured fluorescence lifetime of 690 μs of the $^3\text{F}_4$ energy level of thulium, i.e., the upper laser level of the 2- μm transition. It represents more than two-fold increase of the quantum conversion efficiency in regards to standard thulium-doped fibers with about 330- μs $^3\text{F}_4$ fluorescence lifetime. The systematic error imposed by ASE was carefully eliminated in the fluorescence lifetime measurement [4]. We used the fiber in the experimental setup of the monolithic fiber laser [5]. The laser setup is shown in Fig. 1.

The fiber Bragg gratings (FBGs) were inscribed into the Tm-doped fiber by using a Talbot interferometer and deep ultraviolet source at 266 nm (third-harmonics of Ti: sapphire femtosecond laser) in the Institute of Photonic Technology (IPHT) in Jena.

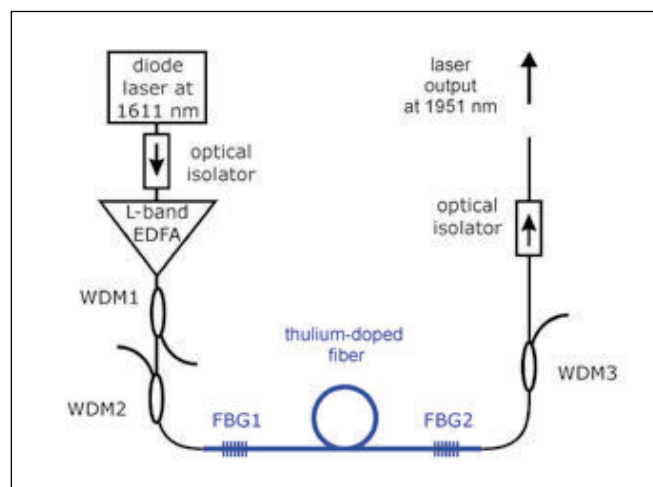


Fig. 1 Setup of the monolithic fiber laser with FBGs (fiber-Bragg gratings) inscribed directly into thulium-doped fiber with enhanced quantum conversion efficiency. EDFA: Er-doped fiber amplifier, WDM: wavelength-division multiplexer

Such monolithic setup offers simplicity as the laser was made of single fiber only and greater reliability as the fusion splices are avoided. The splice may eventually generate failure in the laser resonator. This experiment represents the first rare-earth-doped fiber laser with a FBG pair written by DUV femtosecond laser radiation.

3. INCREASED CLADDING ABSORPTION BY COILING AND TWISTING

We have developed numerical methods to describe pump absorption in the coiled double-clad fibers [6, 7]. For the first time, the modified refractive index profile method was applied to describe rigorously the cladding-absorption in bent fibers and we have found that for practical cases of fiber coils the bending effect cannot be neglected as in previous numerical studies. In preliminary studies of the case of ytterbium-doped fiber (pumped at 976 nm) we have found recently, that simultaneous coiling and twisting of the double-clad fiber with hexagonal shape of the inner cladding may lead to substantial increase of the pump absorption along the fiber [7]. The absorption is even higher than the ideal limit of pump absorption given by the doping parameters and ratio of the core and inner cladding areas, see Fig. 2.

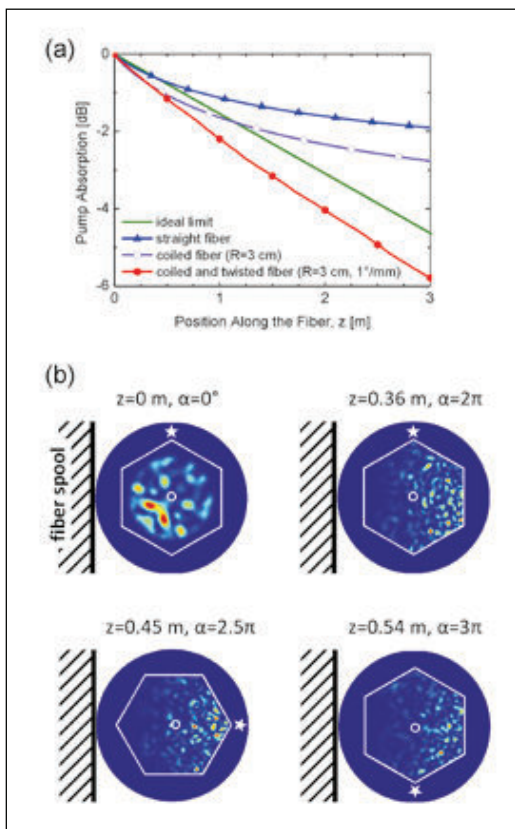


Fig. 2 (a) Numerical modelling of pump attenuation along rare-earth-doped fiber of hexagonal inner cladding for various coiling conditions. (b) Pump-field distribution at several positions along hexagonal fiber coiled on 3-cm radius spool and twisted with rate 1 deg/mm. One particular corner is labeled with a white star. The rotating corners of the hexagon smashes-up the pump field and leads to effective mode-scrambling and improved pump absorption

The advantageous effect of coiling and twisting for pump-absorption enhancement can be explained on this figure. The effective inner cladding area was decreased by the bending (compare the input field intensity profile in Fig. 2b and the speckle pattern shift towards the outer part of the spool in the other figures). If the fiber is not twisted, the effective inner cladding area is smaller than in the straight fiber but its shape is not changed and the mode scrambling

is rather limited. On the other hand, for simultaneously coiled and twisted fiber the rotating horns of the hexagon smashes-up the pump field and leads to effective mode-scrambling and improved pump absorption. Due to large area of the inner cladding and long length of fiber, the numerical modeling is highly time-consuming. Optimization of the proposed method of coiling and investigation of thulium-doped fibers we plan to do in the near future.

4. FIBER OPTIC COMPONENTS FOR “EYE-SAFE” SPECTRAL REGION AROUND 2 MICROMETERS

In cooperation with an industrial partner, the company SQS Fiber Optics, we have developed several passive components intended for fiber lasers operated around 2 μm , for example fiber couplers and WDMs for combination of 1.6- and 2- μm radiation [8]. We have tested three types of commercially available fibers were used for the fabrication of the WDMs and we have discussed their advantages and drawbacks the characteristics of the prepared WDMs were compared. Two fibers were designed with for operation around 2 μm and low-bending losses, but their first higher order mode LP_{11} cutoff was greater than 1600 nm. Therefore, the WDMs are prone to high insertion losses (up to 3 dB loss increase was observed) under various launching conditions. This loss increase cannot be completely avoided. The standard fibers eliminate the unpredictably insertion losses at 1.6 μm but they suffer from higher bent losses at 2 μm .

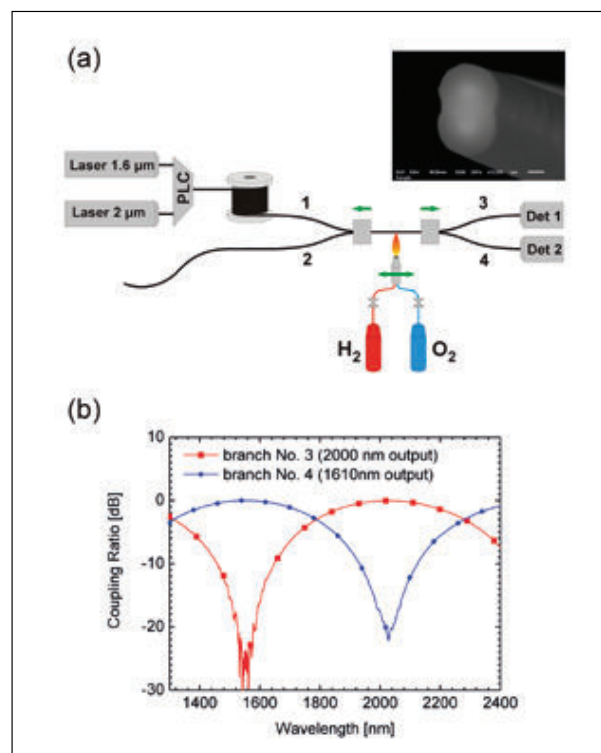


Fig. 3 (a) Setup of the rig for the fused-biconically-tapered fabrication of fiber components. PLC: Planar Lightwave Circuit; Det: detector. Scanning-electron-microscope image of the cross section near the waist position of the tapered region is shown in the top right figure. The waist dimensions are 3.7 $\mu\text{m} \times 5.5 \mu\text{m}$. (b) The spectral transmission of the wavelength division multiplexers (WDM) for combination of the pump and the signal for thulium fiber lasers

We have proposed the fiber refractive profile with cutoff below 1560 nm, low splice losses and low-bending losses even at 2 μm . The manufacturing technology is based on the fused-biconically tapering method in hydrogen-oxygen-flame tapering rig, the setup of which is shown in Fig. 3. We reported a novel mode-field adapter for tapered fused-fiber-bundle pump and signal combiners that

are being used in high-power double-clad fiber lasers [9]. Such an adapter allows optimization of signal-mode-field matching on the input and output fibers. Correspondingly, losses of the combiner signal branch are significantly reduced.

5. COHERENT COMBINATION OF THULIUM FIBER LASERS

We have experimentally achieved 20 W at a wavelength of 2000 nm by coherent combination of a pair of thulium-doped fiber lasers [10]. The laser beam combination will allow increasing the radiance (brightness) of the laser systems beyond limits of simple lasers in the future. It is the first reported coherently combined thulium-doped fiber laser working at moderate powers. The laser setup and output power characteristics are shown in Fig. 4.

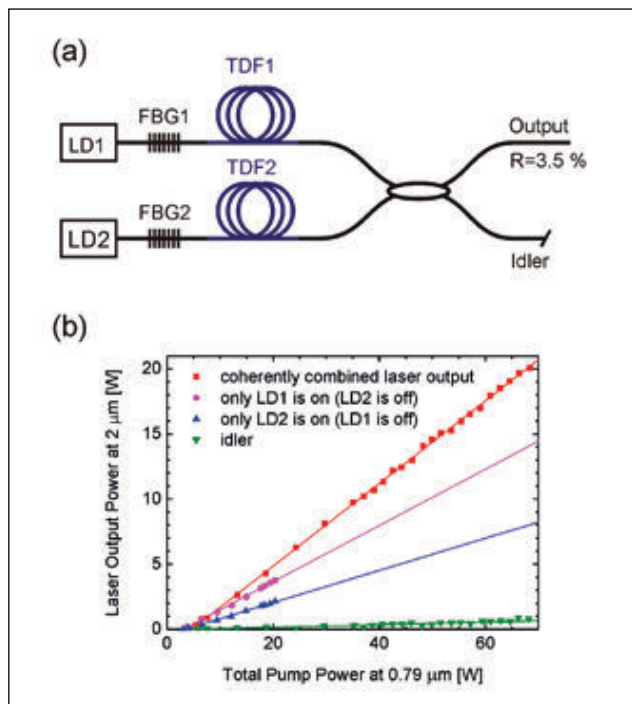


Fig. 4 (a) Laser system consisting of a pair of thulium-doped fibers TDF1 and TDF2 pumped by laser diodes LD1 and LD2. Resonator of the laser is formed by fiber Bragg gratings FBG1 and FBG2, respectively and reflection at the output port of directional fiber coupler. Idler port is angle polished to suppress the reflections. (b) Output power characteristics of the coherently combined output and the idler and of the output of the two fiber laser that oscillates independently of each other

The output of the two coherently combined signal fiber lasers was stable in the whole range of pump powers despite the fact, that the individual lasers were unstable before they were combined together via the polarization-maintaining fiber coupler. The self-pulsing instability accompanied with recently discovered spectacular self-sweeping of the laser wavelength we have reported in the case of the ytterbium-, erbium- and thulium-doped fiber lasers at around 1 μm , and 1.5 μm , and 2 μm , respectively [11–15]. The papers [11, 12] contain the first ever published observations of the self-sweeping effects in the case of the ytterbium- and erbium doped fiber lasers.

6. CONCLUSION

We have reviewed selected recent results in the research of thulium fiber lasers we achieved within the team of Fiber lasers and nonlinear optics ÚFE. We have presented more than two-fold increase of the quantum conversion efficiency thanks to alumina nanoparticle codoping of the preform core-layers and application

of such thulium-doped fibers in monolithic fiber lasers. The laser was the first rare-earth doped laser with a pair of FBG inscribed by deep-UV femtosecond fiber laser. It should be noted that the fiber was germanium-free. In collaboration with industrial partner we have developed range of fiber optic components based on fused-biconically-tapered process. We have achieved coherent combination of thulium fiber lasers up to 20 W was reached limited by the available pump power. The output was stable despite the fact that the individual fiber lasers exhibited instabilities.

The authors acknowledge support from the from the Technology Agency of the Czech Republic project No. TH01010997 and from the Czech Ministry of Industry and Trade, project No. FR-TI4/734. The authors would like to thank for fruitful cooperation to Michael Písařík and other colleagues from the company SQS Fiber optics; Bernard Dussardier, Wilfried Blanc and others from LPMC – Université de Nice in France and Martin Becker from IPHT in Jena in Germany.

References

- [1] I. Kašík, P. Honzátko, P. Peterka, J. Mrázek, O. Podrazký, J. Aubrecht, J. Proboštová, J. Cajzl, and F. Todorov: **Special optical fibers – heart of thulium and holmium fiber lasers and amplifiers** (In Czech). *Jem. mech. opt.* **60/1** (2015) 4–7.
- [2] P. Peterka, P. Honzátko, I. Kasík, J. Cajzl, and O. Podrazký, **Thulium-doped optical fibers and components for fiber lasers in 2 μm spectral range** (Invited). *SPIE Proc.* **9441** (2014) 94410B.
- [3] P. Peterka, I. Kasík, A. Dhar, B. Dussardier, and W. Blanc: **Theoretical modeling of fiber laser at 810 nm based on thulium-doped silica fibers with enhanced $^3\text{H}_4$ level lifetime**. *Opt. Express* **19** (2011) 2773–81.
- [4] J. Cajzl, P. Peterka, P. Honzátko, J. Mrázek, O. Podrazký, F. Todorov, P. Gladkov, J. K. Sahu, M. Nunez-Velazquez, P. Nekvindová, I. Kašík: **Characterization of fluorescence lifetime of Tm-doped fibers with increased quantum conversion efficiency**. *SPIE Proc.* **9450** (2015) 945017.
- [5] P. Peterka, P. Honzátko, M. Becker, F. Todorov, M. Písařík, O. Podrazký, and I. Kašík, **Monolithic Tm-Doped Fiber Laser at 1951 nm With Deep-UV Femtosecond-Induced FBG Pair**. *IEEE Photonics Technology Lett.* **25/16** (2013) 1623–5.
- [6] P. Koska, P. Peterka, I. Kasík, V. Matejec, and O. Podrazký: **Double-clad rare-earth-doped fiber with cross-section tailored for splicing to the pump and signal fibers: analysis of pump propagation**. *SPIE Proc.* **8775** (2013) 87750V.
- [7] P. Peterka, P. Honzátko, P. Koška, O. Podrazký, and I. Kašík: **Transient-fiber-Bragg grating spectra in self-swept Fabry-Perot fiber lasers**. *SPIE Proc.* **9344**. (2015) 934423.
- [8] M. Pisarik, P. Peterka, S. Zvanovec, Y. Baravets, F. Todorov, I. Kasík, and P. Honzátko: **Fused fiber components for “eye-safe” spectral region around 2 μm** . *Optical and Quantum Electronics* **46** (2014) 603–11.
- [9] P. Koska, Y. Baravets, P. Peterka, J. Bohata, and M. Pisarik: **Mode-Field Adapter for Tapered-Fiber-Bundle Signal and Pump Combiners**. *Applied Optics* **54/4** (2015) 751–6.
- [10] P. Honzátko, Y. Baravets, F. Todorov, P. Peterka, M. Becker: **Coherently combined 20 W at 2000 nm from a pair of thulium-doped fiber lasers**. *Laser Phys. Lett.* **10** (2013) 095104.

- [11] P. Peterka, J. Maria, B. Dussardier, R. Slavík, P. Honzátka, and V. Kubeček: **Long-period fiber grating as wavelength selective element in double-clad Yb-doped fiber-ring lasers.** Laser Phys. Lett. **6** (2009) 732–6.
- [12] P. Peterka, P. Navrátil, B. Dussardier, R. Slavík, P. Honzátka, and V. Kubeček: **Self-induced laser line sweeping and self-pulsing in double-clad fiber lasers in Fabry-Perot and unidirectional ring cavities.** SPIE Proc. **8433** (2012) 843309.
- [13] P. Peterka, P. Navrátil, J. Maria, B. Dussardier, R. Slavík, P. Honzátka, and V. Kubeček: **Self-induced laser line sweeping in double-clad Yb-doped fiber-ring lasers.** Laser Phys. Lett. **9** (2012) 445-50.
- [14] P. Honzátka, P. Vojtisek, and B. Vitovec: **Progress in thulium-doped fiber lasers and amplifiers.** SPIE Proc. **8697** (2012) 86971J.
- [15] P. Peterka, P. Honzátka, P. Koška, F. Todorov, J. Aubrecht, O. Podrazký, and I. Kašík: **Reflectivity of transient Bragg reflection gratings in fiber laser with laser-wavelength self-sweeping.** Opt. Express **22** (2014) 30024-31.
- [16] P. Peterka, P. Honzátka, I. Kašík, A. Michková: **Fiber lasers.** ed. Science around us (in Czech), Academia, 2014. www.ufe.cz/sites/default/files/Media/vlaknove_lasery.pdf

Ing. Pavel Peterka, Ph.D., e-mail: peterka@ufe.cz

Dr. Ing. Pavel Honzátka, e-mail: honzátka@ufe.cz,

Dr. Ing. Ivan Kašík, e-mail: kasik@ufe.cz

Ing. Ondřej Podrazký, Ph.D., e-mail: podrazky@ufe.cz

Ing. Filip Todorov, Ph.D., e-mail: todorov@ufe.cz

Ing. Jakub Cajzl, e-mail: cajzl@ufe.cz.

Ing. Pavel Koška, e-mail: koska@ufe.cz

Ing. Yauhen Baravets, e-mail: baravets@ufe.cz

Ing. Jan Aubrecht, Ph.D., e-mail: aubrecht@ufe.cz

Ing. Jan Mrázek, Ph.D., e-mail: mrazek@ufe.cz

Fiber lasers and nonlinear optics team, Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i., Chaberská 57, 182 51 Praha 8 - Kobylisy

Jedná se o vědecký článek

ÚFE na veletrhu AMPER 2015

Veletrh AMPER 2015, který se uskutečnil 24. – 27. března 2015 v Brně, je největším elektrotechnickým veletrhem střední Evropy. Jeho vystavovatelé se prezentují v oborech energetiky, elektroinstalací, elektronických součástek, automatizace, osvětlení, ale i ve specializované sekci OPTONIKA – zahrnující společnosti nabízející optické a fotonické součástky a zařízení. V rámci tohoto programu proběhl i cyklus odborných přednášek Fórum OPTONI-

KA. Podrobná zpráva o veletrhu vyšla v minulém čísle časopisu JMO. Na veletrhu měl výstavní stánek také Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i. (ÚFE). Na fóru OPTONIKA byly zahrnuty 3 přednášky ÚFE na různá témata od výroby optických vláken po měření elektromagnetického pole živých buněk.

Adéla Michková, michkova@ufe.cz



První laserová operace oční sítnice v Československu

„V polovině roku 1964 přivedl MUDr. John do naší laboratoře děvče, které mělo zcela roztrhanou sítnici. Pro lékařský zákrok nebylo možné použít klasický postup operace, ani operaci pomocí nekoherentního Lichtkoagulátoru. Pacientka měla jedinou šanci, a tou byla aplikace laserového záření ...“
vzpomínají nestoři české laserové fyziky a kvantové elektroniky
Jan Blabla a Viktor Trkal.

V roce 1960 *Theodor H. Maimann* z Hughes Research Laboratories publikoval nový zdroj světla - laser [1, 2]. V rubínové tyčince s relativně nízkou koncentrací chromu (0,05%) dosáhl zesílení stimulované emise a následně generace červeného světla o vlnové délce 694,3 nm. Tento proces umožnily mimo jiné dokonale opticky opracované planoparalelní čelní plochy tyčinky (planoparalelita několik úhlových vteřin) pokryté vakuově napařeným stříbrem. Čerpacím zdrojem světla byla spirálová výbojka, která dodala potřebnou světelnou čerpací energii (asi 2,5 kJ) v žlutozeleném spektru světla. Maimannův experiment tak potvrdil teoretickou předpověď publikovanou v roce 1958 *A.L. Schawlowem* a *C.H. Townsem* [3].

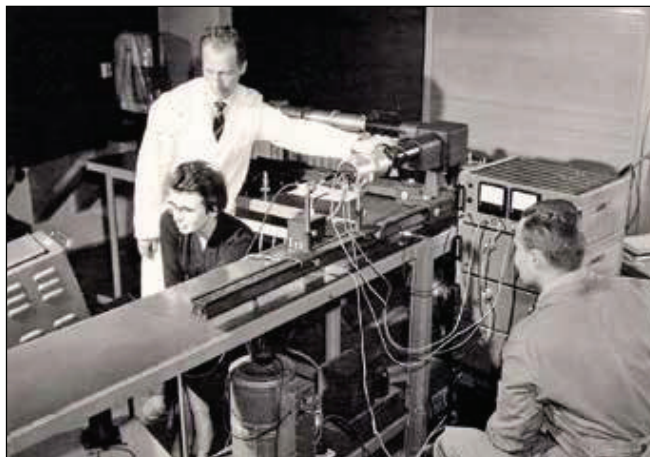
„V ÚŘE-ČSAV jsem zachytil tuto zprávu s většími podrobnostmi v r. 1961. Díky porozumění vedoucího oddělení kvantové elektroniky *RNDr. Viktora Trkala, CSc.* jsem problematiku laserů nastudoval a spolu s dvěma dalšími pracovníky oddělení připravoval realizaci podobného experimentu¹⁾. Kontaktoval jsem *Ing. V. Kmenta*, který se zabýval v Chemickém komplexu v Ústí nad Labem pěstováním rubínových krystalů Verneillovou metodou“ (*J. B.*). V roce 1962 bylo možné z tohoto pracoviště získat již opticky velmi dokonalou surovinu a následně i první rubínové válečky. Optickou dokonalost válečku jsme dořešili díky naší přátelské spolupráci s *RNDr. Ivanem Šolcem, CSc.* z Monokrystalů Turnov. Díky dlouhodobé tradici v oboru přesných optických metod a zkušenostem v broušení krystalů na řadě pracovišť v Turnově jsme měli ještě téhož roku k dispozici několik kusů laserových válečků. Pro odrazné plochy jsme použili jednak vakuové postříbení, jednak v kontaktu s *RNDr. Zdeňkem Knittlem, CSc.* z Meopty Přerov dielektrické tenké vrstvy.

Problémy nastaly s výbojkou. Získali jsme pouze jednu spirálovou výbojku, která se nešťastnou náhodou rozbila. Díky osobním kontaktům, které oddělení kvantové elektroniky mělo s pracovníky Akademie věd SSSR v Moskvě v programu čpavkového maseru, jsme dostali několik výbojek tvaru „U“. To vedlo ke změně technického řešení laseru.

Se zkouškami našeho laseru jsme začali v druhé polovině r. 1962. Měli jsme k dispozici asi deset rubínových výbrusů, postupně jsme je vystřídali a vyřazovaly ty, které neměly šanci na úspěch. Vylepšovali jsme i optickou kvalitu dielektrických vrstev, což vedlo obvykle k dosti značným časovým průtahům. Vedle zvýšení účinnosti přenosu optické energie výbojky do krystalu jsme zavedli i chlazení krystalu laseru pomocí par z tekutého dusíku. **Zesílení stimulované emise jsme pozorovali již u prvních experimentů v r. 1962, generace nastala až v r. 1963 (obr. 1).** V květnu téhož roku jsme dokumentovali generaci laseru předvedením veřejnosti ve zcela zaplněném Planetáriu v pražské Stromovce.

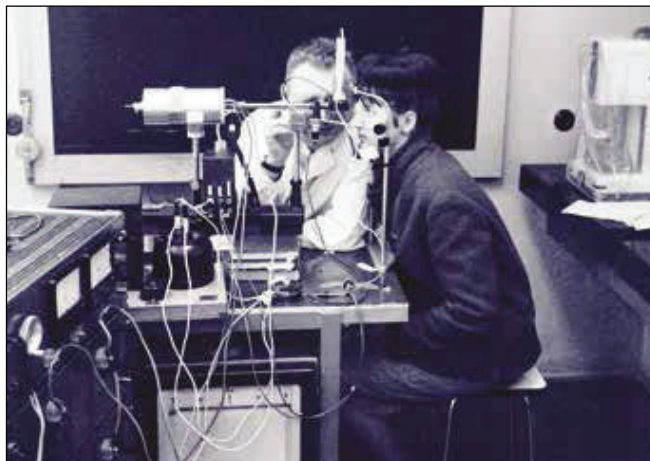
Záhy po úspěšném spuštění laseru nás navštívil *MUDr. Jan John* z Institutu pro další vzdělávání lékařů a farmaceutů z nemocnice na Bulovce. Zabýval se mimo jiné fotokoagulací bílkovin v sítnici oka s použitím nekoherentního zdroje optického záření pro operační postupy u pacientů. (Lichtkoagulátor 5000, Zeiss). Odchlípená sítnice pacientů není vyživována, postupně odumírá a ztrácí se vidění. Světelný impuls, fokusovaný oční optikou přitlačí sítnici k fundu, dojde k zánětlivému procesu a následnému spojení s výživnou tkání. Léze po zásahu od nekoherentních optických zdrojů jsou značně velké. Vyžaduje se tu rovněž výrazně větší

energie koagulačního zdroje světla. Laserové koherentní záření je mnohem účinnější, léze jsou podstatně menší a efektivnější. S *MUDr. Johnem* jsme proto domluvili použití laseru při experimentech na očním pozadí u králíků, kteří mají strukturu oka velmi blízkou oku člověka. Výsledky těchto experimentů byly pozitivní a velmi užitečné pro další aplikaci na lidském oku.



Obr. 1 Rubínový laser v ÚŘE ČSAV, zleva Alena Jelínková, Jan Blabla a Miroslav Vendl (1963).

V polovině roku 1964 přivedl *MUDr. John* do naší laboratoře děvče, které mělo zcela roztrhanou sítnici. Pro lékařský zákrok nebylo možné použít klasický postup operace, ani operaci pomocí nekoherentního Lichtkoagulátoru. Pacientka měla jedinou šanci, a tou byla aplikace laserového záření. Technické uspořádání operačního postupu vyžadovalo vedle spolehlivé operace ochranu operujícího před zpětným odrazem laserového svazku. Ještě týž den provedl *MUDr. John* první laserovou operaci sítnice (obr. 2). Odchlípnutá sítnice byla přitlačena k fundu několika laserovými záblesky a vzniklé léze potvrdily, že došlo ke koagulačnímu účinku a vyvolání potřebného zánětlivého procesu. Po několika dnech nám *MUDr. John* sdělil, že výsledek operace je nadmíru uspokojivý a oko je zachráněno. To vyvážilo řadu našich nočních experimentů a pracovních nesnází při uvádění rubínového laseru do života. Vytvořilo to dobrou platformu i pro to, abychom se zabývali po odborné stránce pracemi souvisejícími s fotokoagulací bílkovin



Obr. 2 První laserová operace sítnice v laboratoři odd. kvantové elektroniky ÚŘE ČSAV (1964)

v odborné stránce pracemi souvisejícími s fotokoagulací bílkovin v oku, s převodem tepla do fundu oka a okolní tkáně a s řadou technických problémů souvisejících s návrhem spolehlivého zařízení pro další možné operace.

Z pracovních výsledků vzniklo zařízení - **Kvantový fotokoagulátor** - vhodné pro operaci sítnice rubínovým laserem (obr. 3). V laserové hlavici spojené s oftalmoskopem pro vyšetření očního pozadí byla použita asi 10 cm dlouhá výbojka o průměru obdobném průměru rubínové tyčinky (asi 6 mm). Účinnost laseru byla zvýšena uložením rubínové tyčinky a čerpací výbojky do ohnisek eliptického optického odražeče a doplněna ochlazováním laseru vzduchem. Laser byl navržen spolu s oftalmoskopem jako krátká hlavice, kterou operující může držet v ruce obdobným způsobem jako při práci s oftalmoskopem. Laserová hlavice s oftalmoskopem vážila asi 650 g [4, 5].



Obr. 3 Kvantový koagulátor pro laserovou operaci sítnice. Byl realizován v ÚŘE ČSAV a úspěšně otestován v kooperaci s MUDr. J. Johnem v nemocnici na Bulovce

Zařízení bylo předáno **Institutu pro další vzdělávání lékařů a farmaceutů** do nemocnice na Bulovce v Praze, kde jenom v prvním roce využívání s ním bylo operováno přes 1000 pacientů. Další čtyři vyrobené přístroje našly své místo na oční klinice Všeobecné fakultní nemocnice v Praze na Karlově náměstí, v nemocnici v Mostu a v Bratislavě.

Laserová operace sítnice byla jistě pozitivním krokem v našem laserovém programu. I když rubínový laser byl pro tyto účely nahrazen později jinými typy laserů (např. argonovým) znamenalo jeho použití v očním lékařství rychlý bezbolestný zásah bez klasických operačních postupů. „Tuto situaci dokážu dnes plně ocenit, když jsem před třemi léty podstoupil »paradoxně« klasickou tříhodinovou operaci sítnice, s jejímiž důsledky se potýkám dodnes.“ (J. B.). Osobní zkušenost s operací oční sítnice měl i druhý z autorů (V.T.), který vzpomíná: „Ve svém volném čase jsem se od gym-



Obr. 4 Rubínový laser v rozloženém stavu: mezi výbojky se uchytuje rubínový krystal (tyčinka v popředí), čtyřeliptická dutina se použila k dosažení vyšší účinnosti čerpacího záření (květen 1963)

naziálních studií věnoval atletice, nejprve jako závodník, později jako trenér, rozhodčí a činovník. Na jaře 1972 jsem při procházce s rodinou v Ďáblickém háji na výzvu své jedenáctileté dcery »Aronne skoč« skočil na nezajištěnou závoru přes cestu, která spadla i se mnou a já se rozbitým sklem brýlí poranil pod levým okem. V červnu téhož roku, při návratu ze závodů v Domažlicích jsem zjistil, že přestávám na toto oko vidět. Na Bulovce hned zjistili poškození sítnice a krvácení do oka a tak jsem následující den byl asi jako 2000 pacient operován našim fotokoagulátorem. Lze odhadovat, že na čtyřech našich zařízeních bylo v té době úspěšně operováno nejméně 6000 pacientů. Po dvou na Bulovce strávených nocích jsem byl zdrav a propuštěn domů. Od té doby jsem na toto oko viděl lépe než na druhé, nezraněné. V témž roce jsem v srpnu mohl bez potíží absolvovat jako »šéftrenér« naší atletické výpravy OH v Mnichově a prožil jsem tam i hrůzné napadení izraelské výpravy islámskými teroristy. Snad i to stojí dnes za připomenutí.“

Další podrobnosti o počátcích laserové fyziky a kvantové elektroniky v ÚŘE může čtenář najít v článku o historii ÚŘE v tomto čísle a ve speciálním dvojčísle Československého časopisu pro fyziku z roku 2010, které bylo celé věnováno 50. výročí vynálezu laseru [6].

¹⁾ Ing. Alena Jelínková, Miroslav Vendl a později Ing. Václav Soukup.

Literatura

- [1] T. H.Maimann, Nature 187, 493 (1960)
- [2] T. H.Maimann, Phys. Rev.123, 1145 (1961)
- [3] A. L. Schawlow, C.H.Townes, Phys.Rev. 112, 1940 (1958)
- [4] J. Blabla, J. John, A.Jelínková, M.Vendl, Čs. Oftalmol. 21, 281 (1965)
- [5] J. Blabla, V. Soukup, Slaboproudý Obzor, 31 263 (1970)
- [6] J. Blabla, V. Trkal, Československý časopis pro fyziku, 60 221 (2010)

Jan Blabla, Hudební vydavatelství a nakladatelství Spectrum, bývalý pracovník Ústavu radiotechniky a elektroniky ČSAV (nyní Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR) a Českého metrologického institutu, spectrum@bla.cz

Viktor Trkal, bývalý pracovník Ústavu radiotechniky a elektroniky ČSAV (nyní Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR) viktor.trkal@seznam.cz

Komunikace pomocí laserového svazku v atmosféře – jedno z prvních uplatnění laseru

Brzo po úspěšném sestavení rubínového laseru v našem ústavu na přelomu let 1962/63 bylo ustaveno nové oddělení **Optické sdělování**, jehož posláním bylo provádět výzkum optického přenosu informací atmosférou pomocí laserového svazku. Toto nasměrování výzkumu odráželo velká očekávání, která se ve světě vkládala do optického sdělování krátce po vynalezení laseru. Do oddělení byli přiděleni i autoři tohoto sdělení.

Prvním úkolem bylo postavit helium-neonový (He-Ne) laser vysílající červené světlo na vlnové délce 633 nm, který by byl vhodný pro zamýšlené experimenty, protože jeho získání ze zahraničí nepřicházelo z řady důvodů v úvahu. To se podařilo i díky spolupráci s řadou pracovníků z jiných oddělení ústavu a z jiných čs. výzkumných pracovišť (např. zrcadla byla dodána *doc. RNDr. Zdeňkem Knittlem, CSc.* z Ústavu pro výzkum optiky a jemné mechaniky (ÚVOJM) v Přerově a výbojová trubice *Ing. Milanem Kutíkem, CSc.* z Výzkumného ústavu vakuové elektroniky (VÚVET). Zvláště cenné byly přitom zkušenosti a pomoc *Ing. Jana Blabý, CSc.*, vedoucího pracovníka oddělení kvantové elektroniky ústavu. Byl sestrojen rezonátor se základnou z plechu s malým teplotním koeficientem roztažnosti ve tvaru nízkého U a délky kolem 1 m, na jehož koncích byly umístěny držáky zrcadel s jemným úhlovým i délkovým nastavením. Napájecí zdroj byl postaven v ústavu. Optický výkon laseru byl měřen měřidlem od VÚVET a činil několik málo mW. *Ing. Kutík* byl také nápomocen s justáží laseru.

Současně byla postavena nosná konstrukce laseru s možností jemného vodorovného a výškového natáčení. Pro rozšíření a kolimaci laserového svazku navrhl druhý z autorů sestavu s mikroskopovým a dalekohledovým objektivem s možností jemného posuvu dalekohledového objektivu. Ke kolimátoru byl vhodně upevněn puškový dalekohled, aby bylo možno provést rektifikaci laserového svazku na objekt v dalekohledu. Rektifikace byla postupně zpřes-

ňována na větší vzdálenosti. Nejprve se „svítilo“ na patu komínu staré cihelny v blízkosti ústavu, potom na petřínskou rozhlednu, později na svah pod Ohradou v Praze – Žižkově vzdáleném asi 4,5 km a nakonec na Výzkumný ústav sdělovací techniky (VÚST) A.S. Popova vzdálený přes 10 km. Všechny tyto objekty byly viditelné z věžičky ústavu, protože tehdy ještě nexistovala později vybudovaná rozsáhlá bytová výstavba. Byly prováděny experimenty pro získání poznatků o šíření vysoce směrovaného laserového svazku atmosférou nad různými oblastmi městské zástavby Prahy.

Velké pozornosti médií se zejména těšila rektifikace na svah pod Ohradou. V tehdejší Rudém právu ze 13. 5. 1966 byl pod iniciálami –ik- uveřejněn článek, který vyzdvihoval dosažené úspěchy a ke kterému byla přiložena fotografie s titulkem *Rudá záře nad Prahou (obr. 1)* jako reminiscence k románu A. Zápotockého *Rudá záře nad Kladnem*. V důsledku vzduchových turbulencí a také nepřesné kolimace byl průměr stopy laserového svazku pod Ohradou asi kolem 3 m.

Zatímco první tři terče byly pouze orientační, teprve až světlo směrované na VÚST mělo sloužit k přenosu informace. Byl přenášen amplitudově modulovaný akustický signál. Podle dostupných informací to byl první úspěšný pokus o přenos informace volným prostorem (FSO - Free Space Optical Communication) pomocí laseru v Československu. Laserový svazek byl modulován elektrooptickým modulátorem vyvinutým *Ing. Bohumilem Stádníkem, CSc.* (později DrSc.). V modulátoru se používaly elektrooptické krystaly ADP a KDP vypěstované ve výzkumném ústavu monokrystalů (VÚM) v Turnově, nyní CRYTUR, s. r.o. Ukázalo se však, že pro značné turbulence nad městem a častý výskyt méně propustné až téměř nepropustné atmosféry v důsledku kouřma či mlžných kapiček byl značný únik signálu a nebyl zajištěn dostatečně věrný přenos po celou dobu. Nadšení pro tento způsob přenosu signálu začalo ochabovat.

Tehdy se také vyskytl zájemce, který měl zadání pro další výzkum tohoto druhu. Šlo o automatické navigování říčních bagrů pomocí laseru. Pro tento účel byly sledovány fluktuace signálu nad vodní hladinou říčních toků a přehradních nádrží. Ukázaly se však ještě větší potíže než nad městem. Zejména ranní mlhy zcela zabráňovaly přenosu signálu na dlouhou dobu.

Později byly ještě zahájeny práce na pulzně-kódové modulaci laserového svazku a na optickém přenosu s galium-arsenidovými (GaAs) elektroluminiscenčními diodami (LED), vysílajícími světlo v blízké infračervené oblasti kolem 850 nm, které byly vyvíjeny v ústavu. Cílem těchto prací bylo alespoň částečně zlepšit optický přenos atmosférou.

Výzkum optického sdělování volným laserovým svazkem se postupně opouštěl a v druhé polovině šedesátých let pak byl z rozhodnutí ředitele výzkum optického sdělování v ústavu ukončen. Jen několik málo let poté byla v USA vyvinuta optická vlákna z křemenného skla a ve světě nastal bouřlivý rozvoj optických komunikací s těmito vlákny.

M. Chomát, M. Miler



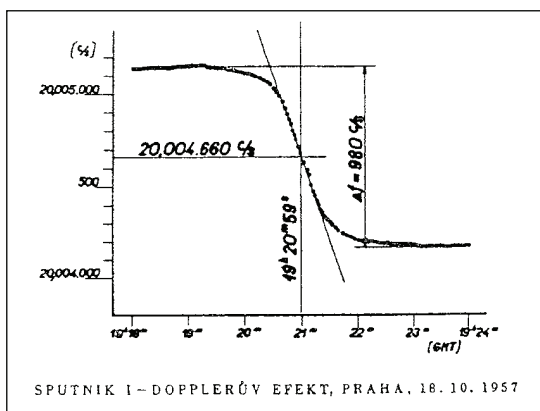
Obr. 1 „Rudá záře“ nad Prahou r. 1966
(kolorované foto z dobového tisku)

60 let světla v Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i.

V roce 1955 zahájil svou činnost Ústav teoretické radiotechniky Československé akademie věd, předchůdce dnešního Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky. V roce 2015, vyhlášeným UNESCO za Mezinárodní rok světla, si připomeňme výběr z některých milníků už 60 let historie vědeckého bádání v našem ústavu, zejména těch se vztahem k fotonice a světlu.

Založení **Ústavu fotoniky a elektroniky** Akademie věd České republiky (ÚFE AV ČR) je spjato s rozšiřováním Československé akademie věd (ČSAV), přímé pokračovatelky České akademie věd a umění, jejíž 125. výročí založení si letos připomínáme. Přípravné kroky k založení ústavu, tehdy s názvem **Ústav teoretické radiotechniky** (ÚTR), vedl v roce 1953 Sergej Djad'kov, přední osobnost československého elektronického výzkumu.

Oficiálním datem vzniku ústavu je 1. říjen 1954, kdy prezidium ČSAV přijalo rozhodnutí o zřízení Ústavu teoretické radiotechniky. Vlastní činnost byla zahájena 1. 1. 1955 a záhy došlo i k přejmenování na **Ústav radiotechniky a elektroniky** (ÚRE). Pod tímto názvem ústav působil v dlouhém období let 1955-2006. Prvním ředitelem ústavu byl jmenován **Sergej Djad'kov**. Spolu s ním přišla do ústavu skupinka odborníků z průmyslového výzkumu stabilních oscilátorů a statistických metod v radiotechnice. Dále se k ústavu připojila řada významných osobností z oblastí teorie obvodů, přesného měření času a šíření elektromagnetických vln. Již na počátku své činnosti, v roce 1957, ústav zaujal světovou pozornost úspěšným měřením Dopplerova jevu u první umělé družice Země, sovětského Sputniku. Tento úspěch však s největší pravděpodobností předznamenal i větší zájem a dohled bezpečnostních služeb.



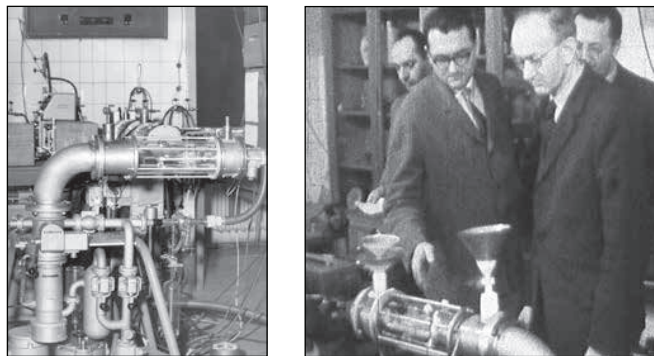
Obr. 1 Dopplerův efekt změřený na první umělé družici Země, Sputniku I

Velký úspěch slavil ústav na světové výstavě EXPO 1958 v Bruselu se samočinným počítačem na principu pravděpodobnosti a přístrojem pro rezonanční transformaci signálů. Oba exponáty byly oceněny zlatými medailemi. Na konci roku 1955 měl ústav 36 pracovníků (z toho 16 vědeckých), rok poté byly příslušné počty 71 (19) a v roce 1960 dokonce 180 (30). V roce 1959 odchod skupiny 11 pracovníků přispěl ke vzniku nového samostatného pracoviště, které vytvořilo základ **Ústavu teorie informace a automatizace** (ÚTIA) ČSAV.

Laserová fyzika a první kvantové generátory záření

Na začátku své činnosti neměl ústav vlastní budovu a jeho pracoviště byla na 14 různých místech v Praze, z nichž největší bylo v nové budově Geofyzikálního ústavu ČSAV na Spořilově. Záhy začala výstavba nové budovy v Kobylisích, kam se jednotlivá pracoviště soustředila v roce 1961.

Přesun do nové budovy bylo významným krokem pro rozvoj experimentálních výzkumných vybavení. Tak například mohlo dojít k umístění prvního etalonu pro přesná měření času a frekvence se stabilním krystalovým oscilátorem do teplotně stabilizované, 14 metrů hluboké šachty, vystavěné v nové budově. **Jiří Tolman**, vůdčí osobnost ve výzkumu generace a měření přesného času a kmitočtu, povzbudil několik spolupracovníků k zahájení výzkumu kvantové elektroniky s cílem vyvinout kvantový generátor mikrovlnného záření - maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). **Spuštění maseru na molekulách čpavku 26. března 1963 (první kvantový generátor záření v Československu) skupinou vedenou Viktorem Trkalem bylo přelomovou událostí v oboru kvantové elektroniky a laserové fyziky u nás.**



Obr. 2 Přelomovou událostí v oboru laserové fyziky a kvantové elektroniky u nás bylo spuštění maseru v březnu 1963 skupinou vedenou Viktorem Trkalem. Obrázek vpravo je z dobové televizní reportáže o prvním čs. kvantovém generátoru záření, zleva: Václav Tysl, Viktor Trkal, Jiří Tolman a Václav Zima

Brzy poté, začátkem května 1963, následovalo spuštění rubínového laseru **Janem Blablou**, pouhé tři roky po proslulém vynálezu laseru Theodora Maimana. Jan Blabla a jeho kolegové později sestavili několik plynových laserů: He-Ne (červen 1964), výkonový CO₂ (1966), N₂ (1966) a He-Cd (1970) laser. V roce 1964 byla v kobylišké budově ústavu provedena ve spolupráci s Fakultní nemocnicí na Bulovce **první laserová operace oční sítnice u nás**, podrobněji o tom pojednává zvláštní článek Jana Blably a Viktora Trkala v tomto čísle. V období od 30. 11. 1963 do 30. 5. 1964 uspořádaly společně Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (tehdy s názvem Fakulta technické a jaderné fyziky) ČVUT v Praze a náš ústav přednáškový kurz s názvem „Kvantová radiotechnika“. Tento **kurz lze považovat za první výukový program oboru laserové fyziky v tehdejší Československu. K jednotlivým přednáškám byla vydána obsáhlá skripta (celkem 744 stran), což byla vlastně první rozsáhlejší publikace o laserech v češtině.** Skripta a samotný kurz byly významným impulzem pro rozvoj zcela nové a revoluční technologie laserů v naší zemi.

V rámci oddělení kvantové elektroniky se etablovala skupina elektronové paramagnetické rezonance (EPR) soustředěná kolem tandemu **Zdeněk Šroubek** a **Karel Žďánský**. Skupina velmi rychle získala mezinárodní reputaci v oboru a oba hlavní představitelé postupně dostali pozvání na zahraniční univerzity. Z. Šroubek

odjel v roce 1967 na University of California at Los Angeles, UCLA (5letý pobyt), a K. Žďánský v roce 1969 na University of Canterbury (4letý pobyt).

Začátkem roku 1963 byl jmenován novým ředitelem ústavu **Václav Zima**. Provedl zásadní změny ve struktuře a vědeckém zaměření ústavu. Oddělení šíření elektromagnetických vln bylo převedeno do Geofyzikálního ústavu ČSAV a na druhou stranu do ústavu byla zahrnuta část bývalé laboratoře optiky ČSAV, zabývající se výzkumem materiálů pro infračervenou optiku. Jejím vedoucím byl vynikající odborník na infračervenou optiku **Antonín Vaško**. Později, v roce 1965, byla do ústavu převedena z Fyzikálního ústavu ČSAV skupina pro výzkum ferroelektrických monokrystalů a jejich aplikace v elektronice pod vedením **Zdeňka Mála**. V souladu se světovým pokrokem na poli mikroelektroniky, optoelektroniky a kvantové elektroniky se značná část kapacity ústavu soustředila na výzkum orientovaný na technologii polovodičů, optické komunikace a fyziku.

Analýza a syntéza řeči

Teorie obvodů byla součástí výzkumného zaměření ústavu od dob jeho založení. Na počátku se jednalo o výzkum teorie kaskády dvoubranů, teorie elektrických filtrů a teorie nelineárních obvodů a oscilátorů. Později byl výzkum koncentrován na diskrétní a digitální zpracování signálu, zvláště na digitální filtry, diskrétní Fourierovu transformaci a spektrální a keprální analýzu. Od roku 1981 zde rozvíjeli výzkum analýzy řeči, jejího kódování a syntézy. Významnou osobností tohoto výzkumného programu byl **Robert Vích**. Spolupracovala s ústavem jazyka českého filozofické fakulty Univerzity Karlovy, s Ústavem teorie informace a automatizace ČSAV a řadou průmyslových pracovišť. V roce 1987 byla těmto výzkumným týmům udělena cena Československé akademie věd za jejich příspěvek k výzkumu kódování řeči.

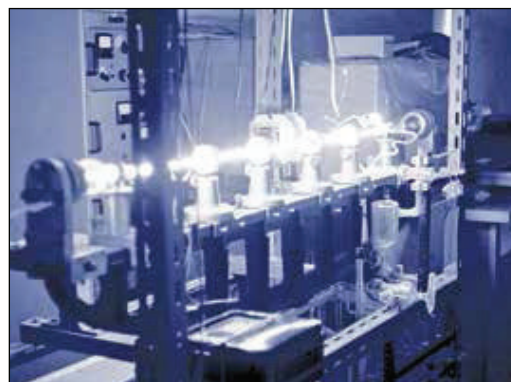
Měření přesného času a frekvence

Úsilí věnované přesnému času a frekvenci přineslo světově uznávané a využívané výsledky. Především **metoda časového transferu s pomocí synchronizačních impulsů televizního vysílání, kterou navrhnul Jiří Tolman, byla celosvětově používána až do relativně nedávné doby. V devadesátých letech postupně přebíraly její funkci systémy GPS (Global Positioning System).**

Věnceslav František Kroupa, který z počátku spolupracoval s Jiřím Tolmanem při výstavbě československého centra přesného času a frekvence, se později orientoval na frekvenční syntézu a dosáhl mezinárodního věhlasu. Jeho kniha „Frequency Synthesis: Fundamentals and Measurements“, vydaná v roce 1973, byla první knihou vydanou na toto téma ve světě. Za svůj vědecký přínos byl v roce 2003 oceněn medailí Ernsta Macha udílenou Akademií věd za mimořádné zásluhy ve fyzikálních vědách.



Obr. 3 CO₂ laser o výkonu 200 W pojmenovaný Barnabáš (60. léta XX. století)



Obr. 4 Kadmiový laser generující modré koherentní záření na vlnové délce 441,6 nm (1970)

Optoelektronika a SIMS

Od poloviny šedesátých let se v ústavu rozvíjel obor optoelektroniky. Oddělení, které se věnovalo přípravě a studiu polovodičových vrstev typu A3B5 bylo vytvořeno v roce 1967 oddělením skupiny EPR z oddělení kvantové elektroniky a v jeho čele stanul Karel Žďánský. Oddělení bylo doplněno laboratoří epitaxní technologie polovodičových vrstev, kterou vedl **Dušan Nohavica**.

Výzkum fyzikálních vlastností polovodičových vrstev, struktur a různých typů elektroluminiscenčních prvků byl prováděn od roku 1967 do konce osmdesátých let. Současně s rozmachem epitaxních technologií byly rozvíjeny také diagnostické metody pro studium elektrických, transportních a optických vlastností polovodičových vrstev a struktur. Mezi nejdůležitější patří fotoluminiscenční (FL) a elektroluminiscenční (EL) spektroskopie, transientní kapacitní spektroskopie hlubokých hladin (DLTS) a teplotně závislá Hallova měření.

Na bázi GaP byly záhy připraveny EL diody emitující v červené a zelené části spektra s nejlepšími parametry v rámci tehdejšího východního bloku. GaP byl připravován pomocí epitaxního růstu z plynné fáze a současně byla vyvíjena epitaxní aparatura pro přípravu heterostruktur z kapalné fáze. Za zmínku stojí fakt, že se D. Nohavici podařilo na začátku 80. let připravit kvalitní vrstvy GaN. Z rozhodnutí vedení ústavu však nebylo možné v přípravě GaN vrstev pokračovat. V roce 1979 byla pozornost přesunuta na polovodičové zdroje záření pro optické komunikace. Aktivita byla soustředěna do dvou směrů: v prvním šlo o AlGaAs/GaAs systém pro 0,8 μm telekomunikační okno a ve druhém o InGaAsP/InP systém pro provoz v okně 1,3- 1,55 μm . Příchodem **Jana Novotného** došlo k posílení technologie a jeho skupina se věnovala přípravě AlGaAs /GaAs struktur. V roce 1981 bylo dosaženo kontinuální emise záření na vlnové délce 0,8 μm při pokojové teplotě v AlGaAs/GaAs laseru s dvojitou heterostrukturou. Na vlnové délce v pásmu 1,3 μm se tak stalo v roce 1988 a rok poté v pásmu 1,55 μm . Ústav byl v té době jedním z nemnoha pracovišť ve světě, kde se prováděl výzkum, návrh a příprava polovodičových EL prvků a numerických displejů. Původní návrh GaAs displeje, navíc v kontextu s nastupující digitální technikou, vzbudil značný mezinárodní ohlas.

Velmi významnou metodikou rozvíjenou v ústavu od roku 1974 je hmotnostní spektrometrie sekundárních iontů (SIMS - Secondary Ion Mass Spectroscopy). Zvláštního mezinárodního uznání dosáhl Zdeněk Šroubek svým příspěvkem k porozumění procesů přenosu elektrického náboje při dynamické interakci iontů s povrchem pevné látky.

Holografie

V oblasti koherentní optiky bylo vyvinuto několik specifických metod pro výzkum deformací a mechanických vibrací různých objektů, příp. popis jejich tvarů s použitím holografické topografie. Holografické difrakční mřížky, jako výhodná alternativa mechanicky rytých mřížek, byly vyráběny a dodávány pro speciální optická zařízení v průmyslu. Byla učiněna řada originálních příspěvků

k teorii holografického zobrazování, světové prvenství má např. myšlenka fokusujících vázaných mřížek. Více o holografii pojednává článek **Miroslava Milera** v tomto čísle.

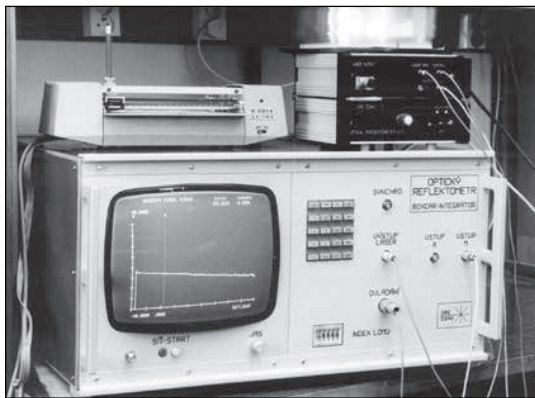
Optické komunikace

Na konci 70. let byla v souladu se světovými trendy pozornost ústavu zaměřena na teoretický a experimentální výzkum v optických komunikacích. V roce 1979 byla oblast materiálového výzkumu svěřena Společné laboratoři silikátů ČSAV a VŠCHT (od r. 1987 Ústav skelných a keramických materiálů ČSAV) a spojené úsilí obou ústavů vyústilo v ucelenou metodickou a technologickou základnu pro optické komunikace v Československu. To zahrnovalo např. fyzikální modely pro řízení přípravy gradientních optických vláken, vývoj a výrobu prototypů unikátních zařízení pro měření průměru vlákna při tažení a pro automatickou kontrolu procesu tažení vlákna. Tyto výsledky byly podloženy rozsáhlým teoretickým a experimentálním výzkumem šíření světla ve vláknech (jak pro komunikace, tak pro senzorové aplikace), výzkumem technologie vláknových komponent a metod pro charakterizaci optických vláken. Do průmyslu, tehdejší VÚSU Teplice, byla zavedena technologie přípravy vláken typu PCS (Polymer-Clad-Silica) a gradientních vláken. Zvláštní pozornost byla věnována výzkumu polarizaci zachovávajících vláken s napěťovými prvky.

V roce 1977 byl zahájen vývoj integrované optiky, tj. výzkum nejruznějších vlnovodných prvků pro dělení, slučování, řízení a zpracování optických signálů. Pod vedením **Jiřího Čtyrského** byla systematicky rozvíjena teoretická analýza šíření světla v izotropních i anizotropních planárních a kanálových vlnovodech a elektrooptické a akustooptické interakce v těchto vlnovodech. Na přípravě experimentálních vzorků ústav úzce spolupracoval s technologickou skupinou v tehdejší Vědecké ústavu pro sdělovací techniku A.S. Popova vedenou Josefem Schröfelem a skupinami Jarmily Špirkové-Hradilové a Ivana Hüttela na VŠCHT.

Návrat demokracie (období 1989 – 2012)

Pád totalitního režimu a návrat demokracie do naší země v roce 1989 nastartoval řadu pozitivních změn v Akademii věd a jejích ústavech. Již v roce 1990, na samém začátku nové éry, byla zvolena vědecká rada ústavu, orgán, který se aktivně podílí na řízení ústavu. Ředitelem byl zvolen a poté jmenován **Viktor Trkal**. Otevření se světu s sebou přineslo rozšíření mezinárodní vědecké spolupráce s technologicky nejrozvinutějšími státy a z toho plynoucí obohacení vlastní vědecké práce. Svobodné badatelské prostředí podpořila nově zaváděná cílená podpora výzkumu formou vědeckých grantů. Na druhou stranu náš ústav byl silně orientován na spolupráci s průmyslem a transfer výsledků výzkumu do praxe, a proto ho více než jiné ústavy Akademie věd postihl útlum průmyslové výroby v některých odvětvích. V průběhu let 1990 – 1992 bylo třeba přehodnotit práci všech ústavů ČSAV a zabezpečit jejich činnost po rozdělení republiky přijetím zákona o Akademii věd ČR.



Obr. 5 Optický reflektometr pro měření útlumu optických vláken vyvinutý v 80. letech XX. století pro telekomunikace

Transformace Akademie věd zahrnovala i redukcí pracovišť a počtu zaměstnanců. Náš ústav prošel v roce 1992 hodnocením úspěšně, ale, podobně jako ostatní ústavy, musel snížit počet zaměstnanců, a to o jednu třetinu na 128 pracovníků. Od té doby prochází ústav náročným mezinárodním hodnocením pravidelně. V té době se k ústavu připojila i skupina technologie optických vláken, vyčleněná v roce 1979 do samostatného pracoviště. V roce 1994 se stal ředitelem **Jan Šimša** a po jeho dvou funkčních obdobích byl v roce 2002 ředitelem jmenován **Vlastimil Matějčec** a od roku 2012 je ředitelem **Jiří Homola**. Význam výzkumu v oblastech fotoniky a optoelektroniky v našem ústavu se promítl i do změny jeho názvu. Současně se změnou právní formy pracoviště na veřejnou výzkumnou instituci se s platností od 1. ledna 2007 změnil jeho název na Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i. Aktuální výzkumný program týmů ÚFE stručně uvedl ředitel ústavu v úvodním slově. Vybrané výsledky výzkumu z poslední doby tvoří další obsah tohoto čísla JMO. Na závěr zmíníme aktivity ústavu, které se nově objevily nebo se zvláště výrazně rozvinuly v období 1989-2012.

Optické biosenzory založené na rezonanci povrchových plazmonů

Začátkem devadesátých let byl zahájen výzkum senzorů na principu rezonanční excitace povrchových plazmonů (SPR - surface plasmon resonance). První SPR senzor vyvinutý v ústavu v roce 1992 byl založen na měření útlumu úplného odrazu a úhlovém skenování. Brzy poté byl navržen optický vláknový SPR senzor, jehož další zlepšování vyústilo v nejmenší dosud na světě vyvinutý SPR vláknový senzor. Dále byly zkoumány SPR senzory založené na integrované optické vlnovodech. Byly demonstrovány integrované optické SPR senzory založené na vlnovodech připravených iontovou výměnou a spektrálním vyhodnocování. Na konci devadesátých let byl studován jev rezonance povrchového plazmonu na difrakčních mřížkách. Tyto studie iniciovaly nový výzkumný program zacílený na vícekanálové SPR senzory s použitím difrakčních mřížek. V roce 2002 tento program vyústil v unikátní vícekanálový SPR senzor založený na spektroskopii povrchových plazmonů na matici difrakčních mřížek, první SPR senzorová platforma schopná provádět přes 100 měření současně. Ve spolupráci s vědci z Ústavu makromolekulární chemie AV ČR v Praze a z University of Washington v Seattlu (USA), byla výzkumníky v našem ústavu tato unikátní SPR senzorová platforma využita k detekci a identifikaci chemických a biologických látek důležité pro ochranu životního prostředí (pesticidy), lékařskou diagnostiku (hormony, protilátky), potravinářství (kontrola jakosti potravin, detekce škodlivin) a vojenství (detekce otravných látek).

Charakterizace a příprava nanomateriálů

Pro moderní charakterizaci polovodičových vrstev, povrchů a struktur, jakož i skelných materiálů bylo rozvíjeno několik diagnostických metod. Mezi nejvýznamnější lze uvést úpravu v laboratoři elektrických měření K. Žďánského umožňující komplexní charakterizaci transportních vlastností polovodičových struktur pomocí DLTS a admitanční spektroskopie spolu s měřením I-V a C-V charakteristik v teplotním rozsahu 77-430 K a hallovská měření v teplotním rozsahu 10-430 K. Skupině vedené **Jarmilou Walachovou** se podařilo vybudovat, jako jediné v ČR, laboratoř Ballistic electron emission spectroscopy and microscopy BEEM/BEES, vhodnou pro studium polovodičových nanostruktur. S příchodem Petara Gladkova v roce 1995 byla přestavěna a doplněna laboratoř nízkoteplotní FL spektroskopie, která tak získala světové parametry. FL spektrometr nyní umožňuje provádět citlivá měření s vysokým rozlišením v širokém teplotním (4-300 K) a spektrálním (300-9000 nm) rozsahu. Podrobněji o využití nízkoteplotní FL pro studium polovodičů pojednává článek **Petara Gladkova a Jiřího Zavadila** v tomto čísle. Možnosti charakterizace byly dále vylepšeny instalací skenovacího elektronového mikroskopu s EDX systémem, který byl nedávno doplněn v ústavu navrženou a sestavenou katodovou luminiscencí. Za účelem rozšíření diagnostických

možností aparatury SIMS byl vyvinut hmotový průletový spektrometr. Studium nanostruktur a velmi tenkých vrstev vybraných polovodičů bylo prováděno s pomocí balistické, emisní elektronové mikroskopie a spektroskopie, včetně v ústavu vyvinutého skenovacího tunelovacího mikroskopu. Byla vyvinuta metodika přípravy vysoce kvalitních Schottkyho kontaktů na různých polovodičových materiálech (InP, GaN, ZnO, struktura se ZnO nanotyčkami) pomocí elektroforetické depozice kovových nanočástic z koloidních roztoků nebo s využitím depozice koloidního grafitu. Bylo ukázáno, že Schottkyho kontakty, připravené s využitím koloidního grafitu a dekorované nanočásticemi Pd nebo Pt, lze využít jako vysoce citlivé senzory vodíku s rychlou odezvou. Vynikající experimentální fyzik **Petar Gladkov** využil svých znalostí rovněž pro aplikovaný výzkum. V rámci evropského projektu Brightlight (2007-9) vyvinul originální metodu pólování nelineárních krystalů pro generaci druhé harmonické frekvence, využívané ve výkonných zdrojích záření v zelené oblasti viditelného spektra.

Vláknová optika pro senzory a vláknové zesilovače a lasery

V roce 1993 byla k ústavu připojena laboratoř technologie optických vláken, která byla dříve součástí Ústavu chemie skelných a keramických materiálů. Toto rozhodnutí posílilo výzkum ústavu na poli optických vláken, neboť program laboratoře je soustředěn na materiálový výzkum speciálních optických vláken pro vláknové lasery a zesilovače a pro optické vláknové senzory. Tým **Miroslava Chomáta** vyvinul optický vláknový gyroskop včetně potřebných optických vláknových komponent. Po ukončení vývoje gyroskopu se výzkum orientoval na chemické senzory s evanescentní vlnou. Pro tyto senzory byly připravovány nové typy optických vláken, jako jsou sektorová vlákna a mikrostrukturální vlákna, ve kterých se nachází jádro optického vlákna blízko detekované látky. Na výzkumu speciálních optických vláken pro chemické senzory se významně a dlouhodobě podíleli **Vlastimil Matějec** a **Ivan Kašík**.

První funkční erbiem dopované vlákno pro zesilovače EDFA (erbium-doped fiber amplifier) bylo v laboratoři technologie optických vláken připraveno již v roce 1990 a záhy jej **Jiří Kaňka** úspěšně otestoval v pulzních vláknových laserech. Sestavili jsme zařízení pro zápis vláknových mřížek s dlouhou periodou. Ve výzkumu využití těchto vláknových mřížek v oblasti senzorů, telekomunikací a vláknových laserů jsme dosáhli řady unikátních výsledků. Projektový tým vedený **Radanem Slavíkem** získal za výzkum vláknových mřížek s dlouhou periodou zvláštní čestné uznání předsedy GAČR v roce 2010. Byly navrženy nové metody přípravy dvoujádrových vláken a dvouplášťových vláken dopovaných prvky vzácných zemin pro vláknové lasery a zesilovače. V roce 2007 **Ivan Kašík** s kolegy jako první publikoval experimentální práci o metodě dopování jádra optického vlákna keramickými nanočásticemi. Významných výsledků jsme dosáhli v oblasti základního výzkumu nestabilit vláknových laserů a módově synchronizovaných pulzních režimů. Pod vedením **Miroslava Karáska** byly vyvíjeny softwarové nástroje pro teoretickou analýzu a návrh vláknových zesilovačů dopovaných prvky vzácných zemin (erbiem, erbiem-iterbiem, praseodymem) a ramanovských vláknových zesilovačů. Tyto programy byly rovněž integrovány do komerčního návrhového software kanadskou firmou Optiwave Inc. Od začátku milénia se rozvíjela intenzivní spolupráce se sdružením CESNET, poskytovatelem internetu českým vysokým školám a akademickým pracovištím, při které jsme měli možnost aplikovat nejnovější poznatky výzkumu vláknových zesilovačů v praxi. Tým **Miroslava Karáska** byl za tuto práci oceněn v roce 2007 cenou ministra školství za výzkum. Vyvinutý EDFA byl průmyslově vyráběn ve firmě Optokon a řada dalších technických řešení a vynálezu je patentově chráněna, včetně amerického patentu.

Numerické modelování optických vlnodů

Teoretické ani experimentální studium vlnodů struktur integrované optiky se neobejde bez kvalitních nástrojů pro jejich numerické modelování. Proto byla této problematice od počátku



Obr. 6 Miroslav Karásek na konferenci Optical Fiber Communications v Anaheimu, USA v roce 2007. Tentýž rok převzal spolu s kolegy ze sdružení CESNET cenu Ministra školství za výzkum vláknových zesilovačů



Obr. 7 RNDr. Hana Lísalová Vaisocherová, Ph.D., získala prestižní stipendium firmy L'Oréal pro ženy ve vědě za rok 2011 za projekt "Trap Shuts in a Few Minutes"

věnována velká pozornost. Kromě relativně jednoduchých nástrojů pro výpočet konstant šíření a rozložení optických polí vedených vidů v různých typech vlnodů struktur byly postupně vyvíjeny metody a jim odpovídající softwarové nástroje pro výpočet rozložení optického záření ve složitějších vlnodů strukturách – pasivních děličích výkonu, elektrooptických modulátorů a přepínačů, ale i ve vlnodů polarizačních filtrech využívajících povrchové plazmony. **Jiří Čtyroký** se intenzivně zapojil do výzkumu této problematiky v mezinárodním měřítku zejména v rámci akcí COST 240, COST 268 a později i v rámci evropských projektů PCIC a NAIS. Není bez zajímavosti, že původně exotická vlnodů struktura tvořená dvojicí vzájemně vázaných vlnodů, z nichž jeden je ztrátový a druhý vykazuje zesílení, která byla navržena jako náročný test stability a přesnosti numerických metod, se o několik let později dočkala značné pozornosti teoretických fyziků jako modelová struktura pro kvantové mechanické systémy, na níž je možno optickými metodami studovat procesy vedoucí k narušení symetrie čas/parita. Systematický vývoj modelovacích metod vyústil v nástroj pro efektivní plně vektorové modelování chování i poměrně rozlehlych trojrozměrných vlnodů struktur, které umožňují efektivně analyzovat i subvlnově segmentované vlnodů struktury. Pro další podrobnosti odkazujeme čtenáře na samostatný článek o integrované optice v tomto čísle.

Uvedený přehled výzkumných aktivit dokládá, že ÚFE bylo a je schopné dosahovat špičkových vědeckých výsledků v mezinárodním srovnání. Mnoho důležitých aktivit nebylo zmíněno, zejména bohatá pedagogická činnost a výchova nových výzkumných pracovníků: doktorské práce v ÚFE vypracovávají postgraduální studenti řady fakult vysokých škol včetně Univerzity Karlovy, Univerzity Palackého v Olomouci, ČVUT a VŠCHT v Praze. Důležitou činností je pravidelné organizování a spoluorganizování významných odborných konferencí a kongresů, dva příklady z dubna 2015 jsou uvedeny v tomto čísle. V národním měřítku je oceňována role ÚFE v komunikaci vědy veřejnosti a průmyslu. Jedná se o popularizaci vědy odborné i široké veřejnosti a transfer výsledků výzkumu do praxe. V Mezinárodním roce světla 2015 přejeme ústavu ještě hodně „světelných let“ úspěšného výzkumu!

Pavel Peterka a Jiří Zavadil

Poděkování: V článku byly použity obrázky a údaje ze speciálního dvojčísla Československého časopisu pro fyziku (č. 4-5, svazek 60, rok 2010, články Jana Blably, Viktora Trkala, Miroslava Milera, Pavla Peterky, Pavla Honzátky a Miroslava Karáska) věnovaného 50. výročí prvního laseru a dále z časopisu Jemná mechanika a optika, čísla 4 z roku 2010, které bylo věnované výzkumu vláknové optiky v ÚFE u příležitosti udělení Nobelovy ceny Ch. K. Kaovi za výzkum optických vláken.

Symposium SPIE Optics + Optoelectronics zaznamenalo rekordní zájem

Letošní sympozium a výstava Optics + Optoelectronics mezinárodní společnosti pro optiku a fotoniku SPIE bylo největší za dobu 10 let svého trvání a přilákalo více než 700 účastníků z celého světa. Šíře představených technologií a množství výrazných osobností poskytly účastníkům vynikající zážitek a napomohly jejich vzájemné interakci a propojování i napříč obory. Setkání v pražských Vysočanech 13.-16. dubna bylo jednou z nejvýznamnějších událostí v optice a fotonice v České republice v Mezinárodním roce světla 2015.

Podpora České republiky fotonickým technologiím

Při zahájení setkání uvítal účastníky místopředseda Akademie věd České republiky Dr. Jan Šafanda, který řekl: „Rád bych vyjádřil svou vděčnost organizátorům, že tak velké a reprezentativní vědecké shromáždění svolali do Prahy a že mezi jeho předsedajícími a členy řídicího výboru jsou také vynikající vědci ze dvou ústavů Akademie věd, a to z Ústavu fotoniky a elektroniky a Fyzikálního ústavu. Při pohledu na seznam témat diskutovaných v průběhu sympozia jsem si uvědomil, jak velký potenciál uplatnění tento vědní obor má. Akademie věd České republiky silně podporuje výzkum v této oblasti fyziky. Jak asi víte, dvě velká laserová výzkumná centra jsou postavena v blízkosti Prahy v Dolních Břežanech pod vedením Fyzikálního ústavu. Jedním z center je HiLASE, což je zkratka pro pulzní lasery s vysokým průměrným výkonem, a druhým je Extreme Light Infrastructure nebo-li ELI Beamlines. Všichni věříme, že obě zařízení budou patřit mezi přední evropská vědecká centra, která přilákají špičkové vědce a poskytnou jim vynikající podmínky pro špičkový výzkum.“

Interdisciplinární přístup k výzkumu a aplikacím světla

Sympozium SPIE Optics + Optoelectronics se od roku 2007 koná tradičně každý druhý rok v Praze a střídá se tak s rovněž obročním sympoziem SPIE Photonics Europe v Bruselu. Pražské sympozium zahrnovalo na 16 technických konferencí a workshop Laser Energy, zaměřený na výzkum laserové inerciální fúze. Účastníci a přednášející přijeli ze zemí celé Evropy, z Ruska, Číny, USA, Japonska a Koreje. Vzájemně komplementární témata podporovala synergický efekt mezi jednotlivými konferencemi. Důležitější konference byly zaměřeny na laserové urychlovače částic a jejich medicínské aplikace, optické senzory, speciální optická vlákna, technologie laserů s vysokými energiemi a intenzitami pulzů, integrovanou optiku, holografii, optické metamateriály, kvantově optický přenos informací a další témata. Na setkání mělo zastoupení několik velkých mezinárodních projektů a sympozium se tak stalo důležitým místem, kde výzkumní pracovníci, zástupci vládních agentur pro financování výzkumu, či provozovatelé výzkumných infrastruktur mohli společně diskutovat současný stav, úspěchy a nové výzvy.

Inspirace výjimečnými osobnostmi fotoniky

Velkým lákadlem pro účastníky byly plenární přednášky. Peter Moulton, vynálezce titan-safírového přeladitelného laseru, který přinesl v osmdesátých letech revoluční změny oboru laserů s ultrakrátkými pulzy, srovnával tři hlavní přístupy optických zesilovačů s ultravysokým špičkovým výkonem pulzů: zesilovačů založených na objemových elementech, na parametrickém zesílení čerpovaného impulzu a vláknových zesilovačích. Cenný byl jeho pohled praktického experimentátora, který si uvědomuje závažnost fyzikálních a inženýrských problémů, které s sebou přináší realizace zařízení s extrémním špičkovým výkonem pulzů. Zaplněný sál vyslechl i přednášky Ference Krausz z Institutu kvantové optiky

Maxe Plancka z Mnichova o možnostech pozorování procesů v atomech a molekulách pomocí attosekundových laserů a Andrea Melloniho z Milánské Polytechniky o integrovaných fotonických obvodech. Sang-Hyun Oh z Univerzity v Minnesotě přednesl plenární přednášku o kovových nanostrukturách pro plazmoniku a optoelektroniku.



Předseda sympozia, prof. Jiří Homola (ÚFE), Peter Moulton (Q-Peak) a výkonný ředitel SPIE Eugene Arthurs.
© SPIE, the international society for optics and photonics

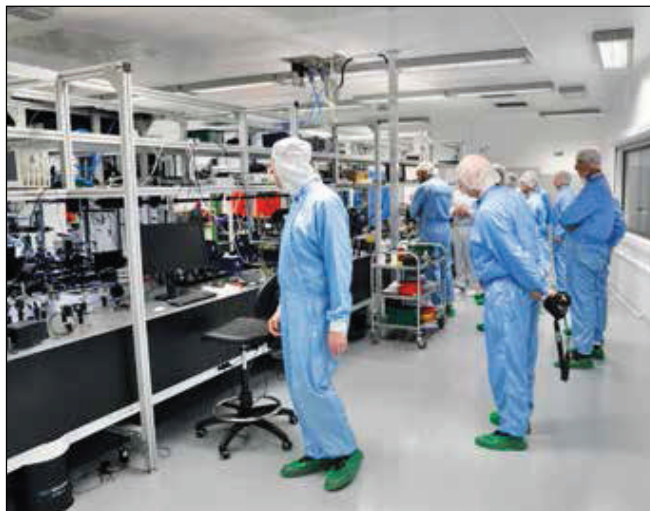


Robert Lieberman, nově zvolený prezident SPIE, shlédl přípravu speciálních optických vláken na exkurzi v týmu Vláknových laserů a nelineární optiky ÚFE

Živé diskuze probíhaly během posterové sekce a na dvoudenní výstavě, kde téměř 30 výrobců a dodavatelů předvádělo optické přístroje, zařízení a komponenty pro průmyslové a výzkumné aplikace. Zajímavostí ze symposia by bylo možné napsat mnohem více, než kolik poskytuje zde vymezený prostor. Podrobnější zprávu přinese v blízké budoucnosti Československý časopis pro fyziku a podrobné a čtivé reportáže lze rovněž nalézt přímo na stránkách společnosti SPIE www.spie.org/oo.



Zaplňený konferenční sál při plenárních přednáškách.
© SPIE, the international society for optics and photonics



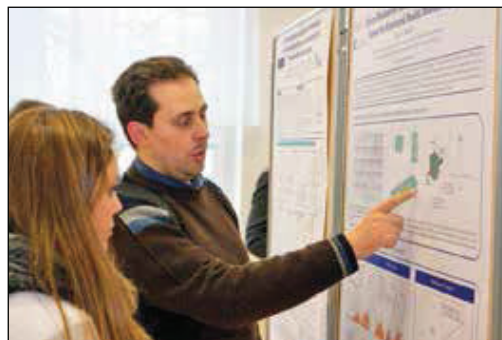
Návštěva čistých laboratoří laserového centra HiLASE.
© SPIE, the international society for optics and photonics

Elita v oboru polovodičových materiálů a optiky pro střední infračervenou spektrální oblast se sešla v Praze

Ústav fotoniky a elektroniky (ÚFE) pořádal ve spolupráci s evropskou akcí COST MP1204 dvě mezinárodní konference: 6th International Conference on Semiconductor Mid-IR Materials and Optics (SMO2015) a 3rd Annual Conference of COST Action MP1204. Události byly součástí akce Mezinárodního roku světla 2015 a konaly se v budově ÚFE ve dnech 8.-11. dubna 2015.

Účastníci přijeli především z Evropy, ale i Severní Ameriky a Blízkého východu, celkem z 28 zemí. Součástí obou konferencí bylo celkem 41 přednášek, z toho 12 zvaných. Mezi zvanými přednášejícími byli: Prof. Roberto Morandotti (INRS, Kanada), Dr. Anna Sitek (University of Iceland, Island), Dr. Hynek Němec a Dr. Christelle Kadlec (FZÚ AV ČR), Prof. Gaetano Scamarcio (Università Degli Studi Di Bari, Itálie) a další.

Vedle přednášek proběhla první den posterová sekce, kde bylo prezentováno celkem 21 prací. Zájem odborné veřejnosti o pořádané konference byl značný – průměrná denní účast dosahovala



Konference zahájil Dr. Pavel Honzátka, spolupředsedající obou konferencí a člen řídicího výboru evropské akce COST MP1204 Tera-MIR

70 posluchačů. Zaměření konferencí bylo na témata spojená s realizací zdrojů či detektorů záření ve střední infračervené spektrální oblasti a jejich použití pro environmentální monitoring, medicínskou diagnostiku nebo bezpečnostní aplikace.

Sborník abstraktů je kromě knižní podoby (ISBN: 978-80-86269-23-8) dostupný také online na konferenčním webu (www.ufe.cz/smmo2015). Vybrané příspěvky budou publikovány ve zvláštním čísle časopisu **Optical and Quantum Electronics**.

Filip Todorov a Petra Nováčková

Úvodní slovo ředitele Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i. (J. Homola).....155

Detekce chemických a biologických látek pomocí biosenzorů s povrchovými plazmony

(H. Lísalová Vaisocherová, M. Vala, J. Homola).....158
V této práci jsou popsány a zhodnoceny vybrané vědecké poznatky dosažené v posledních letech v Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i. v oboru výzkumu optických biosenzorů s povrchovými plazmony. Uvedené poznatky konkrétně demonstrierují dosažený pokrok jak v oblastech instrumentace biosenzorů, tak i imobilizačních technik a aplikací vyvíjených biosenzorů pro detekci vybraných chemických a biologických látek.

Klíčová slova: optický biosenzor, povrchový plasmon, SPR, functionalizace, biodetekce

Vliv hustoty pokrytí kovových nanočástic na výkonnost SERS-aktivních optických vláken (J. Kaňka).....161

Numericko-analytický model byl vyvinut pro vyšetření vlivu hustoty pokrytí kovových nanočástic na souhrn Ramanova zesílení a útlumu vedeného vidu v SERS-aktivních optických vláknech. Tento model byl aplikován na dva odlišné typy SERS-aktivních vláken: na jednovidové fotonické krystalové vlákno typu „suspended-core“ se stříbrnými nanočásticemi immobilizovaných na stěnách plášťových kanálů a na mnohovidové bezplášťové safírové vlákno se stříbrnými nanočásticemi na jeho válcovém povrchu. Předpovězené křivky Ramanovy intenzity jako funkce hustoty pokrytí nanočástic, délky vlákna pokryté nanočásticemi a excitovaných vidů jsou v dobré shodě s publikovanými experimentálními výsledky pro uvedené kontrastní typy SERS-aktivních vláken.

Klíčová slova: optické vláknové senzory, povrchově zesílený Ramanův rozptyl, spektroskopie, Raman

Generace záření ve střední infračervené oblasti v nelineárních krystalech s použitím vláknových laserů

(Y. Baravets, P. Honzátko, F. Todorov, P. Gladkov).....164
Vyvinuli jsme úzkopásmový kontinuální mid-IR generátor založený na generaci rozdílové frekvence (DFG) v periodicky pólovaných (PP) krystalech KTA a KTP. Krystaly jsou využity k směšování svazků od vysokovýkonných vláknových laserových systémů pracujících ve spektrálních pásmech 1060 nm a 1550 nm. Ve zdroji založeném na krystalu PPKTA bylo dosaženo přeladitelnosti v rozsahu 3100 nm – 3620 nm. V ústavu byl postaven prototyp zařízení.

Teorie a modelování vlnovodných fotonických struktur

(J. Čtyroky)166
Numerické modelování je nepostradatelnou součástí teorie a návrhu jakékoli vlnovodné fotonické struktury a součástky. Pomáhá nejen ušetřit čas i peníze náhradou nákladné a časově náročné přípravy metodou pokusů a omylů numerickými simulacemi, ale také – a to zejména – významně přispívá k opravdovému porozumění fyzikálním jevům, na nichž je funkce těchto struktur či součástek založena. Tento obor je v Ústavu fotoniky a elektroniky AVČR systematicky rozvíjen již víc než tři desetiletí. Po několika příkladech nejvýznamnějších výsledků jsou v tomto příspěvku stručně popsány základy nedávno vyvinuté fourierovské modální metody pro modelování trojrozměrných fotonických struktur a jsou uvedeny některé výsledky její aplikace na křemíkové subvlnové mřížkové vlnovodné struktury.

Klíčová slova: integrovaná optika, optická vlnovodná teorie, plasmonika, nanofotonika

Aktivní vlákna dopovaná nanočásticemi (J. Mrázek, I. Kašík, O. Podrazký, J. Aubrecht, J. Cajzl, J. Probošťová, P. Peterka)....170

Článek popisuje vybrané činnosti Ústavu fotoniky a elektroniky, v.v.i. v oblasti přípravy aktivních vláken dopovaných nanočásticemi. Nanočásticemi dopovaná vlákna byla připravena metodou “in-situ”, která spočívá v řízené krystalizaci dopantů v průběhu tepelného zpracování vláken. Druhá metoda “off-line” spočívala v dopování vláken již připravenými nanokrystaly. Optická vlákna připravená metodou “off-line” vykazovala nižší základní útlum. V případě, kdy byly do vlákna naneseny “off-line” připravené nanokrystaly aluminu dopované thuliem bylo pozorováno prodloužení luminescence na hodnotu 674 ms, což je o 30 % více než u srovnatelného vlákna, u kterého byly nanokrystaly vytvořeny metodou “in-situ”, tedy řízenou krystalizací dopantů. Vybrané optické vlákno dopované erbiem bylo testováno jako aktivní prostředí v kruhovém vláknovém laseru.

Klíčová slova: nanočástice, optické vlákno, luminescence, vláknový laser

Thuliem dopovaná vlákna a optické vláknové součástky pro vláknové lasery na vlnových délkách v okolí 2 μm (P. Peterka, P. Honzátko, I. Kašík, O. Podrazký, F. Todorov, J. Cajzl, P. Koška, Y. Baravets, J. Aubrecht, J. Mrázek).....174

Vláknové lasery patří mezi nejmladší a nejrychleji se rozvíjející typy laserů. Zlatá éra vláknových laserů začala teprve na začátku nového tisíciletí a navazuje na úspěch vláknových zesilovačů v telekomunikacích v devadesátých letech. Ytterbiem dopované vláknové lasery na vlnových délkách v okolí 1 μm jsou v současnosti vůbec nejvýkonnějšími dostupnými lasery, dosahují až 100kW průměrného výstupního výkonu. Vláknové lasery na 2 μm založené na thuliem dopovaných optických vláknech získávají nyní na významu díky menšímu riziku poškození zraku, menším omezením kvůli nelinearitám, vysoké účinnosti dosahující až 70 % a efektivnějšímu opracovávání některých materiálů, např. plastů. V příspěvku shrnujeme některé naše nedávné výsledky v oblasti výzkumu nových typů materiálů pro zlepšení fluorescenčních vlastností thuliem dopovaných vláken, nových typů vláknových optických součástek a jejich použití v monolitickém vláknovém laseru. Popisujeme rovněž výsledky výzkumu koherentního kombinování thuliem dopovaných vláknových laserů.

Klíčová slova: vláknové lasery, thulium, holmium, čerpání přes plášť (cladding pumping)

Vláknově optický senzor pH pro in-vivo měření v mikroskopických biologických vzorcích

(O. Podrazký, J. Mrázek, T. Martan, S. Vytykáčová, J. Probošťová, I. Kašík, D. Sedmera, K. Hoyerová).....178
Optické vláknové senzory mohou přinést řadu výhod při využití v oblastech biologie, medicíny či v ochraně životního prostředí. Vyznačují se malými rozměry a odolností vůči elektromagnetickému poli, přičemž nežádoucí ovlivnění měřených vzorků je u nich též velmi omezeno. Jedním z důležitých parametrů sledovaných u biologických systémů je kyselost prostředí, vyjádřená jako pH. Článek popisuje vývoj optického pH -senzoru využívajícího zúžené vláknové sondy. Princip měření je založen na sledování emise fluorescence sodné soli kyseliny hydroxypyren-1,3,6-pyrentrisulfonové (pyranin) při excitaci dvěma odlišnými vlnovými délkami (405 nm a 450 nm). Senzor vykazoval citlivost na pH v rozsahu od 5,5 do 7,5, přičemž dosažené rozlišení činilo ±0,15 pH jednotky. Použití zúžených vláknových sond pak umožnilo in-vivo měření v mikroskopických biologických vzorcích.

Klíčová slova: optické senzory, optická vlákna, pH

Nízkoteplotní fotoluminiscenční spektroskopie krystalických a skelných polovodičů (P. Gladkov, J. Zavadil)182
Je představen nízkoteplotní fotoluminiscenční spektrometr navržený

CONTENTS

a sestavený v Ústavu fotoniky a elektroniky. Spektrometr umožňuje měření s velkou citlivostí a rozlišovací schopností v širokém spektrálním (300 nm – 9000 nm) a teplotním (3,5 K – 300 K) rozsahu. Unikátní spektrální rozsah spektrometru dává naší laboratoři jedinečnou možnost studovat různé polovodičové materiály a jevy. V práci je demonstrováno využití spektrometru pro studium objemových krystalů semi-izolačního nitridu galia (GaN) a vybraných skelných systémů dotovaných ionty vzácných zemin.
Klíčová slova: fotoluminescence, polovodiče, GaN, chalkogenidová skla, ionty vzácných zemin

Jednodimenzionální nanostruktury ZnO (J. Grym, R. Yatskiv, J. Vaniš, O. Černohorský, J. Lorinčík) 185
Předkládáme přehled nedávných aktivit týmu Příprava a charakterizace nanomateriálů v oblasti jednodimenzionálních nanostruktur ZnO. Stručně shrnujeme obecné vlastnosti ZnO a vysvětlujeme, proč jsou jednodimenzionální polovodiče užitečné. Popisujeme přípravu, charakterizaci a aplikaci grafitových Schottkyho kontaktů na polích nanotyčinek ZnO a navrhuje technologické koncepty k vysvětlení základních dějů odehrávajících se v nanokontaktech na nanotyčinkách ZnO.

Bioelektrodynamika: vysokofrekvenční elektromagnetické procesy v biologických systémech
(O. Kučera, D. Havelka, M. Cífra) 189
Je shrnut stav problematiky v oboru bioelektrodynamiky. Stručný přehledový článek začíná úvodem do tématu a definicí oboru a je následován historickým přehledem bioelektrodynamiky. Speciální pozornost je poté věnována aktuálním tématům v tomto oboru biofyziky, jmenovitě ultraslabé fotonové emisi z biologických systémů a radiofrekvenčním elektromagnetickým polím spojeným s vlastními módy mikrotubulů.
Klíčová slova: bioelektrodynamika, mikrotubuly, ultraslabá fotonová emise

Přenos přesného času pomocí optických vláken
(A. Kuna) 191
Článek popisuje naše dlouhodobé zkušenosti s časovým transferem prostřednictvím optických vláken a plně optických sítí. Pro porovnávání časových stupnic na velkou vzdálenost jsme proto vytvořili techniku a vyvinuli potřebné přístrojové vybavení, které jsme nejprve ověřili pomocí optické smyčky v délce 744 km v rámci páteřní sítě CESNET a posléze také využili pro dvoucestný optický transfer mezi českou a rakouskou národní laboratoří, které jsou zodpovědné za vytváření národních časových stupnic v České republice a Rakousku. Optickou trasu tvoří temná vlákna nebo vyhrazené kanály ve vlnovém multiplexu DWDM. Článek uvádí dosažené výsledky časového transferu, včetně měření zpoždění signálu na trase, a tyto jsou rovněž srovnány s obecně používaným časovým transferem prostřednictvím satelitních navigačních systémů.
Klíčová slova: čas, frekvence, časový transfer, optické vlákno, optická síť

Introduction from the director of the Institute of Photonics and Electronics of the CAS, v. v. i. (J. Homola)..... 155

ÚFE at the fair trade AMPER 2015 (A. Michková) 177

The jubilee of Prof. Miroslav Miler (P. Peterka) 194

Beginnings of optical holography research
(M. Miler) 196

The first laser surgery of eye's retina in Czechoslovakia
(J. Blabla, V. Trkal) 197
In the middle of 1964 brought Dr. John to our laboratory a girl with quite torn eye retina. Neither classical surgery operation nor the Lichtkoagulator device was applicable. She had the only chance and that was the application of laser radiation ... "remember nestors of Czech laser physics and quantum electronics Jan Blabla and Viktor Trkal.

Free space optical communication using lasers - one of the first laser applications
(M. Chomát, M. Miler) 199

60 years of light in the Institute of Photonics and Electronics
(P. Peterka, J. Zavadil) 200
In 1955, the work started in the Institute for Theoretical Radio Engineering of the Czechoslovak Academy of Sciences, the predecessor of today's Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences. In the year 2015, proclaimed as the International Year of Light by the UNESCO, let us recall selection of the milestones of the past 60 years of scientific research in our institution, particularly those related to photonics and light.

Symposium SPIE Optics + Optoelectronics: record attendance..... 204
This year's symposium and exhibition Optics + Optoelectronics International Society for Optics and Photonics SPIE was the largest in its 10-years-old-series, it attracted more than 700 participants from around the world. The extent of the introduced technologies and the number of personalities provided the participants with a superior experience and helped interactions and cross-disciplinary synergy. The meeting took place from 13 - 16 April, 2015 and it was one of the most important events in optics and photonics in the Czech Republic within the International Year of Light 2015.

The Elite in the field of semiconductor materials and optics for the mid-infrared spectral region met in Prague
(F. Todorov, P. Nováčková)..... 205

Obrázek na titulní straně: Vlákenné lasery mohou dosáhnout lepší účinnosti absorpce čerpání při nestandardním navijení aktivního vlákna. Více v článku P. Peterky a kol. na str. 174.
Autoři fotografie: Adéla Michková, Adam Benda a Jakub Cajzl (ÚFE)

Cover photo: Fiber lasers can achieve better pump-absorption efficiency by unconventional coiling of the active fiber, see p. 174 (Peterka et al.).
Credit: Adéla Michková, Adam Benda a Jakub Cajzl (ÚFE)