

REDAKČNÍ RADA

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, a.s., Přerov

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZI-NA, Bratislava, RNDr. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVOR-KA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Mi-roslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KR-ŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KÚR, Mesing, spol. s r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠTÁK, Meopta-optika, a.s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, a.s., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTO-RA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDEŘÁKOVÁ, CSc., UK, Bratislava, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores Univer- sity, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; 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 za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakla- datelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

Ředitel FZÚ AV ČR: Ing. Karel Jungwirth, CSc.

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan ŘÍDKÝ, CSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: pelclova@optnw.upol.cz

Adresa redakce v Přerově (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Pře- rov, tel. 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

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

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

Rozšiřuje vydavatel, Podniková prodejna Meopta-optika, a.s., Pře- rov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Vác- lavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

V Slovenské republice je kontaktní místo: prof. RNDr. Anton Štr- ba, CSc., katedra experimentální fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 7 65 426 706, e-mail: Strba@fmph.uniba.sk

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - FPV, Hurbanova 15, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail:ivo.cap@fpv.utc.sk

Tiskne TYPoServis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov, tel.: 573 398 746, e-mail: typoservis@iol.cz

Inzerce: redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2005

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 50 3/2005

OBSAH

Vzpomínky na začátky časopisu JMO před padesáti lety (L. Slavkovský)	71
Měření mechanického napětí v tenkých vrstvách pomocí kombinované optické metody (I. Ohlídal, M. Ohlídal, D. Franta, V. Čudek, V. Buršíková, M. Šiler)	72
Analýza priečného profilu laserového zväzku transformovaného šošovkou (J. Guttenová, P. Vojtek)	76
Rastrovací elektronový mikroskop pro studium povrchů (P. Hrnčířík, I. Müllerová)	79
Zobrazení nevodivého vzorku v rastrovacím elektronovém mikroskopu (F. Mika, L. Frank)	82
Oznámení	84
Bezkontaktní měření malé deformace předmětu pomocí metody korelace polí koherenční zrnitosti (P. Horváth, P. Šmíd, P. Wagnerová, M. Hrabovský)	85
Meranie kriviek svietivosti (P. Horňák)	91
Největší technický veletrh (jpe)	94
Veletrh obalů pro všechny výrobky (jpe)	94
Intronix	95
SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informuje	96
Nabídka sborníků SPIE/CS	96
Elektronika se profiluje na MSV	97
MACH 2005 PRAHA (H. Pokorná)	98
Mezinárodní veletrhy VISION - CREATIVE - INTEC (L. Náhlíková)	99
Z technické knihovny (I. Brezina)	95, 100

Obsah časopisu Jemná mechanika a optika je uveden na internetu: <http://www.meopta.cz/jmo>

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUČHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORŇÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, 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.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KUR, 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 LOŠTÁK - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak 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.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; 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 The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) 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: Ing. Karel Jungwirth, CSc.

Editor: Jan ŘÍDKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: pelcova@optnw.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, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Contact place for the Slovak Republic: Anton Štrba, Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 15 Bratislava, phone: 00421 7 65 426 706, e-mail: strba@fmph.uniba.sk

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

Advertising: editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, fax: 581 242 222.

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2005

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

VOLUME 50

3/2005

CONTENTS

Remembering the beginnings of the journal JMO fifty years ago (L. Slavkovský)	71
Stress measurement in thin layers with aid of combined optical method (I. Ohlídal, M. Ohlídal, D. Franta, V. Čudek, V. Bursíková, M. Šiler)	72
Measuring of spatial characteristics of laser beams by using CCD camera (J. Guttenová, P. Vojtek)	76
Scanning electron microscope for surface study (P. Hrnčířik, I. Müllerová)	79
Imaging of nonconductive samples in a scanning electron microscope (F. Mika, L. Frank)	82
Non-contact measurement of small deformation of an object by means of the speckle correlation method (P. Horváth, P. Šmíd, P. Wagnerová, M. Hrabovský)	85
Measurement of luminosity curves (P. Horňák)	91
The largest technical fair (jpe)	94
Fair for all products packaging (jpe)	94
Intronix	95
SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informs	96
SPIE/CS Proceedings offer	96
Electronics demonstrates itself at the International Engineering Fair in Brno	97
Mach 2005 Praha (H. Pokorná)	98
International fairs VISION - CREATIVE - INTEC (L. Náhlíková)	99

You can also find the contents of the Journal on Internet:
<http://www.Meopta.cz/jmo>

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Vzpomínky na začátky časopisu JMO před padesáti lety

Byl jsem vyzván redakcí časopisu Jemná mechanika a optika, abych jako první redaktor časopisu a jeden z nejstarších dosud žijících pamětníků začátků časopisu napsal k současnému padesátému ročníku několik poznámek o jeho vzniku. Nemohu se vyhnout tomu, abych ze značné části psal o mé nedobrovolné roli v samotných začátcích vydávání, a nezbývá mně než doufat, že mi to případný čtenář promine.

V roce 1953 byl z konstrukčního a vývojového oddělení podniku Meopta Přerov založen Ústav pro výzkum optiky a jemné mechaniky (ÚVOJM) se sídlem v Přerově, v zařízení Meopty. V roce 1954 dali pracovníci ministerstva strojírenství popud vedení ÚVOJM k založení nového odborného časopisu, který by prezentoval výsledky výzkumu a vývoje v této oblasti. Tehdejší ředitel ÚVOJM, bodrý Hanák a dobrý odborník v konstrukci optických systémů, mne v létě 1954 vyzval k účasti na jednání vedení ÚVOJM a o účelu mé účasti mne informoval asi těmito slovy: „Ludvíku (mé jméno není Ludvík, Ludvík S. byl před lety můj strýc, vrátil Meopty, nikterak bezvýznamná osoba (... pan ředitel a já jsme se dohodli ...)), máme založit nový odborný časopis. My jsme po poradě došli k závěru, že ty jsi jediná osoba, která by mohla zastávat funkci redaktora“. Mé námitky, že nemám žádné zkušenosti ani předpoklady k výkonu takové funkce, odmítl asi tímto zaslíbeným vysvětlením funkce redaktora: „To nic není, my ti budem všeci pomáhat, chlapi ti vždycky napíšou nebo zajistí články, ty jich dáš dohromady a pošleš do tiskárny a oni to vytisknou“. Po této přesvědčivé argumentaci mně nezbývalo než funkci přijat, navíc k mé funkci vedoucího oddělení technických služeb (technicko-ekonomické informace, patenty a zlepšovací návrhy, normalizace, technické podmínky, klasifikační systém číslování výkresů), zejména po ujištění, že jde jen o přechodnou krátkou dobu, že do tří měsíců bude přijat nový redaktor.



Jak se v dalším průběhu ukázalo, toto tříměsíční provizorium se poněkud protáhlo na dobu 31 let a zajistilo mně po celá léta možnost 11hodinové pracovní doby v závodě a pravidelně pokračování práce večer doma i o sobotách a nedělích.

Dne 19. 8. 1954 byla zaslána ministerstvu kultury žádost o povolení vydávání časopisu, která však neobsahovala řádné zdůvodnění potřeby, ani jeho bližší technické zaměření, zdůvodnění rozsahu, zajištění vydávání atd. Proto jsem byl vyslán k vyřízení potřebných formalit a k seznámení se s redakčními pracemi na 14 dní do redakce časopisu Sdělovací technika (s upřesněním této doby: „Ludvíku, nevracé se ...“).

dokud všechno nevyřídíš“). Pro venkovského balíka nastaly obtížné chvíle jednání s oddělením periodického tisku ministerstva kultury (Dr. Hartmanem), vedoucími pracovníky SNTL (Ing. Martínkem, Ing. Benešem, Dr. Hruškou) a dalšími. Bylo třeba argumentací překonat všeobecně odmítavý postoj těchto pracovníků k povolení vydávání časopisu, vycházející především z názoru, že obor optiky a jemné mechaniky není tak důležitý, aby měl mít vlastní časopis. Odvahu a sílu k jednání s těmito nerovnými partnery mně patrně dodával také pud sebezáchovy („Ludvíku, nevracé se ...“).

Postupně se podařilo ukázat a zdůvodnit potřebu přístrojů optiky a jemné mechaniky, odhadnout očekávanou potřebu nákladu výtisků pro různá ministerstva a jejich podniky, vysoké školy, ústavy atd.

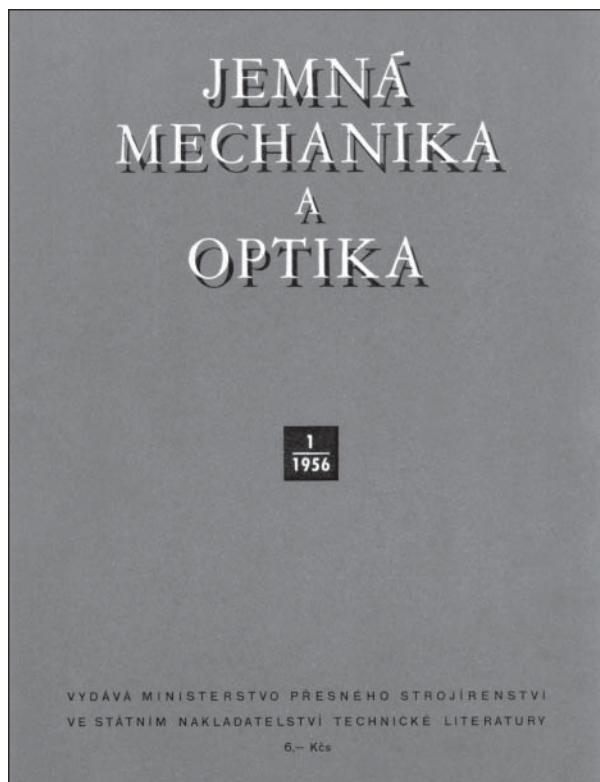
Oprávnění k vydávání časopisu bylo nakonec získáno přípisem ministerstva kultury zasláným dne 15. 11. 1955 Státnímu nakladatelství technické literatury, opravňujícím k vydávání časopisu v nákladu 1500 výtisků v rozsahu 32 stran textu a 4 stran přílohy, s programem „pomáhat při řešení výrobních problémů a zvyšování odborné úrovně technických kádrů v oboru jemné mechaniky a optiky“. Pro redakci tím nastaly úkoly dodávání rukopisů do tiskárny v Praze podle stanoveného časového harmonogramu pro čtyři čísla ročně. To vyžadovalo navázání styku s autory a lektory, úpravu rukopisů k tisku, stanovení velikosti nátisku obrázků, provádění překladů resumé článků do ruštiny, němčiny a angličtiny, provádění sloupcových korektur, zhotovování „zrcadla“ pro sestavování tiskových stran, provádění stránkových korektur, výpočet autorských a lektorských honorářů v rámci preliminovaných kvót, zasílání vyúčtování vyšlých čísel do SNTL a další s touto činností spojené úkoly. Tím se popis výkonu funkce redaktora, uvedený ředitelem ÚVOJM na začátku, ukázal poněkud nepřesným.

V roce 1956 vyšlo 142 tiskových stran ve čtyřech číslech, v roce 1957 vyšlo 192 stran v šesti číslech, v dalších letech byl časopis vydáván měsíčně v rozsahu 36 stran. Vedle původních článků téměř výhradně českých a slovenských autorů byly otiskovány drobné informace zpracované podle článků vycházejících v zahraničních časopisech. Ve čtyřstránkové příloze „Na pomoc technickým pracovníkům“ byly na pokračování otiskovány přehledné články určené pro praktické využívání pracovníky v oboru optiky a přístrojové techniky.

V průběhu vycházení časopisu se vytvořily četné přátelské vztahy mezi redaktorem, členy redakční rady a autory, i když v řadě případů nedošlo k osobnímu setkání. Jestliže redakce dovolí, rád bych těmto přátelům adresoval vzpomínku a pozdravení.

Se zájmem sleduji rozvíjení časopisu a přeji mu mnoho úspěchů do dalších let.

Ing. Ladislav Slavkovský



Měření mechanického napětí v tenkých vrstvách pomocí kombinované optické metody

V tomto článku je popsána optická metoda umožňující měření mechanického napětí v tenkých vrstvách. Tato metoda je založena na určování poloměrů zakřivení deformovaných podložek, která vznikají v důsledku existence napětí ve vrstvách vytvořených na těchto podložkách. Hodnoty napětí jsou počítány pomocí modifikované Stoneyovy rovnice. Hodnoty tloušťek tenkých vrstev, které jsou rovněž potřebné pro výpočet těchto napětí, jsou určeny pomocí metody založené na interpretaci experimentálních dat získaných v rámci víceúhlové spektroskopické elipsometrie a spektroskopické reflektometrie. Tato kombinovaná optická metoda je využita pro určení hodnot mechanických napětí ve vrstvách DLC (diamond-like carbon) vytvořených na podložkách z monokrystalu křemíku, které obsahují příměsi Si a O. V práci je také studována závislost hodnot napětí v těchto vrstvách na hodnotách poměru průtoků hexametyldisiloxanu (HMDSO) a metanu.

Klíčová slova: DLC vrstvy, mechanické napětí, dvouprusková interferometrie

1 ÚVOD

Je známo, že téměř všechny tenké vrstvy deponované různými technikami na podložky vykazují mechanická napětí. Tato napětí jsou složena z tepelných a vnitřních napětí (viz [1]). Tepelná napětí jsou způsobena rozdíly mezi koeficienty teplotní roztažnosti podložky a vrstvy. Vnitřní napětí vznikají v průběhu růstu vrstvy. Napětí ve vrstvách způsobuje mnoho jevů, které mají podstatný vliv na vlastnosti systémů tvořených tenkými vrstvami a podložkami. Např. způsobují praskání a odlupování vrstev, ohyb podložek, optickou anizotropii vrstev atd.

Z předcházejícího je tedy patrné, že je nutné mít experimentální metody umožňující provést kvantitativní studium napětí ve vrstvách. Doposud bylo vyvinuto a je používáno mnoho experimentálních metod určených k měření napětí v těchto vrstvách. Nejpodstatnější z nich jsou následující optické metody: interferometrické metody [2-5], laserové metody [6-9] a elipsometrická metoda [10].

Výše zmíněných metod bylo využito pro měření napětí uvnitř mnoha vrstev. Značná pozornost byla věnována především měření napětí ve vrstvách deponovaných pomocí vakuového napařování na různé podložky [5, 9, 11, 12]. V několika posledních letech byla věnována velká pozornost také měření napětí v DLC vrstvách připravených na podložky z monokrystalického křemíku a skla [13, 14]. DLC vrstvy vykazují unikátní vlastnosti jako je vysoká mechanická tvrdost, nízké tření, vysoká tepelná vodivost, inertnost vůči korozivním plynům, relativně vysoká propustnost ve viditelné a infračervené oblasti spektra a nízká elektronová afinita. V našich dřívějších pracích [15, 16] bylo ukázáno, že uvnitř tenkých DLC vrstev připravených za pomoci plazmou podporované chemické depozice z par (PECVD) na křemíkové podložky ve směsi metanu CH_4 a hexametyldisiloxanu $\text{C}_6\text{H}_{18}\text{Si}_2\text{O}$ (HMDSO) dochází ke zmenšení mechanického napětí. DLC vrstvy připravené tímto způsobem odpovídají amorfním hydrogenovaným uhlíkovým vrstvám, které obsahují určitý podíl křemíkových a kyslíkových atomů (pro tyto vrstvy může být použita zkratka $\text{DLC}:\text{SiO}_x$). V této práci byl do depoziční směsi přidán vodík H za účelem dalšího zlepšení mechanických vlastností vrstev. Bude prezentována kvantitativní závislost napětí uvnitř těchto $\text{DLC}:\text{SiO}_x$ vrstev na jejich složení, tj. na poměru průtoků HMDSO a CH_4 použitím při jejich růstu (jako podložky byly opět použity desky z monokrystalického křemíku). Dále bude popsána optická metoda použitá k určení

mechanických napětí ve zmíněných vrstvách. Tato metoda je založena na zpracování interferogramů získaných pomocí Michelsonova interferometru. Pomocí této metody budou určeny hodnoty posunutí podložek nebo odpovídající poloměr křivosti kulového povrchu těchto podložek deformovaných díky napětí v $\text{DLC}:\text{SiO}_x$ vrstvách. Velikost těchto posunutí nebo poloměrů křivosti potom umožní určit konkrétní hodnoty napětí ve vrstvách s pomocí jednoduchého Stoneyova vztahu. Hodnoty tloušťek vrstev potřebné k určení napětí byly získány pomocí metody založené na kombinaci víceúhlové spektroskopické elipsometrie (VASE) a spektroskopické reflektometrie s téměř kolmým dopadem (NNSR).

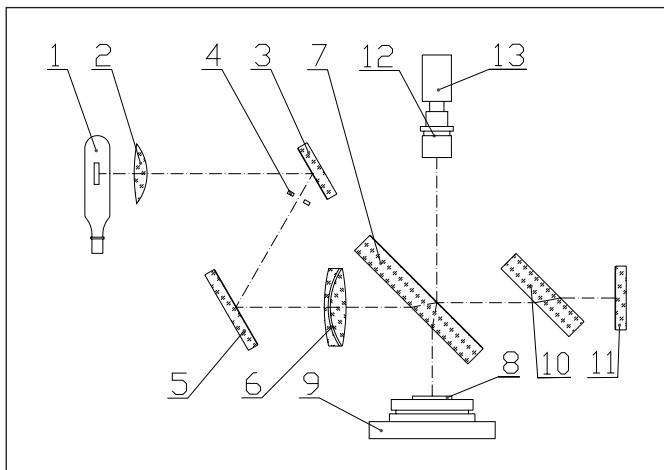
2 PŘÍPRAVA VZORKŮ A EXPERIMENTÁLNÍ USPOŘÁDÁNÍ

$\text{DLC}:\text{SiO}_x$ vrstvy byly připraveny na křemíkové monokrystalické podložky za technologických podmínek podobných podmínkám popsaným detailně v našich dřívějších pracích [17-19]. Průtok vodíku Q_{H_2} byl udržován konstantní pro všechny vzorky. Dále byl také udržován konstantní celkový průtok hexametyldisiloxanu Q_{HMDSO} a metanu Q_{CH_4} . Bylo připraveno sedm vrstev s odlišnými hodnotami poměru průtoků q HMDSO a CH_4 ($q = \text{Q}_{\text{HMDSO}} / \text{Q}_{\text{CH}_4}$). Vrstvy připravené tímto způsobem tudíž obsahují odlišné koncentrace C, H, Si a O atomů. Se vzrůstem veličiny q roste také obsah Si a O ve vrstvách [17]. Dodávaný výkon byl 50 W a záporné přepětí U_b bylo v intervalu od -393 V do -465 V.

Elipsometrická měření a měření odrazivosti použitá k určení tloušťky vrstev byla provedena pomocí fázově modulovaného elipsometru Jobin-Yvon UVISEL a spektrofotometru Perkin-Elmer Lambda 45 v blízké UV, viditelné a blízké IR oblasti spektra. Podrobný popis měření elipsometrických veličin a odrazivosti je prezentován v našich publikacích [17-19].

Hodnoty poloměru křivosti podložek nutné k určení hodnot napětí ve vrstvách byl naměřeny pomocí interferometru ASKANIA Werke AG (viz obr. 1). Základem přístroje je Michelsonův interferometr. Kondenzor (2) soustřeďuje světlo ze sodíkové výbojky (1) na nastavitelnou irisovou clonu (4). Díky zrcadlům (3) a (5) je zařízení kompaktnější. Zmíněná irisová clona je umístěna v ohnisku kolimátoru (6). Kolimovaný světelný paprsek je za kolimátorem rozdělen na předměťovou a referenční vlnu pomocí svě-

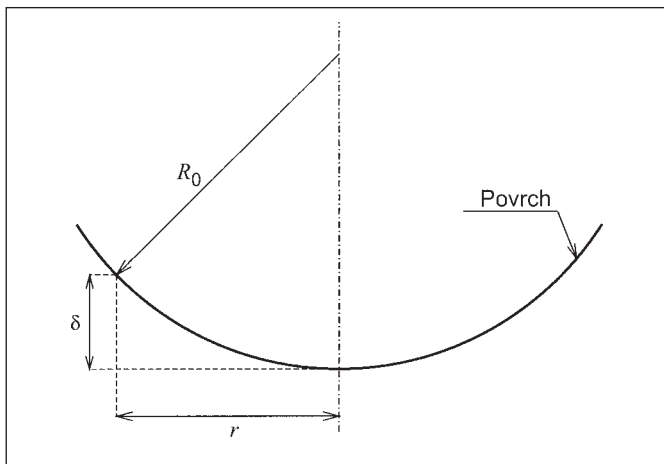
telného děliče (7). Předmětová vlna dopadá kolmo na studovaný vzorek (8) umístěný na stolečku (9). Vlna odražená od vzorku prochází přes světelný dělič (7) na CCD kameru SBIG, ST – 7EI (13) s objektivem EXAKTA ($f = 28 - 70$ mm) (12). Referenční vlna prochází kompenzátozem (10) na rovinné hliníkové zrcadlo (11) a zpět na světelný dělič (7), kde se také odráží do CCD kamery. Nízkošumová chlazená kamera umožňuje odečít signálu způsobeného temným proudem.



Obr. 1 Schéma interferometru ASKANIA: 1 - sodíková výbojka, 2 - kondenzor, 3 a 5 - pomocná zrcadla, 4 - nastavitelná irisová clona, 6 - kolimátor, 7 - světelný dělič, 8 - studovaný vzorek, 9 - stoleček, 10 - fázový kompenzátor, 11 - referenční rovinné zrcadlo, 12 - objektiv EXAKTA ($f = 28 - 70$ mm), 13 - CCD kamera SBIG, ST - 7EI

3 PRINCIP METODY

Vrstvy deponované na podložky tyto podložky ohýbají, takže v určitých vzdálenostech od středů podložek vznikají jejich určitá posunutí. Měřením rozdílů posunutí podložek před a po depozici



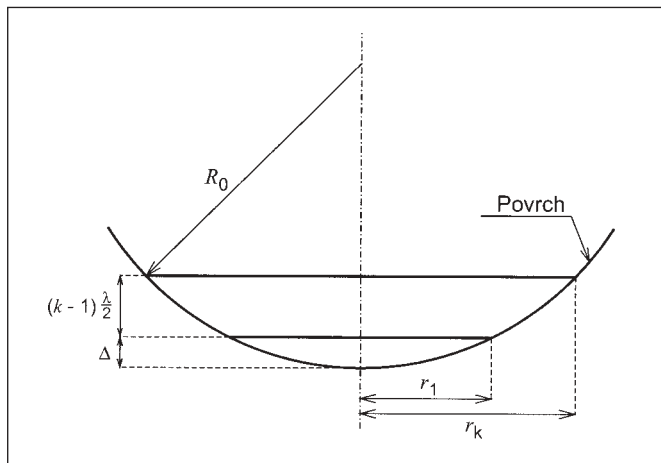
Obr. 2 Schematický diagram deformace podložky díky napětí ve vrstvě. R_0 označuje poloměr křivosti kulového povrchu deformované podložky a δ je posunutí ve vzdálenosti r

tenkých vrstev za předpokladu, že napětí je izotropní, lze určit hodnoty mechanického napětí v těchto vrstvách. Napětí ve vrstvě σ je totiž svázáno s posunutím podložky ve vzdálenosti r od středu podložky pomocí modifikované Stoneyovy rovnice [5, 9, 20]:

$$\sigma = \frac{E_s d_s^2 \delta}{3r^2 (1 - \nu_s) d_f} \quad (1)$$

kde δ je relativní posunutí ve vzdálenosti r (viz obr. 2), E_s a ν_s je Youngův modul podložky a Poissonův poměr podložky, d_s je tloušťka podložky a d_f je tloušťka studované vrstvy. Je nutné poznamenat, že předcházející rovnice platí za následujících předpokladů:

1. $E_f d_f \ll E_s d_s$ kde E_f a E_s je redukovaný Youngův modul, tj. $E_f = E_f' / (1 - \nu_f)$, $i = s, f$. Tato podmínka je obvykle splněna díky platnosti $d_f \ll d_s$.
2. Zdeformovaný povrch je kulový.
3. Posunutí jsou spojitá a normály k neutrálnímu povrchu jsou nedeformované.
4. Materiály podložek a vrstev jsou lineárně elastické.
5. Napětí napříč vrstvou jsou zanedbatelná vůči napětí v rovině vrstvy.
6. Posunutí podložky jsou malá ve srovnání s tloušťkou podložky.



Obr. 3 Schematický diagram ukazující polohy tmavých interferenčních kroužků zobrazených v interferogramech. Symboly r_1 a r_k reprezentují poloměr tmavých interferenčních kroužků odpovídajících 1. a k -tému řádu. Dále je zobrazena vzdálenost Δ a poloviční dráhový rozdíl mezi 1. a k -tým interferenčním kroužkem

Hodnoty posunutí podložky v různých místech mohou být určeny z interferogramu získaného dvoupraprskovým interferometrem jako je interferometr ASKANIA. Z praktických důvodů je vhodnější měřit poloměr kulového povrchu deformované podložky R_0 . Rovnice (1) pak může být přepsána do tvaru:

$$\sigma = \frac{E_s d_s^2}{6R_0 (1 - \nu_s) d_f} \quad (2)$$

kde R_0 je poloměr kulového povrchu deformované podložky (viz obr. 2). Tudiž k určení hodnot napětí σ za použití rovnice (2) je nutné najít hodnoty, R_0 , d_s a d_f . Hodnoty veličin E_s a ν_s jsou získány z literatury. Tloušťka podložky d_s může být určena například mikrometrickým šroubem (také může být získána jako údaj od výrobců podložky). Tloušťky vrstev d_f mohou být určeny některou z optických spektroskopických metod (viz níže).

Z obr. 3 je možné snadno odvodit závislost mezi poloměrem tmavých kroužků $r_k(R_0, \Delta)$ a poloměrem křivosti kulového povrchu deformované podložky R_0 , tj.

$$r_k(R_0, \Delta) = \sqrt{[2R_0 - \Delta - (k-1)\lambda/2][\Delta + (k-1)\lambda/2]} \quad (3)$$

kde λ je vlnová délka zdroje světla (v našem případě $\lambda = 589$ nm), k je celé číslo označující interferenční řád tmavých kroužků ($k = 1, 2, 3, \dots$) a Δ je vzdálenost zobrazená v obr. 3.

4 ZPRACOVÁNÍ DAT

V tomto článku byly hodnoty tlouštěk d_f DLC:SiO_x vrstev určeny metodou kombinující VASE a NNSR. V rámci této kombinované metody byly měřeny závislosti elipsometrických veličin vrstev

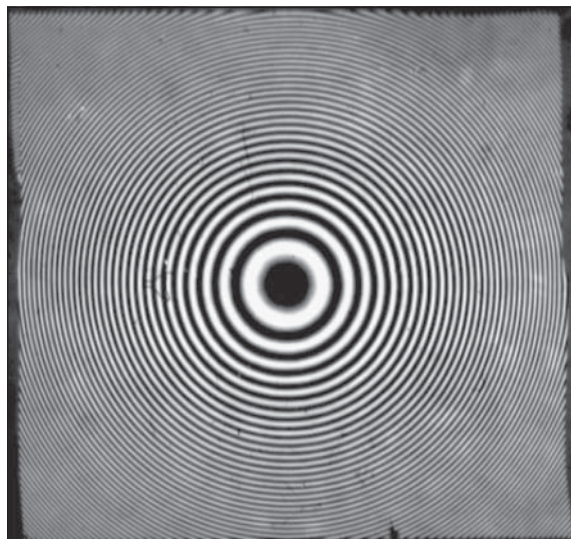
ve spektrální oblasti 230–850 nm. Tyto spektrální závislosti byly měřeny pro pět úhlů dopadu v intervalu 55–75°. Spektrální závislosti odrazivosti vrstev byly měřeny pro úhel dopadu ve spektrálním intervalu 190–1000 nm. Hodnoty tloušťek vrstev d_i byly určeny na základě disperzního modelu optických konstant DLC:SiO_x vrstev prezentovaného v naší dřívější práci [19]. Strukturální model DLC:SiO_x vrstev současně využitý k interpretaci experimentálních dat byl také popsán v našich dřívějších pracích [17–19]. Spektrální závislosti elipsometrických veličin a odrazivosti byly zpracovány současně pro každý studovaný vzorek pomocí metody nejmenších čtverců (LSM). Byla použita následující meritní funkce:

$$S(\mathbf{X}) = \sum_i |\hat{\rho}(\mathbf{X}) - \hat{\rho}_i|^2 w_i + \sum_j |R(\mathbf{X}) - R_j|^2 w_j, \quad (4)$$

kde vektor \mathbf{X} má složky identické s hledanými parametry (jeden z hledaných parametrů je tloušťka studované vrstvy). Symboly i a j odpovídají sumaci přes experimentální hodnoty elipsometrického poměru $\hat{\rho}_i$ a odrazivosti R_j , a w_i a w_j označují váhy jednotlivých experimentálních hodnot [17]. Spektrální závislosti indexu lomu a extinkčního koeficientu křemíkové podložky byly fixovány v hodnotách získaných z literatury [21].

Z interferogramů byly získány posloupnosti poloměrů tmavých kroužků r_k (viz obr. 4). Potom byly pro každý vzorek určeny hodnoty R_0 a Δ pomocí LSM s následující meritní funkcí:

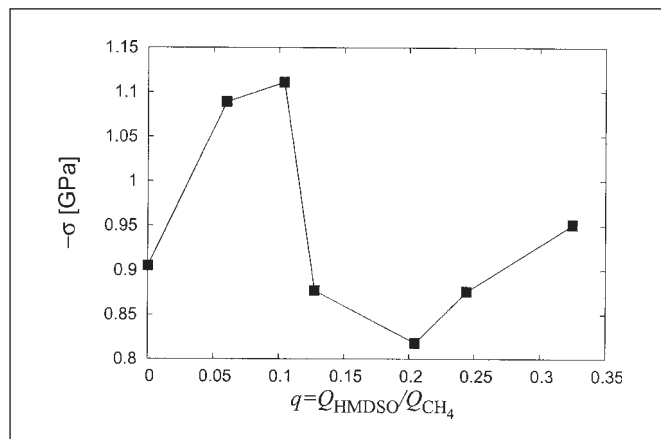
$$S(R_0, \Delta) = \sum_k |r_k(R_0, \Delta) - r_k|^2. \quad (5)$$



Obr. 4 Interferogram vzorku #59

5 VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky získané v rámci našeho studia napětí v DLC:SiO_x vrstvách připravených na křemíkové monokrystalické podložce pomocí metody PECVD jsou shrnuty v tabulce 1. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty tloušťek a napětí vrstev pro různé hodnoty poměru průtoku q HMDSO a CH₄. Současně jsou v tabulce 1 uvedeny hodnoty poloměrů křivosti R_0 a tloušťek podložek d_s . Hodnoty d_s byly určeny pomocí mikrometrického šroubu. Hodnoty Youngova modulu a Poissonova poměru křemíkové podložky byly převzaty z literatury [22, 23], tj. $E_s = 160$ GP a $\nu_s = 0,27$. Podle zvyklostí je hodnota σ záporná v případě napětí v tlaku a kladná pro napětí v tahu. Napětí v tahu je přítomno v případě, že je zakřivení povrchu podložky konkávní, naopak napětí v tlaku je přítomno pokud je zakřivení podložky konvexní. Tudíž prohnutí dolů znamená napětí v tahu a prohnutí nahoru znamená napětí v tlaku. Znaménko prohnutí dolů je kladné. V případě systému monokrystalické křemíkové podložky a DLC:SiO_x vrstvy je přítomno napětí v tlaku a tudíž je znaménko mechanického napětí v tomto systému záporné (viz tabulka 1).



Obr. 5 Závislost napětí σ v DLC:SiO_x vrstvách na poměru průtoků q HMDSO a CH₄.

Závislost mechanického napětí σ na poměru průtoku q je vynešena v obr. 5. Z tabulky 1 a obr. 5 je zřejmé, že závislost σ na q není monotónní. Tato závislost vykazuje jedno minimum a jedno maximum. V případě, že se v úvahu vezmou experimentální chyby veličin vystupujících v rovnici (2), je relativní experimentální chyba veličiny σ určena v hodnotě $\approx 5\%$. Chyba d_s způsobuje hlavní příspěvek k relativní chybě σ zmíněné výše. Při výpočtu celkové relativní chyby σ je nutné uvažovat také reprodukovatelnost a stabilitu technologických podmínek. Na základě našich zkušeností s technologickým procesem můžeme odhadnout celkovou relativní experimentální chybu σ v hodnotě $\approx 10\%$. Z pohledu této celko-

Tabulka 1 Depoziční parametry a hodnoty tloušťek d_i , poloměrů křivosti R_0 a napětí σ DLC:SiO_x vrstev pro sedm různých hodnot poměru toků HMDSO a CH₄ $q = Q_{\text{HMDSO}}/Q_{\text{CH}_4}$. Dále jsou uvedeny hodnoty tloušťek podložek d_s .

#	Q_{CH_4} [sccm]	Q_{HMDSO} [sccm]	Q_{H_2} [sccm]	U_b [V]	q	d_f [nm]	d_s [μm]	R_0 [m]	σ [GPa]
71	2,65	0,00	0,35	-465	0,000	711,1	360	7,358	-0,9048
73	2,50	0,15	0,35	-450	0,060	730,3	360	5,953	-1,0889
59	2,40	0,25	0,35	-435	0,104	784,4	366	5,615	-1,1108
60	2,35	0,30	0,35	-420	0,128	861,0	525	13,33	-0,8771
61	2,20	0,45	0,35	-407	0,205	758,1	523	16,11	-0,8180
62	2,13	0,52	0,35	-393	0,244	1050	519	10,70	-0,8761
63	2,00	0,65	0,35	-400	0,325	870,7	365	5,878	-0,9508

vé chyby je zřejmé, že závislost σ na q může být považována za prakticky konstantní. Jinými slovy řečeno je vliv poměru průtoku q na mechanická napětí σ v DLC:SiO_x vrstvách zanedbatelný v rámci zmíněné experimentální přesnosti v určení hodnot těchto napětí.

Tento výsledek je překvapivý vzhledem k výsledkům prezentovaným v našich dřívějších pracích [15, 16], ve kterých byla pozorována relativně silná závislost σ v DLC:SiO_x vrstvách na q . Je však nutné podotknout, že mezi technologickými podmínkami použitými k přípravě vzorků v této práci a v předchozích pracích byly jisté rozdíly. Vzorky studované dříve byly připraveny v depoziční směsi bez vodíku. Navíc byl průtok metanu Q_{CH₄} udržován konstantní v hodnotě 1,4 sccm, a proto se měnil celkový průtok plynů. Tento fakt způsobil, že se ostatní technologické parametry, tj. záporné předpětí U_b i celkový tlak pracovní atmosféry, pohybovaly ve větším rozsahu než tomu bylo při depoziční vrstev studovaných v této práci (podrobnosti týkající se výše zmíněných technologických podmínek použitých dříve jsou popsány v našich článcích [15, 16]).

Z předcházejícího textu je tedy zřejmé, že koncentrace Si a O atomů obsažených v DLC:SiO_x vrstvách nemá velký vliv na mechanická napětí v těchto vrstvách, pokud jsou ostatní technologické parametry udržovány téměř konstantní. Přesto má zvyšování koncentrace Si a O atomů kladný vliv na mechanické vlastnosti studovaných vrstev. Bylo totiž zjištěno, že hodnoty kritických tloušťek se zvyšují se zvyšujícími se koncentracemi příměsí (kritická tloušťka vrstvy je taková tloušťka, při níž začíná docházet k praskání případně odlupování této vrstvy). To znamená, že zvýšení koncentrace Si a O atomů jednoznačně zvyšuje adhezi DLC:SiO_x vrstev ke křemíkovým monokrystalickým podložkám.

6 ZÁVĚR

V tomto článku byly prezentovány výsledky týkající se vlivu poměru průtoků HMDSO a CH₄, tj. vlivu koncentrace Si a O atomů, na velikost mechanických napětí, která existují v DLC:SiO_x vrstvách připravených pomocí PECVD na křemíkové monokrystalické podložky. K určení velikosti napětí byla využita modifikovaná Stonyova rovnice. Hodnoty veličin vystupujících v této rovnici, tj. poloměr křivosti prohnuté křemíkové podložky a tloušťka vrstvy, byly určeny pomocí kombinované optické metody založené na využití dvoupráskové interferometrie, víceúhlové spektroskopické elipsometrie (VASE) a spektroskopické reflektometrie (NNSR). Hodnoty poloměru křivosti byly získány vyhodnocením interferogramů obdržených pomocí dvoupráskového interferometru ASKANIA. Hodnoty tloušťek vrstev byly určeny pomocí metody založené na kombinaci VASE a NNSR. Bylo zjištěno, že vliv poměru průtoku HMDSO a CH₄ na mechanická napětí v DLC:SiO_x vrstvách je zanedbatelný v rámci dosažené experimentální přesnosti v případě, že je celkový průtok plynů konstantní. Optická metoda využitá k určení napětí v DLC:SiO_x vrstvách připravených na křemíkové podložky je obecná. Může být tedy využita k určení stejné veličiny v jiných vrstvách umístěných na jiných podložkách.

7 PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podporována Grantovou agenturou České republiky v rámci projektu č. 101/04/2131 a Ministerstvem školství a tělovýchovy v rámci projektu č. MSM143100003.

Literatura

- [1] J. A. Thornton, and D. W. Hoffman, „Stress-related effects in thin films,” *Thin Solid Films* **171**, str. 5–31, 1989.
- [2] K. Röhl, and H. Hoffmann, „Michelson interferometer for deformation measurements in an UHV system at elevated temperatures,” *Rev. Sci. Instrum.* **47**, str. 1183–1185, 1976.

- [3] J. D. Finegan, and R. W. Hoffman, „Stress Anisotropy in Evaporated Iron Films,” *J. Appl. Phys.* **30** str. 597–598, 1959.
- [4] A. E. Ennos, „Stress developed in optical film coatings,” *Appl. Optics* **5**, str. 51–61, 1966.
- [5] C. L. Tien, C. C. Lee, and C. C. Jaing, „The measurement of thin film stress using phase shifting interferometry,” *J. Mod. Opt.* **47**, str. 839–849, 2000.
- [6] A. K. Sinha, H. J. Levinstein, and T. E. Smith, „Thermal stresses and cracking resistance of dielectric films (SiN, SiN, and SiO) on Si substrates,” *J. Appl. Phys.* **49**, str. 2423–2426, 1978.
- [7] T. Aoki, Y. Nishikawa, and S. Kato, „An improved optical lever technique for measuring film stress,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **28**, str. 299–300, 1989.
- [8] D. S. Gardner, and P. A. Flinn, „Mechanical-stress as a function of temperature for aluminum-alloy films,” *J. Appl. Phys.* **67**, str. 1831–1844, 1990.
- [9] D. E. Fahnline, C. B. Masters, and N. J. Salamon, „Thin film stress from nonspherical substrate bending measurements,” *J. Vac. Sci. Technol.* **A9**, str. 2483–2487, 1991.
- [10] M. E. Pedinoff, D. C. Mayer, O. M. Stafsudd, and G. L. Dunn, „Strain-induced anisotropy measurement in oxide films grown on silicon,” *Appl. Optics* **21**, str. 3307–3313, 1982.
- [11] C. C. Lee, C. L. Tien, and J. C. Hsu, „Internal stress and optical properties of NbO thin films deposited by ion-beam sputtering,” *Appl. Optics* **41**, str. 2043–2047, 2002.
- [12] C. C. Lee, C. L. Tien, W. S. Sheu, and C. C. Jaing, „An apparatus for the measurement of internal stress and thermal expansion coefficient of metal oxide films,” *Rev. Sci. Instrum.* **72**, str. 2128–2133, 2001.
- [13] C. De Martino, G. Fusco, G. Mina, A. Tagliaferro, L. Vanzetti, L. Calliari, M. Anderle, „Improvement of mechanical properties of a-C:H by silicon addition,” *Diamond Relat. Mater.* **6**, str. 559–563, 1997.
- [14] S. S. Camargo Jr., R. A. Santos, A. L. Baia Neto, R. Carius, and F. Finger, „Structural modifications and temperature stability of silicon incorporated diamond-like a-C:H films,” *Thin Solid Films* **332**, str. 130–135, 1998.
- [15] V. Buršíková, P. Sládek, P. St’ahel, L. Zajíčková, „Improvement of the efficiency of the silicon solar cells by silicon incorporated diamond-like carbon antireflective coatings,” *J. Non-Cryst. Solids* **299**, str. 1147–1151, 2002.
- [16] V. Buršíková, V. Navrátil, L. Zajíčková, J. Janča, „Temperature Dependence of Mechanical Properties of DLC/Si Thin Protective Coatings Prepared by PECVD,” *Mater. Sci. Eng.* **A324**, str. 251–254, 2002.
- [17] D. Franta, I. Ohlídál, V. Buršíková, L. Zajíčková, „Optical properties of diamond-like carbon films containing SiO,” *Diamond Relat. Mat.* **12**, str. 1532–1538, 2003.
- [18] D. Franta, L. Zajíčková, V. Buršíková, I. Ohlídál, „New Dispersion Model of the Optical Constants of the DLC Films,” *Acta Phys. Slov.* **53**, str. 373–384, 2003.
- [19] D. Franta, I. Ohlídál, V. Buršíková, L. Zajíčková, „Optical properties of diamond-like carbon films containing SiO studied by the combined method of spectroscopic ellipsometry and spectroscopic reflectometry,” *Thin Solid Films* **455–456**, str. 393–398, 2004.
- [20] G. G. Stoney, „The tension of metallic films deposited by electrolysis,” *Proc. R. Soc. London Ser.* **A82**, str. 172–175, 1909.
- [21] C. M. Herzinger, B. Johs, W. A. McGahan, J. A. Woollam, W. Paulson, „Ellipsometric determination of optical constants for silicon and thermally grown silicon dioxide via a multi-sample, multi-wavelength, multi-angle investigation,” *J. Appl. Phys.* **83**, str. 3323–3336, 1998.
- [22] P. Hess, „Laser diagnostics of mechanical and elastic properties of silicon and carbon films,” *Appl. Surf. Sci.* **106**, str. 429–437, 1996.
- [23] J. Gubicza, A. Juhász, P. Arato, P. Szommer, P. Tasnádi, G. Voros, „Elastic modulus determination from depth sensing indentation testing,” *J. Mat. Sci. Lett.* **15**, str. 2141–2144, 1996.

prof. RNDr. Ivan OHLÍDAL^a, DrSc., doc. RNDr. Miloslav OHLÍDAL^b, CSc., Mgr. Daniel FRANTA^c, PhD., Vladimír ČUDEK^b, Mgr. Vilma BURŠÍKOVÁ^c, PhD., Mgr. Martin ŠILER^a, ^aKatedra fyzikální elektroniky, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno; ^bÚstav fyzikálního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2, 616 69 Brno; ^cLaboratoř fyziky plazmatu a plazmových zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

Analýza priečného profilu laserového zväzku transformovaného šošovkou

Článok sa zaoberá vyšetrovaním priestorových charakteristík laserového zväzku s gaussovským profilom. Priečne rozloženie intenzity bolo zaznamenávané CCD kamerou. Charakteristické parametre reálneho zväzku boli určené na základe poznatkov o transformácii zväzku tenkou šošovkou. Pozornosť je venovaná dvom spôsobom záznamu zväzku po prechode šošovkou, zaradenou stacionárne alebo ako súčasť kamerového systému.

1. ÚVOD

Od roku 1960, kedy bol zostrojený prvý laser, sa vďaka jeho špecifickým vlastnostiam rozšíril nielen záujem o tento unikátny zdroj, ale aj potreba poznať jeho priestorové charakteristiky. Najmä laserové diódy sú dnes vyhľadávané pre svoj malý rozmer, vysokú účinnosť, jednoduché čerpanie a moduláciu elektrickým prúdom. Bývajú súčasťou zariadení na prenos informácií a komunikačných systémov, zdrojom čerpania tuholátkových laserov, využívajú sa v technických a lekárskech odboroch. Malé rozmery ich aktívneho prostredia ($\sim \mu\text{m}$) však spôsobujú výraznú elipticitu a často aj astigmatizmus zväzku. Tieto vady sa v prípade potreby odstraňujú použitím prvkov ako sú cylindrické šošovky, gradientné prvky, anamorfotické hranoly, atď. [1]. Pri úpravách priečného profilu porušeného zväzku plní dôležitú úlohu spätná kontrola, ktorú možno zabezpečiť meraním jeho charakteristík. Za týmto účelom sa vyvinuli rôzne skanovacie zariadenia využívajúce mechaniku i elektroniku [2, 3, 4]. Jednou z efektívnych metód sondovania zväzku je záznam priečných rezov CCD kamerou. Obrázky získané v digitálnej forme predstavujú intenzitný profil v danej polohe vo zväzku a umožňujú na základe definície určiť jeho polomer. V prípadoch, kedy je hrdlo vyšetrovaného zväzku z rôznych príčin meraniu nedostupné, je vhodné ho opätovne zobrazit šošovkou. Merané charakteristiky je potom potrebné späť transformovať, aby sme získali hodnoty veličín prislúchajúce vyšetrovanému zväzku pred vstupom do šošovky. Iným príkladom potreby zaradenia šošovky je príliš malé pokrytie snímačej plochy kamery. Šošovka tu slúži na zväčšenie stopy zväzku.

Článok popisuje postupy, ako získať hodnoty charakteristík zväzku po jeho transformácii tenkou spojovou šošovkou, ktorá je v sústave umiestnená stacionárne alebo ako súčasť kamerového systému.

2. CHARAKTERISTIKY ZVÄZKU

Najjednoduchší mód vyžarovania laserov, TEM_{00} , označujeme aj ako Gaussov zväzok. Vyznačuje sa charakteristickým rozložením intenzity v priereze tvaru Gaussovej funkcie v smere radiálnej súradnice r

$$I(r, z) = I_0(z) \cdot \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2}\right) \quad (1)$$

Veľkosť intenzity sa mení aj v závislosti od pozdĺžnej súradnice z prostredníctvom intenzity I_0 na osi. Polomer Gaussovho zväzku w definujeme ako kolmú vzdialenosť r od osi, na ktorej intenzita poklesne na $1/e^2$ násobok, resp. 13,5 % svojej maximálnej hodnoty [5, 6]. Za predpokladu symetrie zväzku voči osi z je v priestore okraj zväzku daný jeho polomerom a opisuje rotačný hyperboloid. Polomer zväzku w závisí od z podľa vzťahu

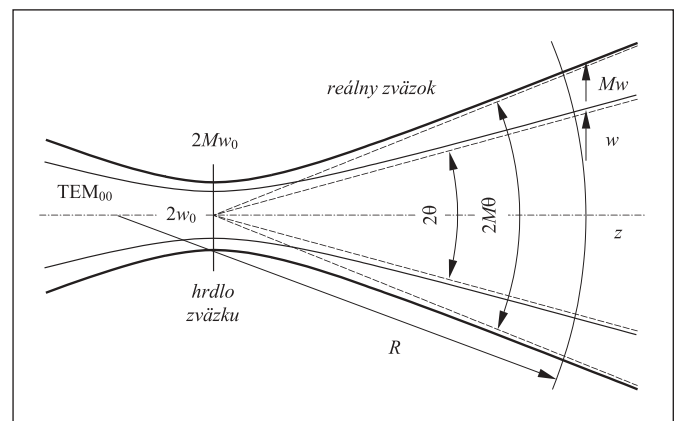
$$w^2(z) = w_0^2 \left(1 + \frac{z^2}{z_R^2}\right) \quad (2)$$

kde z_R je Rayleighova vzdialenosť [5], ktorá tvorí hranicu medzi tzv. blízkou a ďalekou oblasťou, w_0 je polomer najužšej časti zväzku.

Veľkosť polomeru krivosti vlnoplochy R sa v smere osi z mení podľa závislosti

$$R(z) = z \cdot \left(1 + \frac{z^2}{z_R^2}\right) \quad (3)$$

V mieste $z = z_R$ je polomer $w = w_0 \cdot \sqrt{2}$ a vlnoplocha zväzku tu nadobúda maximálne zakrivenie $R = 2z_R$. V ďalej oblasti za hranicou z_R už zväzok môžeme aproximovať guľovou vlnou o polomere krivosti $R \approx z$.



Obr. 1 Charakteristické parametre reálneho a vloženého Gaussovho zväzku – TEM_{00} módu

Veľkosť Rayleighovej vzdialenosti je s polomerom hrdla zväzku w_0 zviazaná vzťahom

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (4)$$

kde λ je vlnová dĺžka. Uhol rozbiehavosti, ktorý udáva stupeň divergencie zväzku definujeme podielom

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi \cdot w_0} \quad (5)$$

Po dosadení vzťahu (5) do výrazu pre z_R dostaneme

$$z_R = \frac{w_0}{\theta} \quad (6)$$

V praxi z rôznych príčin nie je možné Gaussov zväzok získať. Reálne zväzky porovnávame s ideálnym Gaussovým zväzkom prostredníctvom bezrozmerného parametra M^2 (obr. 1). Je ukazovateľom kvality a vyjadruje mieru nedokonalosti zväzku [7]. Faktor M^2 zapisujeme ako podiel

$$M^2 = \frac{\Theta \cdot W_0}{\theta w_0} \quad (7)$$

kde charakteristiky reálneho zväzku označujeme veľkými písmenami. Parameter M^2 teda definuje triedu zväzkov s konštantným súčinom ΘW_0 úmerným súčinu θw_0 . Gaussov zväzok v tomto prípade označujeme ako vložený reálnemu zväzku (obr. 1).

Vzťahy (1) – (6) môžeme na základe (7) vyjadriť pre reálny zväzok nasledovným spôsobom

$$I(r, z) = I_0(z) \cdot \exp\left(-\frac{2r^2}{W^2}\right), \quad W^2(z) = W_0^2 \left(1 + \frac{z^2}{Z_R^2}\right),$$

$$R(z) = z \cdot \left(1 + \frac{Z_R^2}{z^2}\right) \quad (8)$$

$$Z_R = \frac{\pi W_0^2}{\lambda}, \quad \Theta = \frac{\lambda}{\pi W_0}, \quad Z_R = \frac{W_0}{\Theta} \quad (9)$$

kde význam jednotlivých označení, v tomto prípade veľkými písmenami, je rovnaký ako pre Gaussov zväzok.

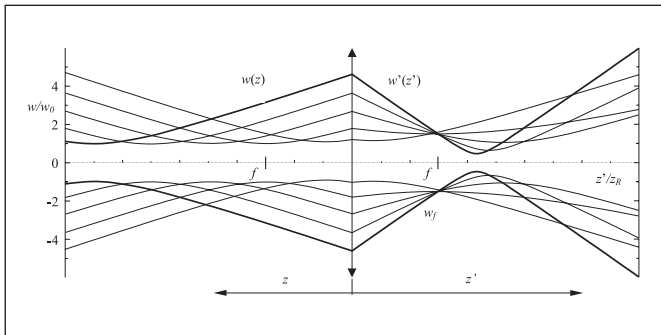
V praxi na meranie polomeru zväzku využívame vzťah (2) vyjadrujúci závislosť $w(z)$ [8]. Tieto merania bývajú obmedzené polohou hrdla zväzku alebo pričnými rozmermi zväzku v oblasti okolo hrdla, čo býva prekážkou najmä pri použití CCD kamery. Podobné nedostatky odstraňujeme použitím šošovky jedným z nižšie popísaných spôsobov.

3. TRANSFORMÁCIA ZVÄZKU ŠOŠOVKOU

Ak sa hrdlo zväzku nachádza v dutine rezonátora alebo je meraniu nedostupné z iných dôvodov, môžeme ho znovu zobrazit v priestore za tenkou spojivou šošovkou. Z teórie je známe, že pri zobrazovaní hrdla gaussovského zväzku sa nemožno riadiť štandardnými zákonmi geometrickej optiky [9]. Vývoj zväzku za šošovkou popíšeme vzťahmi, ktoré dávajú do súvislosti jeho pôvodné a transformované parametre

$$\frac{w_0^2}{w_0'^2} = \left(1 - \frac{z_0}{f}\right)^2 + \left(\frac{z_R}{f}\right)^2 \quad \text{a} \quad \left(1 - \frac{z_0'}{f}\right) = \frac{w_0'^2}{w_0^2} \cdot \left(1 - \frac{z_0}{f}\right) \quad (10)$$

Prvý vzťah predstavuje zmenu veľkosti a druhý zmenu polohy hrdla zväzku [6]. Vzdialenosti z_0 a z_0' označujú polohy hrdiel w_0 a w_0' vzhľadom k šošovke.



Obr. 2 Transformácia Gaussovho zväzku tenkou šošovkou

Zmenou polohy šošovky voči hrdlu zväzku w_0 zmeníme aj parametre zväzku za šošovkou (obr. 2). Nemenná zostáva šírka zväzku v mieste $z' = f$. Hrdlo zväzku sem zobrazíme v prípade, že sa nachádza v mieste $z_0 = f$. Túto skutočnosť využívame na meranie rozbiehavosti zväzku na základe vzťahu (10) vľavo), ktorý v prípade rovnosti $z_0 = f$ prejde do tvaru

$$\frac{w_0}{w_0'} = \frac{z_R}{f} \quad (11)$$

a po úprave

$$w_{z_0=f} = \frac{f}{z_R} w_0 = \frac{f}{\pi w_0^2 / \lambda} w_0 = \frac{\lambda}{\pi w_0} f = \theta \cdot f \Rightarrow \theta = \frac{w_f}{f} \quad (12)$$

Ak do priestoru za šošovkou umiestnime CCD kameru a pohybujeme ňou v okolí hrdla, môžeme zaznamenať priečne rezy transformovaného zväzku v tvare závislosti $w'(z')$. Hodnoty charakteristik pôvodného zväzku potom získame využitím inverzných vzťahov k závislostiam (10).

Zväzok za šošovkou je opäť Gaussov a jeho polomer w' sa s prejednou vzdialenosťou z' mení na základe vzťahu

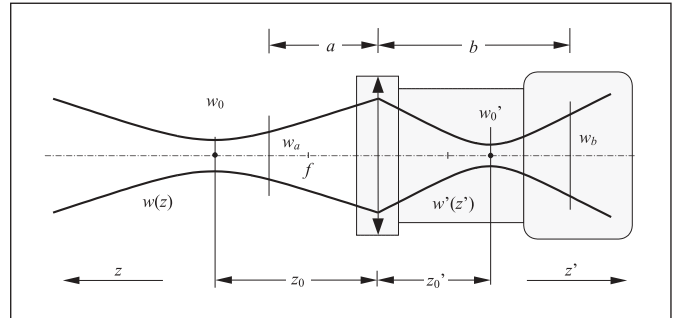
$$w'^2(z') = w_0'^2 + \frac{\lambda^2}{\pi^2 \cdot w_0'^2} \cdot (z' - z_0')^2 \quad \text{alebo} \quad \frac{w'^2(z)}{w_0'^2} = 1 + \left(\frac{z' - z_0'}{z_R'}\right)^2 \quad (13)$$

Zmeraním závislosti $w'(z')$ získame hodnoty parametrov w_0' , z_0' a z_R' prejedného zväzku, na výpočet parametrov w_0 , z_0 a z_R vstupujúceho zväzku využijeme vzťahy

$$\frac{w_0^2}{w_0'^2} = \left(1 - \frac{z_0'}{f}\right)^2 + \left(\frac{z_R'}{f}\right)^2 \quad (14)$$

$$\frac{z_R}{z_R'} = \frac{w_0^2}{w_0'^2} \quad \text{a} \quad \frac{z_0 - f}{z_0' - f} = \frac{w_0^2}{w_0'^2} \quad (15)$$

V prípade, keď úlohu šošovky plní objektív ako súčasť kamerového systému, zachováva sa obrazová vzdialenosť b konštantná. Pohybom takejto sústavy vo zväzku zobrazujeme rezy vyskytujúce sa v predmetovej vzdialenosti a (obr. 3).



Obr. 3 Prechod zväzku objektívom kamery so záznamom prierezu v obrazovej vzdialenosti b

V obrazovej rovine vzdialenej o $z_0' - b$ od hrdla prejedného zväzku (obr. 3), vyjadříme veľkosť kvadrátu polomeru w_b vzťahom

$$w_b^2 \equiv w'^2(z_0' - b) = w_0'^2 + \frac{\lambda^2}{\pi^2 \cdot w_0'^2} (z_0' - b)^2$$

alebo (16)

$$\frac{w_b^2}{w_0^2} = \frac{w_0'^2}{w_0^2} + \frac{w_0'^2}{w_0^2} \left(\frac{z_0' - b}{z_R'}\right)^2$$

Záznamom hodnôt polomerov transformovaných z predmetovej do obrazovej roviny získame závislosť $w_b(z)$. Jej analytický tvar odvodíme úpravou predchádzajúcich výrazov (10). Výsledkom je rovnosť

$$\frac{w_b^2}{w_0^2} = \left(\frac{b}{f} - 1\right)^2 + \frac{1}{z_R^2} \left[b - z_0 \left(\frac{b}{f} - 1\right) \right]^2 \quad (17)$$

ktorá po menších úpravách prejde do vzťahu

$$w_b^2 = \beta^2 \left[1 + \left(\frac{z_0 - a}{z_R}\right)^2 \right] w_0^2 \quad (18)$$

Rovnakú závislosť nadobudneme aj prostredníctvom geometrickej optiky [10]. Na základe predpokladu, že $w_b = \beta w_a$ je geometrickým obrazom polomeru w_a z predmetovej roviny šošovky môžeme napísať

$$\frac{w_b^2}{w_0^2} = \beta^2 \cdot \frac{w_a^2}{w_0^2} = \beta^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{z_0 - a}{z_R}\right)^2 \right] = \beta^2 (1 + z_a^2) \quad (19)$$

kde sme využili vzťah (2). Pohybom predmetovej roviny po osi zväzku, teda zmenou relatívnej súradnice z_0' , dostávame tak v konštantnej obrazovej vzdialenosti b informáciu o priereze β -krát zväčšeného vstupujúceho zväzku

$$w_b = \beta \cdot w_a \quad (20)$$

Zmenu zväčšenia β daného polomeru w_a dosiahneme zmenou obrazovej vzdialenosti b , teda zmenou polohy roviny pozorovania voči hlavnej roviny šošovky za predpokladu, že ostatné podmienky vrátane veľkosti ohniskovej vzdialenosti f zostanú nezmenené.

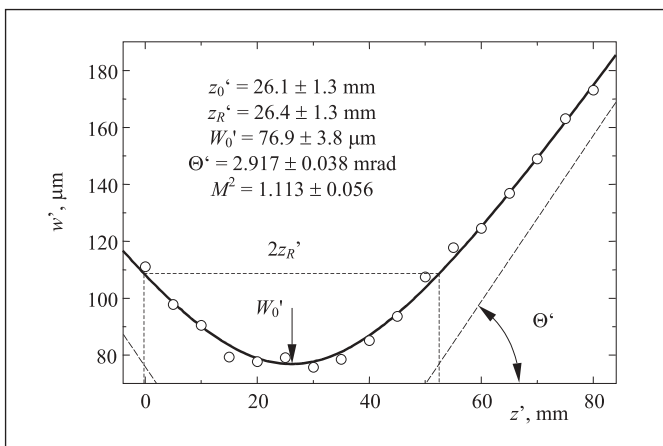
Pri známej veľkosti obrazovej vzdialenosti b a ohniskovej vzdialenosti f vieme určiť, s akým zväčšením β budeme obraz polomeru zväzku zaznamenávať. To nám umožní nájsť hodnoty parametrov vstupujúceho zväzku pomocou výrazov

$$w_0 = w_0' / \beta, \quad M^2 = M^2' / \beta^2 \quad \text{a} \quad \Theta = \Theta' / \beta \quad (21)$$

pričom Rayleighova vzdialenosť sa v tomto prípade zachováva, t.j. $z_R = z_R'$.

4. VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Za zdroj žiarenia sme zvolili hélium-neónový (ďalej HeNe) laser, ktorého zväzok považujeme približne za gaussovský. V prvom prípade sme zaznamenali transformovaný zväzok pre tri polohy šošovky. Po využití vzťahov spätnej transformácie (14) a (15) očakávame zhodné veľkosti charakteristík zväzku pred vstupom do šošovky. Na obrázku 4 je jedna z nameraných závislostí $w'(z')$ s vyznačeným významom a hodnotou určovaných parametrov.

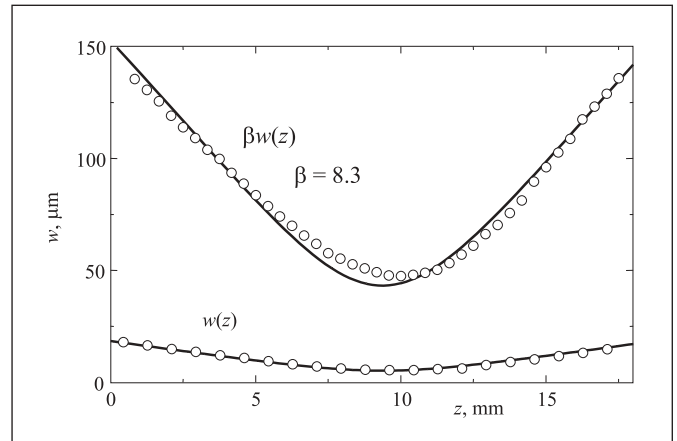


Obr. 4 Určenie parametrov zväzku transformovaného šošovkou

Hodnota parametra M^2 sa po prechode zväzku tenkou spojnou šošovkou nemení. Využitím inverzných závislostí (14, 15) sme získali hodnoty charakteristík vstupujúceho zväzku (tab.1). V tabuľke sú uvedené hodnoty parametrov w_0 a M^2 , w_0' a M^2' prislúchajú prejdennému zväzku. Na základe výsledkov meraní v troch polohách šošovky možno usúdiť, že hodnoty charakteristík pôvodného

zväzku (tab.1, prvé tri riadky) zodpovedajú reálnym očakávaniam. Dokazuje to veľkosť parametra M^2 , ktorá sa pohybuje medzi 1,10 a 1,12. Z literatúry je známe, že táto konštanta sa u HeNe laserov pohybuje od 1,1 po 1,2 [7]. Odlišnosti vo veľkostiach charakteristík sa menia v rámci odhadov neistôt meraní.

V popísanom prípade sme zaznamenávali transformovaný zväzok, avšak pri zväčšení rozmeru stopy zväzku sa značne zväčšila aj hodnota Rayleighovej vzdialenosti (tab.1). Záznam polomerov zväzku CCD kamerou s upevneným objektívom umožňuje získať rozmer stopy s konštantným zväčšením pri zachovaní veľkosti z_R (obr. 5). Takýmto spôsobom dosiahneme, že aj v oblasti hrdla bude pokrytý dostatočný počet pixelov kamery bez zväčšovania rozsahu pohybu kamery.



Obr. 5 Určenie parametrov zväzku zväčšeného do obrazovej roviny šošovky, $w(z)$ pôvodný zväzok

Výsledky merania sú prezentované v tabuľke 1 spolu s meraním pri zväčšení $\beta = 10,2$.

Koeficient M^2 sa v tomto prípade mení kvadraticky so zväčšením β . Hodnoty, ktoré sme získali využitím vzťahov (23) sú 1,12 a 1,19, čo opäť korešponduje s dobre známou teóriou. V oboch prípadoch sme získali približne zhodné výsledky. Polomer hrdla a M^2 faktor podávajú postačujúcu informáciu o zväzku v jednom pozdĺžnom reze.

U polovodičových laserov má význam meranie uvedenými metódami uskutočniť v dvoch vzájomne kolmých rovinách xz a yz (z je pozdĺžna súradnica). Meraním veľkosti polomerov w_{0x} a w_{0y} zistíme mieru elipticity zväzku, ich vzájomná vzdialenosť zase stanovuje veľkosť astigmatizmu. Fakt, že zväzok je eliptický a astigmatický súčasne potvrdzuje aj rozdielna hodnota M_x^2 a M_y^2 .

5. ZÁVER

Článok popisuje metódy získavania charakteristík zväzku, ktorý sondujeme po prechode tenkou spojnou šošovkou. Prvý prípad transformovania zväzku sa v praxi vyskytuje často kvôli nedostupnosti hrdla zväzku. Pri meraní v druhom prípade je me-

Tab. 1 Výsledky dvoch popísaných metód merania

	W_0' / W_0	$W_0' [\mu\text{m}]$	M^2'	$W_0 [\mu\text{m}]$	M^2	z_R'	z_R
1. metóda	2,5	$68,4 \pm 5,7$	$1,10 \pm 0,09$	$27,3 \pm 2,2$	$1,10 \pm 0,09$	$21,1 \pm 1,8$	$3,37 \pm 0,28$
	2,83	$76,9 \pm 3,8$	$1,11 \pm 0,05$	$27,1 \pm 1,3$	$1,11 \pm 0,05$	$26,4 \pm 1,3$	$3,29 \pm 0,16$
	3,03	$84,8 \pm 1,7$	$1,12 \pm 0,02$	$27,9 \pm 0,6$	$1,12 \pm 0,02$	$31,8 \pm 0,7$	$3,46 \pm 0,07$
2. metóda	8,3	$203,9 \pm 13,9$	$77,15 \pm 17,90$	$24,6 \pm 1,7$	$1,12 \pm 0,26$	$2,93 \pm 0,55$	$2,93 \pm 0,55$
	10,2	$240,9 \pm 13,2$	$123,32 \pm 12,43$	$23,7 \pm 1,3$	$1,19 \pm 0,12$	$3,06 \pm 0,27$	$3,06 \pm 0,27$

tóda výhodná kvôli zväčšeniu priečného rozmeru zväzku v oblasti hrdla, čo má význam najmä pri použití CCD kamery. Dôvodom je digitálny charakter obrázkov a jeho delenie na obrazové body. Čím viac pixelov čipu zväzok pokryje, tým presnejšia je získaná informácia. V oboch prípadoch sme na zaznamenanie jednotlivých rezov použili CCD kameru typu EDC-1000 (aktívny CCD element $2.64 \times 2.64 \text{ mm} \sim 195 \text{ H} \times 165 \text{ V}$ pixelov) a na ilustráciu Gaussovho profilu sme vyšetrovali zväzok HeNe lasera o vlnovej dĺžke $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

Popísané metódy merania sú široko využiteľné v praxi najmä pri úprave profilov zväzkov polovodičových laserov. Úprava astigmatického eliptického zväzku totiž spravidla smeruje k jeho symetrizácii a dosiahnutiu gaussovského profilu. Uvedené postupy nemajú vysoké nároky na laboratórne vybavenie. Možno ich realizovať s rovnakým zariadením a výsledky porovnávať. Prvá z metód je vhodná na získanie informácií o zväzku, ktorý prechádza optickou sústavou obsahujúcou šošovku. Obidve umožňujú zvýšiť presnosť vzorkovania zväzku pokrytím väčšej plochy CCD detektora a získať informáciu o reálnom zväzku. Dosiahnuté rozlíšenie v priečnom smere závisí od typu použitej kamery a rozmeru obrazového elementu - pixelu, ktorý je numerickou reprezentáciou intenzity. Rozmery pixelov ako aj celej záznamovej plochy čipu určujú hranicu pre maximálne použiteľné zväčšenie polomeru zväzku. Záznam polomeru kamerou obsahuje plošnú informáciu o priereze zväzku, preto sa dá využiť na určenie polomeru v dvoch navzájom kolmých smeroch. Priradením farebných odietňov či súradnicových vzdialeností jednotlivým pixelom vieme získať aj 2D alebo 3D vyobrazenie priečného profilu zväzku.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky prostredníctvom finančnej podpory projektu APVT-51-012102. Autori preto ďakujú za túto finančnú pomoc.

L i t e r a t ú r a

- [1] V. Kollárová: *Úprava eliptického astigmatického svazku*, JMO, 49, 2004, s. 6.
- [2] ModeMaster PC – M² Beam Propagation Analyzer, <http://www.catalog.CoherentInc.com>.
- [3] Laser Beam Characterization, <http://www.mellesgriot.com/products/instruments/BeamAlyzer>.
- [4] R. Kramer, H. Schwede, K. Hänsel: *Beam Diagnostics for High Power Diode Laser*, Pfungstadt.
- [5] M. W. Sasnett, T. F. Johnston, Jr.: *Beam characterization and measurement of propagation attributes*, SPIE Vol. 1414 Laser Beam Diagnostics, 1991, p. 21.
- [6] J. M. Klimkov: *Příkladnaja lazernaja optika*, Mašinstrojennie Moskva, 1985, 128 s.
- [7] A. E. Siegman: *New developments in laser resonators*, SPIE Vol. 1224 Optical Resonators, 1990, p. 2.
- [8] P. Vojtek, Z. Zábudlá, M. Kopčok: *Meranie parametrov Gaussovho zväzku*, JMO, 43, 1998, s. 218.
- [9] S. A. Self: *Focusing of Spherical Gaussian Beams*, Appl. Optics, p. 658, Vol. 22, No. 5, March 1983
- [10] J. Guttenová: *Priestorové charakteristiky laserových zväzkov*, rigorózna práca, Katedra optiky FMFI UK Bratislava, 2004.

RNDr. Jana Guttenová, Ústav merania SAV, Dúbravská cesta 9, 841 05 Bratislava, tel.: 02/547 732 69, e-mail: umergute@savba.sk
RNDr. Pavel Vojtek, CSc., Katedra experimentálnej fyziky FMFI UK, 842 48 Bratislava, tel.: 02/602 956 68, e-mail: vojtek@fmph.uniba.sk

Petr HRNČIŘÍK, Ilona MÜLLEROVÁ, Ústav přístrojové techniky AV ČR, Brno

Rastrovací elektronový mikroskop pro studium povrchů

Věnováno prof. Ing. A. Delongovi, Dr.Sc. k jeho osmdesátinám

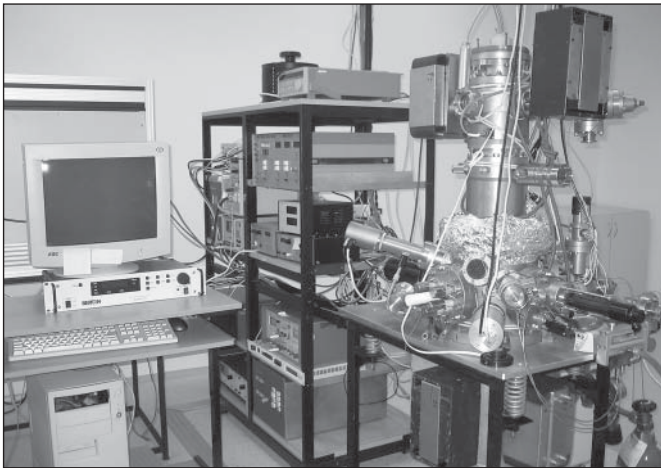
Byl postaven rastrovací elektronový mikroskop pro studium povrchů pomocí velmi pomalých elektronů a Augerových elektronů. Přístroj vznikl renovací zastaralého ultravakuového rastrovacího elektronového mikroskopu Tesla BS 350. Vakuový systém mikroskopu byl kompletně zrekonstruován, mikroskop byl připojen k počítačem řízené elektronice a zkonstruovány a uvedeny do provozu byly potřebné detektory pro veškeré obrazové signály.

1. ÚVOD

V Ústavu přístrojové techniky AV ČR byla vyvinuta metoda zobrazování povrchu vzorku v rastrovacím elektronovém mikroskopu (REM) pomalými elektrony pomocí tzv. katodové čočky [1]. Tento prvek umožňuje plynule měnit energii dopadu elektronů na povrch vzorku až do jednotek eV se zachováním vysokého rozlišení obrazu [2]. REM vybavený katodovou čočkou označujeme zkratkou SLEEM - Scanning Low Energy Electron Microscope. Experimenty ukázaly, že při nízkých energiích dopadajících elektronů se vzhled obrazu výrazně mění, zejména pokud jde o tzv. materiálový kontrast, který je za obvyklých podmínek úměrný atomovému číslu materiálu vzorku. Při nízkých energiích však výtěžek odražených elektronů přestává být monotónní závislostí. Při interpretaci obrazu by mohla po-

moci doplňková informace, tj. zobrazení téže struktury jinou vhodnou metodou. V úvahu přichází Augerova spektro-mikroskopie, která umožňuje zjistit prvkové chemické složení látek a je podobně povrchově citlivá, jako metoda SLEEM.

Pro pokusy s kombinací povrchově citlivých signálů bylo rozhodnuto zrenovovat prototyp mikroskopu Tesla BS 350, který byl před lety odstaven a zakonzervován, především pro nefunkčnost elektroniky, a postupně z části rozebrán. Nyní byl přístroj přestavěn, oživen a uveden do provozu. Původním cílem bylo pořízení provizorní aparatury pro provedení několika metodologicky zaměřených experimentů. Renovace však postupně přerostla předem vytýčený rozsah úprav a výsledkem je nyní zmodernizovaný, digitálně řízený analytický REM s mnoha detektory (*obr. 1*).



Obr. 1 Rastrovací elektronový mikroskop pro studium povrchů

2. RASTROVACÍ ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP TESLA BS 350

REM Tesla BS350 byl vyvinut v 70. letech minulého století v Ústavu přístrojové techniky ČSAV skupinou profesora Delonga [3]. Ve své době byl světově unikátním zařízením moderní koncepce. Byl vybaven autoemisní tryskou s monokrystalickou wolframovou katodou o orientaci 310, provozovanou za pokojové teploty, a ultravysokým vakuem v komoře preparátu. Přístroj byl určen pro analýzu povrchů pevných látek a umožňoval nejen zobrazení povrchu studovaného preparátu, ale i prvkovou mikroanalýzu pomocí spektroskopie charakteristického rtg záření a spektroskopie Augerových elektronů. Ovládání mikroskopu bylo poměrně jednoduché díky jeho automatizaci a také logickým obvodům, zabraňujícím chybné manipulaci. Původní příliš složitá elektronika na bázi diskretní logiky však rychle morálně zastarala, byla nespolehlivá a brzy i neopravitelná. Koncem 80. let, kdy byl mikroskop využíván pro fyzikální experimenty [4], k němu byla připojena novější elektronika, vyvinutá pro REM Tesla BS 340. Avšak ani tato elektronika nebyla spolehlivá a proto bylo toto jinak velmi kvalitní zařízení odstaveno z provozu, elektronika zlikvidována a tubus mikroskopu zakonzervován. Mezitím se totiž dalším problémem stala studená autoemisní katoda. Původní katoda sice fungovala po řadu let, avšak byla velmi citlivá na vibrace, bylo nutné ji často formovat a vykazovala nízkou stabilitu emise, která je pro dlouhodobá měření především Augerových spekter nezbytná. Mimoto se po skončení životnosti původní katody nedařilo vyrobit náhradu odpovídající parametrů.

Odstranění výše uvedených nedostatků bylo výchozím záměrem přestavby přístroje a nejsilnější motivací bylo „levné“ pořízení funkčního Augerova „spektromikroskopu“, který byl ve vybavení ústavu citelně postrádán.

3. DETEKČNÍ REŽIMY PŘÍSTROJE

Mikroskop byl postupně vybaven detektorem sekundárních elektronů (SE), detektorem zpětně odražených elektronů (BSE), detektorem prošlých elektronů (TE) a analyzátozem Augerových elektronů pro prvkovou analýzu povrchů (obr. 2).

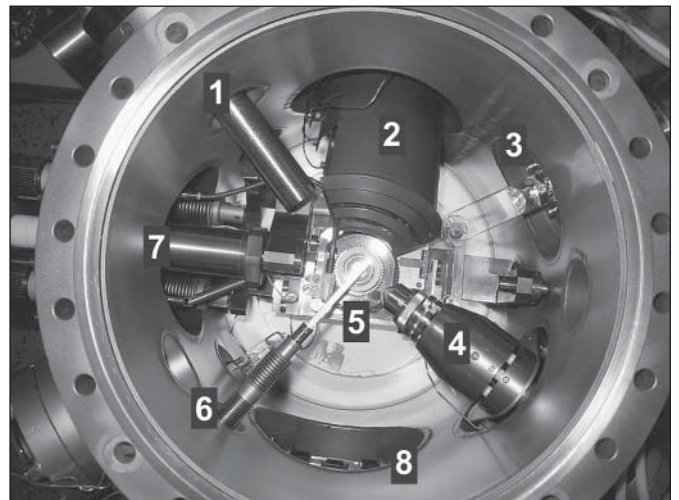
Analýzátozem Augerových elektronů byl původní součástí REM Tesla BS 350. Byl konstruován jako třetinová výšeč válcového zrcadlového analyzátozu (CMA – Cylindrical Mirror Analyzer) a jako detektor Augerových elektronů byl použit kanálový násobič elektronů (channeltron). Spektroskopie Augerových elektronů byla určena k povrchově citlivé chemické analýze [5]. Analýza vzorků do nepatrné hloubky několika atomových rovin vyžaduje atomově čisté povrchy, z nichž byly odstraněny všechny kontaminanty včetně adsorbovaných molekul plynů. Proto bylo do přístroje instalováno zařízení pro čištění povrchu preparátu před jeho pozorováním pomocí svazku iontů argonu generovaného iontovým zdrojem pracujícím na principu ionizace plynu nárazem elektronů.

Nově zkonstruovaným detektorem pro detekci sekundárních elektronů je klasický Everhartův-Thornleyho typ s monokrystalickým scintilátorem YAG (Yttrium Aluminium Garnet), světlovedem a fotonásobičem. Detektor byl zkonstruován na relativně úzký vstup vakuovou stěnou (příruba CF50), je plně ultravakuově (UHV) kompatibilní, má vysokou sběrovou účinnost a kompaktní tvar. Detektor je bezmřížkový a extrakční potenciál odsávající elektrony z prostoru nad vzorkem je možné nastavovat na optimální hodnotu. Slouží k tomu změna polohy vnější elektrody detektoru, která je na zemním potenciálu a umístěna koaxiálně vůči scintilátoru, připojenému k vysokému kladnému potenciálu.

Detektor zpětně odražených elektronů je současně anodou katodové čočky [6] a slouží tedy i k detekci pomalých a velmi pomalých elektronů (SLEEM) o energiích až do jednotek eV. Součástí adaptace byl návrh a konstrukce nového detektoru zpětně odražených elektronů, který je možné v průběhu iontového čištění povrchu vzorku vysunout ke stěně komory a zabránit jak poškození tenké vodivé vrstvy na povrchu krystalu YAG dopadem iontů, tak i případnému pokrytí scintilátoru odprášeným materiálem. Nutné je také jemné mechanické dostavování polohy detektoru ve všech třech osách. Pro zachování ultravysokovakuové kompatibility a vypékateľnosti aparatury je světloved detektoru zhotoven z křemenného skla.

Dalším bodem adaptace byl návrh a zhotovení nového stolku vzorku z obrobiteľné keramiky. Ten umožnil izolovat vzorek a připojit jej přes vakuovou stěnu ke zdroji vysokého záporného potenciálu.

Detektor prošlých elektronů byl koncipován s polovodičovým snímacím prvkom na bázi PIN struktury. Dovoluje pozorovat velmi tenké fólie pomocí elektronů o energii v jednotkách eV [7,8]. Všechny detektory jsou stavěny na použití při pracovním tlaku až 10^{-7} Pa.



Obr. 2 Rozmístění detektorů v komoře: 1 - SE detektor, 2 - analyzátozem Augerových elektronů, 3 - detektor pomalých elektronů, 4 - iontový zdroj, 5 - detektor prošlých elektronů (pod držákem vzorku), 6 - clona objektivu, 7 - manipulátor, 8 - propust s deskovým ventilem

4. FYZIKÁLNÍ ČÁST MIKROSKOPU

Pro vytváření primárního elektronového svazku v novém přístroji byl zvolen princip Schottkyho emise, vykazující sice poněkud rozměrnější virtuální zdroj elektronů, ale na druhé straně dostatečnou směrovou proudovou hustotu a zejména poměrně vysokou stabilitu emise [9]. Byla adaptována elektronová tryska, původně vyvinutá pro elektronový litograf Tesla BS601.

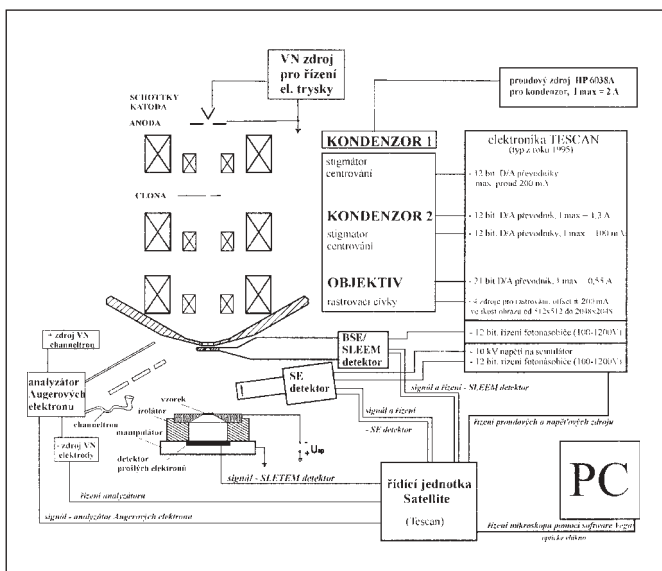
Vakuový systém byl zásadně rekonstruován a čerpání komory vzorku bylo doplněno o tři iontově-getrovací vývěvy o čerpací rychlosti 20 l/s na celkový počet čtyři. Po rekonstrukci je v komoře vzorku dosahováno tlaku $4 \cdot 10^{-7}$ Pa, zatímco tlak v komoře trysky je až

10^{-8} Pa. Předčerpání komory mikroskopu je nyní prováděno mobilní čerpací jednotkou obsahující turbomolekulární a membránovou vývěvu. Tento blok nahradil, při zachování stejné čistoty vakua, původní zdoluhavé předčerpávání sorpčními vývěvami.

Pro napájení analyzátoru Augerových elektronů byly zkonstruovány a oživeny nové vysokonapěťové zdroje a byla upravena detekční trasa analyzátoru. Konečně byl kompletně zrekonstruován a oživen iontový zdroj pro čištění povrchů.

5. ŘÍZENÍ MIKROSKOPU

Původní „analogové“ řízení celého mikroskopu je v dnešní době již nemyslitelné. Na druhé straně existuje řada řešení řídicích jednotek na bázi osobního počítače, vybavených kompletním software pro řízení přístroje, snímání obrazu a zpracování, zobrazování a archivování obrazových dat. Po dohodě s firmou Tescan byla přizpůsobena a připojena řídicí jednotka Satellite mikroskopu řady Vega. Připojit k počítačovému ovládní se podařilo téměř všechny bloky zařízení kromě vysokonapěťového zdroje trysky a zdroje pro první kondenzor, který je součástí elektronové trysky. Obr. 3 ukazuje blokové schéma zapojení. Součástí adaptace řídicího systému bylo i jeho doplnění o program pro řízení analyzátoru Augerových elektronů.



Obr. 3 Schéma zapojení elektroniky k mikroskopu

5. ZÁVĚR

Po několikaletém úsilí začal nový mikroskop pro studium povrchů poskytovat první výsledky. V prvním experimentálním období byla hlavní pozornost upřena na režim rastrovací prozařovací mikroskopie při extrémně nízké energii elektronů [7, 8]. Současná etapa je věnována Augerově spektromikroskopii vybraných vzorků s cílem vypracovat metodiku kombinace analytického obrazového signálu se zobrazením pomocí velmi pomalých elektronů.

Práce vznikla za podpory projektu GA AV ČR č. KJB2065405. Autoři děkují doc. RNDr. B. Lencové, CSc. za kritické připomínky k rukopisu.

Literatura

- [1] Lenc M., Müllerová I., Electron optical properties of a cathode lens, *Ultramicroscopy* 41 (1992) 411.
- [2] Müllerová I., Lenc M., The scanning very-low energy electron microscope (SVLEEM), *Microchim. Acta (Suppl.)* 12 (1992) 173.
- [3] Delong, A., Drahoš V., Kolařík V., Lenc M., Hladil K., Šálek R., Rastrovací elektronový mikroskop s autoemisní tryskou, *Slaboproudý obzor* 39 (1978) 443.
- [4] Müllerová I., Lenc M., Florián M., Collection of backscattered electrons with a single polepiece lens and multiple detector, *Scanning Microsc.* 3 (1989) 419.
- [5] Frank L., Klasické metody analytické mikroskopie, v *Metody analýzy povrchů: Elektronová mikroskopie a difrakce*, ed. L. Eckertová a L. Frank, Academia Praha 1996.
- [6] Müllerová I., Frank L., *Adv. in Imaging and Electron Physics* 128 (ed. P.W. Hawkes), Elsevier 2003, 309.
- [7] Hrnčířík P., Krivánek O., Müllerová I., Very low energy scanning transmission electron microscope, in: *Proc. of EMC 2004*, Antwerp, Belgium, Vol. I, IM9.P02.
- [8] Hrnčířík P., Müllerová I., Very low energy scanning electron microscope, *GIT I&M* 6 (2004) 47.
- [9] Kolařík V., Elektronové zdroje pro mikroanalytické aplikace, v *Metody analýzy povrchů: Elektronová mikroskopie a difrakce*, ed. L. Eckertová a L. Frank, Academia Praha 1996.

Ing. Petr Hrnčířík, Ing. Ilona Müllerová, DrSc., Ústav přístrojové techniky AV ČR, Královopolská 147, 612 64 Brno, email: hrncirik@isibrno.cz, www.isibrno.cz, tel: 541 514 111, fax: 541514402

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají i v elektronické formě. Nejvhodnější je dodat text ve formě souborů z běžných textových editorů, např.: Word for Windows. Sazba časopisu se provádí programem Adobe PageMaker 6.5.

Grafickou část příspěvku je také vhodné dodat v elektronické formě. Mohou to být soubory *.CDR verze 3 až 11, *.EPS, *.TIF *.JPG a jiné běžné formáty. Grafiku nevčleňovat do textu (např. ve Wordu), ale uložit ji na disketu jako samostatné grafické soubory. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie 200 dpi a pro barevné 300 dpi. Ke každému textu nebo grafice musí být přiložen kontrolní výtisk nebo fotografie. Soubory je možno dodat též na médium ZIP 100 MB, CD nebo na e-mail: typoservis@iol.cz. Při nejasnostech technického charakteru kontaktujte tiskárnu na tel.: 573 398 746.

Je žádoucí, aby k článkům dodal autor i překlad resumé a název článku do anglického (českého - slovenského) jazyka.

Zobrazení nevodivého vzorku v rastrovacím elektronovém mikroskopu

Věnováno prof. Ing. A. Delongovi, DrSc. k jeho osmdesátinám

Při pozorování nevodivých struktur v rastrovacím elektronovém mikroskopu se v povrchové vrstvě preparátu hromadí elektrický náboj, který narušuje tvorbu obrazu. Jedním ze způsobů, jak tento nežádoucí děj eliminovat, je pracovat při takové energii primárního svazku, při které je celkový tok emitovaných elektronů roven primárnímu proudu. Byla vytvořena a ověřena metoda umožňující tuto tzv. kritickou energii zjistit pro libovolný preparát nevykazující z hlediska nabíjení výrazné rozdíly mezi oblastmi větších rozměrů.

I. ÚVOD

Rastrovací elektronová mikroskopie (REM) je určena k pozorování objemových vzorků, nicméně pozorování nevodivých preparátů může být velmi obtížné, neboť v místě dopadu primárního svazku na povrch vzorku s nízkou vodivostí dochází k hromadění náboje. Ten ovlivňuje dráhu dopadajících elektronů i elektronů emitovaných, které směřují k detektoru. Důsledkem je tedy nejasný a geometricky zkreslený obraz [1, 2].

Obvyklý způsob potlačování tohoto jevu spočívá v pokrytí povrchu preparátu vodivou vrstvou. Z praktických důvodů je ovšem výhodné pozorovat nevodivé preparáty v elektronovém mikroskopu v původním stavu. Mimoto vodivý povrch skrývá mnohé detaily, které pak mohou „chybět“ při interpretaci obrazu. Další cestou k eliminaci nabíjení je pozorování vzorků při tlacích v komoře v řádu stovek až tisíc Pa. Tato metoda tzv. environmentální rastrovací elektronové mikroskopie je založena na kompenzaci povrchového náboje ionty vznikajícími při srážkách rychlých elektronů s molekulami plynu. Nevýhodou je, že v důsledku těchto srážek ztrácíme v environmentálním mikroskopu významný podíl signálu. Výsledkem je nízký poměr signál k šumu a tedy i horší rozlišení obrazu. I přes tyto problémy je metoda v současnosti nejrozšířenější [3, 4].

Lepšího rozlišení dosáhneme i bez zvodivování nevodivých vzorků pomocí metody nenabíjející rastrovací mikroskopie pomalými elektrony [2].

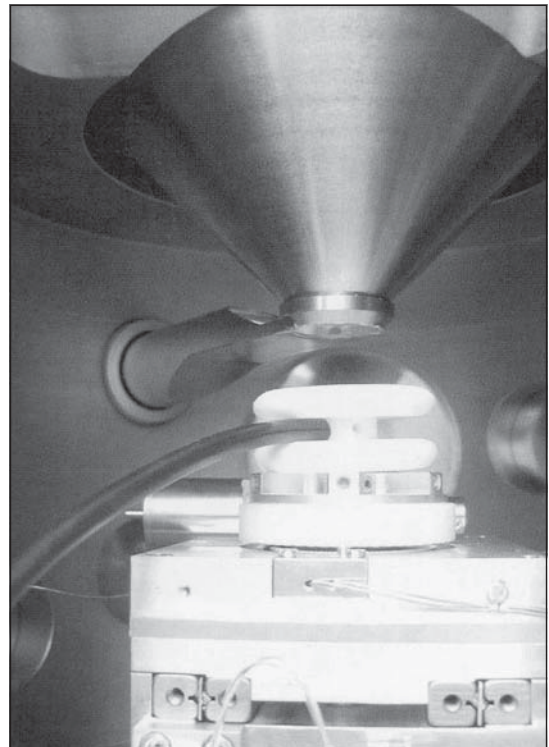
II. METODA NENABÍJEJÍCÍ MIKROSKOPIE

Praktická zkušenost ukazuje, že povrch nevodivého preparátu se při nízkých energiích primárních elektronů nabíjí kladně a při vysokých energiích záporně. Existuje tedy jistá energie, při které se preparát nenabíjí, protože množství dopadajících a emitovaných elektronů je stejné. Ke stanovení této tzv. kritické energie, jejíž hodnota silně závisí na materiálu vzorku a rovněž na úhlu dopadu primárních elektronů, však donedávna neexistoval žádný zavedený postup. Teprve metoda měření časové změny signálu po prvním osvětlení bodu preparátu [5, 6] poskytla možnost rutinně stanovovat tento parametr v jednotlivých bodech zorného pole.

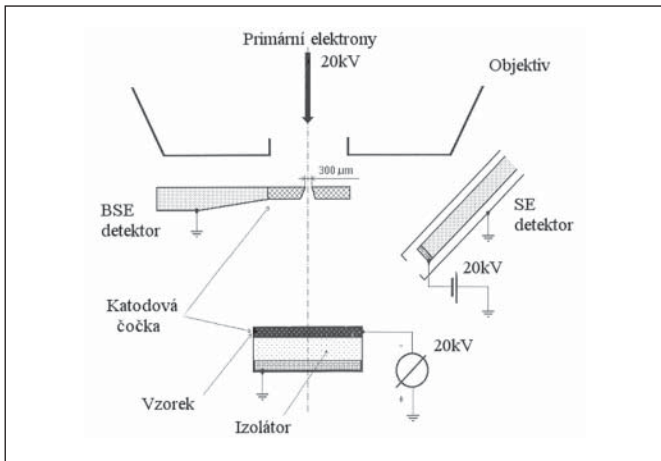
Běžné rastrovací elektronové mikroskopy obvykle nenabízejí možnost plynule měnit energii primárního svazku, a při požadovaných nízkých energiích se výrazně snižuje proud svazku a zhoršuje rozlišení. Pro nasazení metody měření časového průběhu signálu v závislosti na energii dopadu elektronů je proto velmi výhodné doplnit klasický REM elektronově optickým prvkem nazývaným katodová čočka. Tento prvek slouží ke zpomalení zformovaného a zaostrěného primárního svazku na konečnou (nízkou) energii dopadu a umožňuje tuto energii měnit velmi pohodlně, s jen nepatrnými zásahy do nastavení tubusu mikroskopu. Jako katoda čočky slouží přímo povrch vzorku a energie elektronů dopadajících na vzorek je dána rozdílem mezi vysokými potenciály katody trysky a vzorku. V krajním případě může napětí, přivedené na katodu/

vzorek, dosáhnout až hodnoty urychlovacího napětí, tedy desítek keV. Vzorek je tedy nutné umístit na izolátor a spojit jej prostřednictvím vysokonapěťové vakuové průchodky s jemně nastavitelným, vysoce stabilním zdrojem vysokého napětí, který je ovládán z elektroniky mikroskopu.

Anodou katodové čočky je krystal YAG (Yttrium-Aluminium-Garnet, yttrio-hlinitý granát, $Y_3Al_5O_{12}$) s malým otvorem o průměru 300 μm na optické ose. Anoda současně tvoří detektor signálních elektronů. Primární elektrony o energii řádu desítek keV jsou po průletu tubusem mikroskopu bržděny v elektrostatickém poli katodové čočky na energii, s níž dopadají na vzorek. Signální elektrony ze vzorku jsou urychlovány směrem k anodě katodové čočky a zároveň jsou stahovány k optické ose. Na krystal scintilátoru dopadají elektrony z celého spektra emise, posunutého k vyšším energiím o velikost předpětí vzorku. Obvykle je tedy detekována kombinace zpětně odražených a sekundárních elektronů. Obr. 1 ukazuje vnitřek komory preparátu mikroskopu Tescan TS 5130MM. Schéma katodové čočky je na obr. 2.



Obr. 1 Adaptace REM pro použití katodové čočky



Obr. 2 Schéma uspořádání katodové čočky

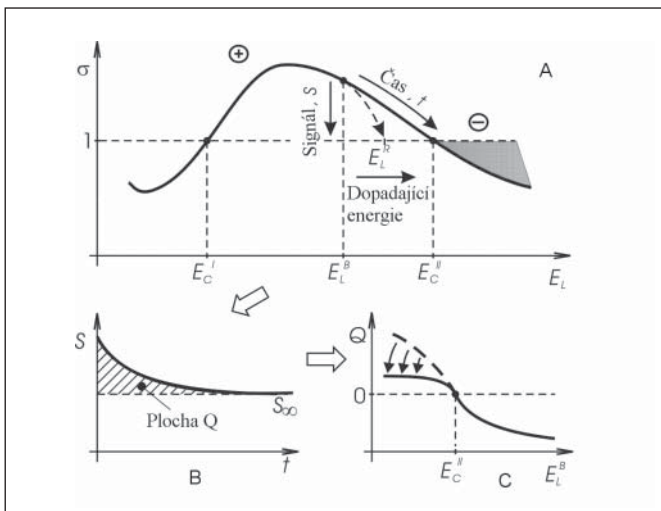
Mikroskop doplněný katodovou čočkou je vhodný pro práci s přijatelným rozlišením i v oblasti velmi nízkých energií (stovky až jednotky eV), jak bylo ověřeno adaptací celé řady komerčních přístrojů [6, 7].

Metoda zobrazování při kritické energii vyžaduje doplnit standardní řídicí software přístroje o program pro hledání kritické energie, který je schopen samostatně digitálně řídit vysokonapěťový přídatný zdroj a usnadňuje obsluhu mikroskopu práci v oblasti nízkých energií.

III. PROGRAM PRO URČENÍ KRITICKÉ ENERGIE

Algoritmus vychází ze skutečnosti, že míra nabíjení a tedy i velikost povrchového potenciálu závisí na celkovém elektronovém výtěžku, který je definován jako poměr proudu emitovaných elektronů z preparátu (sekundárních i zpětně odražených elektronů) k proudu elektronů dopadajících na vzorek. Je-li tento poměr různý od jednotky, dochází k hromadění náboje v preparátu, který je u vodivých vzorků odváděn proudem vzorku, zatímco v nevodivci zůstává v oblasti osvětleného povrchu. Důsledky nabíjení povrchu se promítají do změn v detekovaném obrazovém signálu, jak je patrné z obr. 3A,B.

Za míru nabíjení vzorku je v námi zaváděné metodě [6] považována integrální změna, odpovídající ploše Q pod křivkou časové závislosti $S(t)$ signálu pocházejícího z preparátu. Provedeme-li sérii měření při různých energiích dopadu primárního svazku, můžeme najít energii, pro kterou bude plocha Q minimální nebo takřka nulová (obr. 3C).

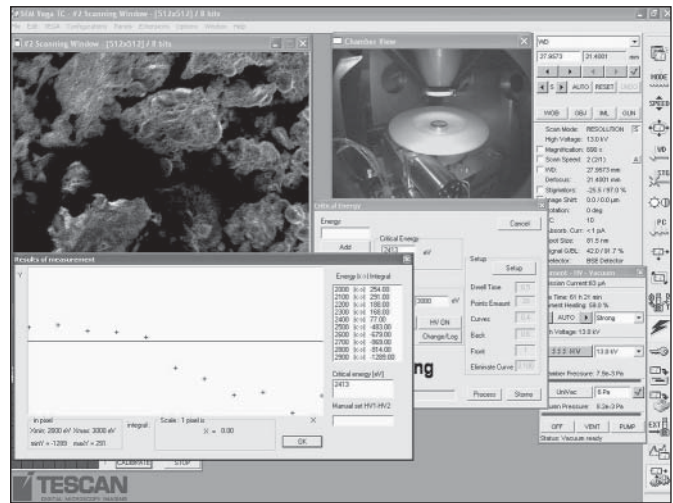


Obr. 3 Závislost celkového elektronového zisku na dopadající energii primárních elektronů (A). Časová závislost obrazového signálu (B). Závislost plochy Q na energii dopadajících elektronů (C)

Pro nevodivé vzorky obvykle existují dvě hodnoty kritické energie, z nichž první je v oblasti desítek až stovek eV a druhá v oblasti stovek až tisíců eV (v obr. 3A označené E_c^A a E_c^B). Jednoduchá úvaha o vlivu povrchového potenciálu na energii dopadajících elektronů ukazuje, že vyšší z těchto energií se v procesu nabíjení nastavuje automaticky, zatímco nižší energie je nestabilní. Proto se snažíme nevodivé materiály pozorovat na vyšší kritické energii.

Podmínkou funkčnosti algoritmu je, že signál $S(t)$ bude pocházet z předem neozářeného místa preparátu. Jen v tomto případě budou zajištěny shodné počáteční podmínky pro různé energie dopadu.

Algoritmus byl naprogramován v jazyce C++ do podoby programového modulu, který komunikuje s obsluhou mikroskopu i s ostatními funkčními bloky přístroje a je schopen najít a zobrazit hodnoty kritické energie daného vzorku. Obr. 4 ukazuje informace zobrazené řídicím programem mikroskopu v modu hledání kritické energie.



Obr. 4 Prostředí modu pro nalezení kritické energie, kritická energie pro hladkou mouku je 2413 eV

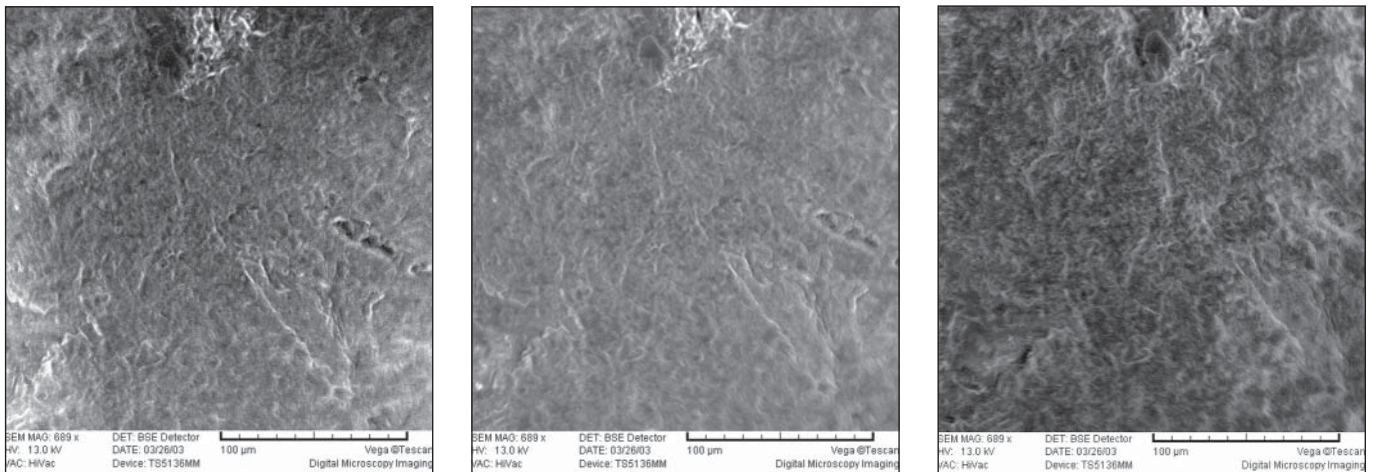
Na přesnost určení kritické energie má negativní vliv šum a také topografie povrchu vzorku, protože velikost emise elektronů významně závisí na úhlu dopadu primárních elektronů na preparát. Obvykle se dosahuje přesnosti určení kritické energie v rozsahu ± 50 až ± 100 eV [6].

IV. OVĚŘENÍ METODY

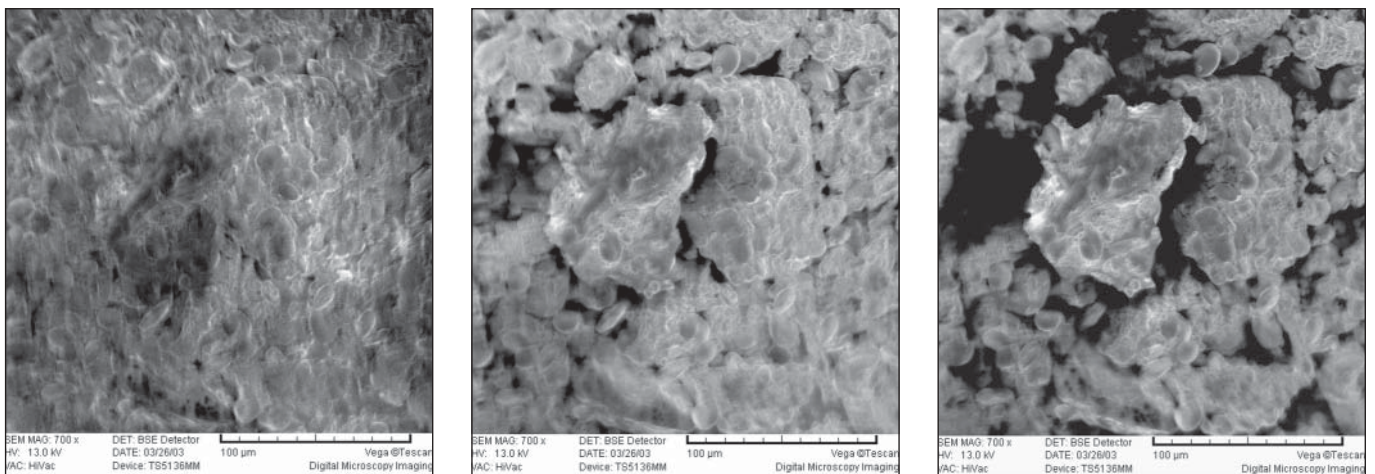
Jako testovací preparáty, ilustrující schopnost metody zobrazit nevodiče včetně takových, u nichž je obtížné dosáhnout jejich zvidnění, byly vybrány korundová keramika a hladká mouka (viz obr. 5 a obr. 6). Vzorky byly vždy nasnímány při kritické energii a také při energiích vyšší a nižší, aby bylo možné porovnat, jak by se preparát choval v nabitěm stavu. Při pozorování běžným elektronovým mikroskopem jsme zpravidla ještě dále od kritické energie a projevy nabíjení jsou mnohem výraznější.

V. ZÁVĚR

Metoda nenabíjející rastrovací elektronové mikroskopie je velmi vhodná k pozorování vláknitých, poréznych nebo práškových struktur bez pokovení a současně bez nežádoucích nabíjecích vlivů. Ušetří se tak čas a náklady spojené s preparací vzorků a jsou získávány snímky věrněji reprodukcující strukturu. Metoda však nemusí být použitelná ve všech případech. Hlavní omezení spočívá v požadavcích na strukturu povrchu preparátu, která musí být hladká s drsností nanejvýš v jednotkách až desítkách μm . Jestliže je preparát tvořen různorodými oblastmi o větších rozměrech, je nutné, aby měly podobnou hodnotu kritické energie. Nejsou-li tyto podmínky splněny, nelze nalézt jednu kritickou energii společnou pro celý vzorek.



Obr. 5 Korundová keramika při energiích zleva: 2300 eV, 2624 eV (kritická energie), 2820 eV



Obr. 6 Zrnka mouky při energiích zleva: 2300 eV, 2413 eV (kritická energie), 2800 eV

Tato práce vznikla za podpory Grantové agentury AV ČR v rámci projektu č. B2065301.

Doc. B. Lencové patří díky za cenné připomínky k rukopisu.

Literatura

- [1] REIMER, L.: Scanning electron microscopy, Springer Verlag, Berlin 1985, 421p.
- [2] FRANK, L., MÜLLEROVÁ, I.: Scanning Low-Energy Electron Microscopy, Advances Imaging and Electron Physics 128 (2003), 310.
- [3] DONALD A. M.: The use of environmental scanning electron microscopy for imaging wet and insulating materials, Nature Materials 2 (8), 2003, 511-516.
- [4] NEDĚLA V., AUTRATA R.: Electron microscopy methods for observation of water containing specimens, Fine mechanics and optics (4) (2004), 112.
- [5] ZADRAŽIL, M.: Zobrazování nevodivých preparátů metodou nenabíjející elektronové mikroskopie, FEKT VUT Brno, 2002.
- [6] FRANK, L. - ZADRAŽIL, M. - MÜLLEROVÁ, L.: Scanning Electron Microscopy of Non-Conductive Specimens at Critical Energies in a Cathode Lens System. Scanning 23 (2001) 36.
- [7] MIKA F. et al: Computer Controlled Low Energy SEM, Microscopy and microanalysis 9 (2003), 116.

Ing. Filip Mika, ÚPT AV ČR, Královopolská 147, 612 64 Brno, tel.: 541 514 298, fumici@isibrno.cz

OZNÁMENÍ

Knihovna SPIE/CS nabízí pro členy SPIE zlevněný odběr omezeného počtu časopisu OPTICAL ENGINEERING – 90 Kč/ks + poštovné a balné. Časopis vychází 12x ročně a přibližný počet stran ve výtisku je 300.

Kontakt: Knihovna SPIE/CS, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc
tel.: 585 631 504, fax: 585 631 351, e-mail: kucerova@optnw.upol.cz

Non-contact measurement of small deformation of an object by means of the speckle correlation method

The article describes a modern optical method for measurement of small deformation of an object. The method uses the speckle phenomenon and is based on the decorrelation of speckle patterns, which is caused in consequence of a small deformation of an object under investigation. This article that has an overview trait presents briefly the concept of the measurement method and mentions basic equations valid for propagation of speckle fields in the optical free space and image field between the speckle motion and the object deformation. The main attention is focused on utilization of the method for measurement of the components of the small deformation object, i.e. an object rotation, elastic deformation and translation, both static and dynamic one (vibrations). The designed experimental set-ups for each case are presented and some achieved results are included, too.

1. INTRODUCTION

A speckle pattern is a well-known optical effect. It can be observed in the instant when an object with a rough reflecting surface is illuminated by a coherent optical beam. The propagation of the coherent beam through a medium with random refractive index fluctuations or a diffuser also causes the arising of the speckle effect. The effect manifests itself in visible dark and bright speckles, which can be observed on any screen, placed anywhere in front of the object in so called speckle field (in the case of the reflection). The field is a result of the interference of multiple coherent spherical waves generated by point sources that form the object surface. Since the point sources emit the waves into a wide range of angles, the arising speckle field is not localized in space (e.g. one plane) but it fills the complete volume occupied by the interfering waves [1-3].

Firstly, the speckle pattern was regarded as a parasitical phenomenon, particularly in the area of holography. However it was discovered later that the speckle effect could play an important role in many branches of physics (optics, mechanics, etc.). In mechanics, the effect enables, among others, to determine small deformation tensor components or derived quantities.

The solution of problems of the non-contact optical measurement of an object deformation has noted several significant stages during its evolution. The photoelasticity dominated mainly in the 50's of the 20th century [4, 5]. The next development was strongly influenced by the holographic interferometry especially in the 70's. The philosophy of the application of holographic interferometry to experimental strain analysis accomplished its maximum in works by W. Schuman and M. Dubas namely by the possibility to determine the deformation tensor on the object surface [6-8]. The general method, which has been proposed by these authors, besides routine operations known from holography, requires relatively sophisticated measurement of the localization of interference fringes. The measurement accuracy is practically crucial for the evaluation of the deformation tensor. This fact also caused that the method has not left laboratory environments even when some simplifying techniques were developed.

Methods dependent on the speckle effect could form the next stage. Their beginning can be found in the middle of 70's and the methods have been developing so far. Since the speckle field contains full information about the investigated object it is important

to detect this field effectively. Speaking in general, there are two ways of the detection of the speckle field (photographic and optoelectronic). The first one is called the speckle pattern photography [9-11]. The optical Fourier transform of the speckle field is represented with a double exposure photographic record of the speckle field generated before and after the object deformation. The direction and the displacement magnitude of the speckle pattern are defined with the Young's interference fringes arising in the Fourier plane after the illumination of the developed record. The latter one is so called correlation method. Linear or matrix detector (CCD detectors are used more frequently) detects the speckle field before and after the displacement of an object. Their output signals are then mutually correlated by means of computer or hardware correlators [12, 13].

The optoelectronic method presented in this paper obtains information about the state of the investigated object statistically. When the object generating the speckle field is deformed generally the corresponding speckle pattern is moved and its structure is partially changed. The speckle pattern displacement is represented by the position of the maximum of the cross-correlation function of two intensity sets that are recorded in the observation (detection) plane before and after the object deformation. The decline of this maximum then corresponds to the magnitude of the change of the speckle structure. This effect is so-called the speckle decorrelation. The determined displacement is then used for the evaluation of small deformation tensor components that describe the deformation state of the elementary area of an object's surface. The mentioned philosophy was firstly described and realized in practice by I. Yamaguchi [14, 15]. M. Hrabovský *et al.* extended Yamaguchi's idea theoretically [16-18] and experimentally (e.g. with results in object rotations [19] and vibrations [20] measurements). In contrast to the Yamaguchi's work [14] they have made more complex derivations of theoretical relations between the speckle pattern displacement and the small deformation components in the image field [18].

The aim of this article is to give the reader an overview of the possibilities of utilization of the speckle correlation method for the object deformation measurements. The basic equations related to the content of the article are presented. Next there are mentioned their applications to the measurements of an object rotation, elas-

tic deformation, translation and normal vibrations. The possible optical experimental set-up is presented for each variant of the measurement including some reached characteristic results of the measurement. The final section shows the merits and otherwise of the measurement method.

2. BASIC EQUATIONS

With reference to Yamaguchi [14] and Hrabovský et al. [16, 17] the relationship between the small deformation tensor and the cross-correlation function in the optical free space (there is no optical system between the object plane and the detection plane) can be written in accordance with Fig. 1A in the form

$$A_x = a_x \left(\frac{L_o \cos^2 \theta_s}{L_s \cos \theta_o} + \cos \theta_o \right) - a_z \left(\frac{L_o \cos \theta_s \sin \theta_s}{L_s \cos \theta_o} + \sin \theta_o \right) - L_o \left[\varepsilon_{xx} \left(\frac{\sin \theta_s}{\cos \theta_o} + \tan \theta_o \right) - 2\Omega_y \left(\frac{\cos \theta_s}{\cos \theta_o} + 1 \right) \right], \quad (1)$$

$$A_y = a_y \left(\frac{L_o}{L_s} + 1 \right) \quad (2)$$

$$-L_o \left[(\varepsilon_{xy} - \Omega_z)(\sin \theta_s + \sin \theta_o) + 2\Omega_x(\cos \theta_s + \cos \theta_o) \right],$$

where the quantities L_o, L_s are the distances between the object surface plane and the detection plane, the source respectively, θ_s is the angle of the illumination direction and θ_o is the angle of the

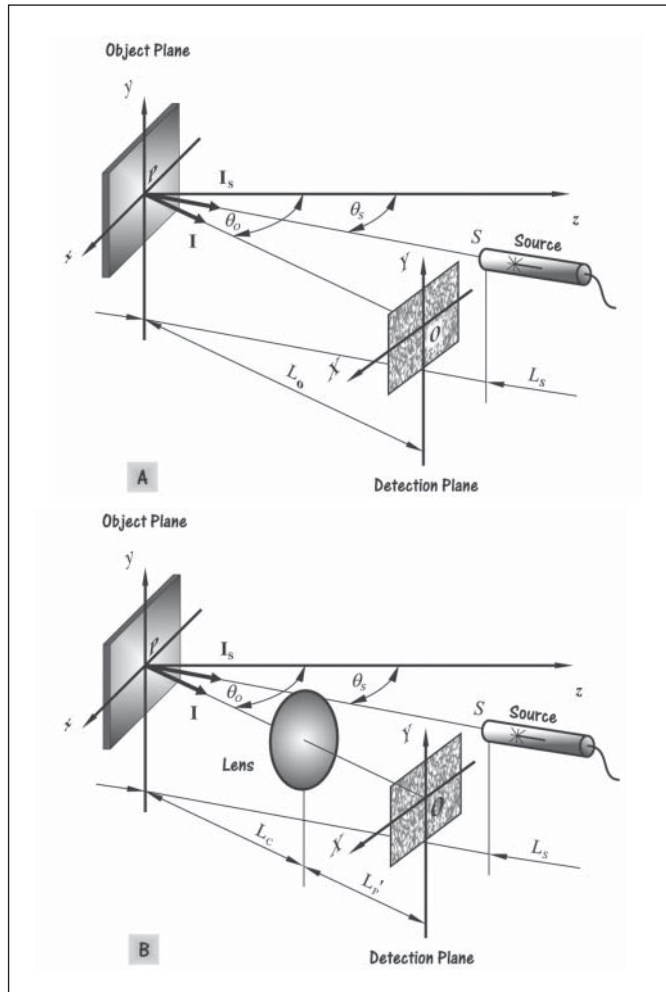


Fig. 1 Coordinate systems for the case of observation of the speckle pattern in free space (A) and image field (B). Points O, P , and S are located in the plane (x, z)

observation direction. Next, A_x, A_y describe the position of the maximum of the cross-correlation function of two intensity sets recorded in the detection plane before and after object deformation and $a_x, a_y, a_z, \Omega_x, \Omega_y, \Omega_z, \varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}$ are the translation, rotation and deformation components of the small deformation tensor.

The Eqs. (1) and (2) are derived on the condition that the object is illuminated with spherical wave originating from the point source S (the case of perfectly polarized and coherent light is considered only) and the light propagation after reflection on the object rough surface is described with Fresnel approximation. Next, the real and imaginary part of the complex amplitude of light at any point of the observation plane are supposed to have the Gaussian distribution with the zero mean value and the intensity of the speckle spot is supposed to obey the exponential distribution [14, 16].

If an optical system, for example a thin lens with the focal length f' , is placed between the object plane and the detection plane (Fig. 1B), then Eqs. (1), (2), according to [14, 18], have the following forms

$$-\frac{A_x f'}{L'_p - f'} = -a_x \left(\frac{L_c(L'_p - f') - f' L'_p \cos^2 \theta_s + \cos \theta_o}{L_s(L'_p - f')} \right) + a_z \left(\frac{L_c(L'_p - f') - f' L'_p \cos \theta_s \sin \theta_s}{L_s(L'_p - f')} \right) \quad (3)$$

$$+ a_z \sin \theta_o + \left(L_c - \frac{f' L'_p}{L'_p - f'} \right) \left[\varepsilon_{xx} \left(\frac{\sin \theta_s}{\cos \theta_o} + \tan \theta_o \right) - 2\Omega_y \left(\frac{\cos \theta_s}{\cos \theta_o} + 1 \right) \right],$$

$$-\frac{A_y f'}{L'_p - f'} = -a_y \left(\frac{L_c(L'_p - f') - f' L'_p + 1}{L_s(L'_p - f')} \right) + \left(L_c - \frac{f' L'_p}{L'_p - f'} \right) \times \left[(\varepsilon_{xy} - \Omega_z)(\sin \theta_s + \sin \theta_o) + 2\Omega_x(\cos \theta_s + \cos \theta_o) \right]. \quad (4)$$

The quantities L'_p and L_c specify the position of the thin lens between the object plane and the detection plane. This case is called as the case of image field.

The coordinates A_x, A_y can be determined by the evaluation of the normalized cross-correlation function

$$r_{1,2}(\Delta q) = \frac{\langle I_1(q) I_2(q + \Delta q) \rangle - \langle I_1(q) \rangle \langle I_2(q) \rangle}{\left(\langle I_1^2(q) \rangle - \langle I_1(q) \rangle^2 \right)^{1/2} \left(\langle I_2^2(q) \rangle - \langle I_2(q) \rangle^2 \right)^{1/2}} \quad (5)$$

The quantities $I_1(q), I_2(q + \Delta q)$ represent intensities of light at the points q and $q + \Delta q$ respectively in the detection plane which are recorded before and after the object deformation. Then Δq is a mutual displacement between the intensity sets I_1, I_2 . As the stationary random process is assumed the condition $\langle I_2(q + \Delta q) \rangle = \langle I_2(q) \rangle$ is met in Eq. (5), i.e. the mean value is independent of coordinate q [21]. Further, an ergodic random process is supposed, too. Therefore, the intensity sets can be captured for each state of the investigated object merely once.

3. POSSIBILITIES OF THE METHOD UTILIZATION

The extension of the basic theory of the presented method has increased possibilities of its application in non-contact measurement areas. The method offers potential for the measurement of rotation, elastic deformation, translation, normal vibration, velocity of an object [19, 20, 22-24], etc. Next, there are presented some of designed experimental set-ups and sample results of realized experiments in the article.

3.1 Measurement of the rotation component

The general motion of rotation can be decomposed into the rotation about an axis lying in the object surface plane (in-plane rotation) and rotation about a normal to the object surface plane

(normal rotation). There are measured the Ω_x , Ω_y components in the first case while the Ω_z component in the second one. To simplify this case let us consider that the object is rotated only. Then the translation and deformation components of the small deformation tensor have zero value.

For the case of the in-plane rotation of the object (let us choose only the component Ω_y) Eq. (1) can be transcribed as

$$A_x = L_o \omega_y \left(\frac{\cos \theta_s + 1}{\cos \theta_o} \right). \quad (6)$$

When the object is rotated about the normal we get from Eq. (2)

$$A_y = L_o \omega_z (\sin \theta_s + \sin \theta_o). \quad (7)$$

The quantities $\omega_y = 2\Omega_y$, $\omega_z = \Omega_z$ are the rotation angles measured in radians about the y-axis, the z-axis respectively.

The experimental set-up illustrated in Fig. 2 is designed to verify the validity of the theory for the object rotation. The object represented by an aluminum strip is mounted to a rotary stage and illuminated by a laser beam. There is a linear CCD detector (2048 pixels with pixel size of $14 \times 14 \mu\text{m}^2$) placed at the distance L_o from the object and at the angle θ_o . The detector registers a speckle pattern sample and is connected to a PC which interprets the measured readings.

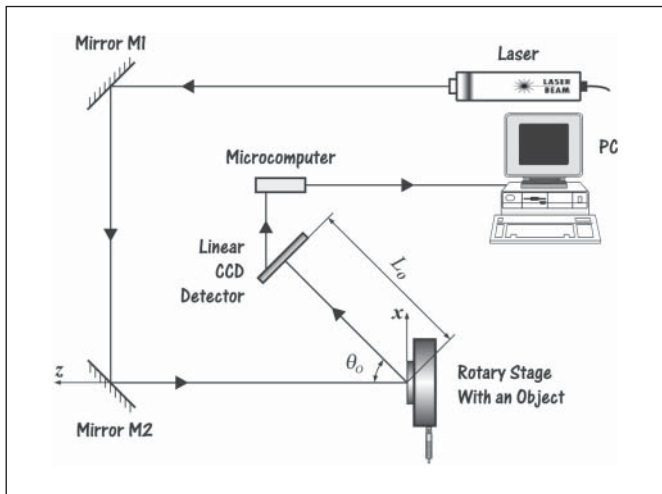


Fig. 2 Designed experimental set-up for the non-contact measurement of the object rotation

The measurement process itself consists of the following steps. The rotary stage with the object is rotated several times by a constant angle with the accuracy of $0.25'$. The investigated sample is returned to the reference state before each motion of rotation. The CCD detector captures the arising speckle field before and after each motion of rotation. The obtained data sets are then processed in PC to determine the maximum position of the normalized cross-correlation function, Eq. (5).

Achieved results in the case of the in-plane and the normal rotations of the object have shown the possibility to measure rotation angles within the range of $(10^{-1} - 10^2)'$ [19]. Some experimental results can be seen in Table 1. The measured rotations of an aluminum object are $5'$, $10'$ (for rotation about the y-axis, ω_y) and $20'$, $30'$ (for the rotation about the z-axis, ω_z). Let us explain the meaning of every item in the table. The geometrical configuration involves concrete values of quantities L_o in metres and θ_s , θ_o in degrees. This is in accordance with Fig. 1 and Fig. 2. The quantities A_x , A_y represent the mean value of speckle pattern displacement in pixels (px) determined from the position of the normalized cross-correlation function maximum in the X-axis, Y-axis direction respectively (that is the A_x and A_y correspond to Δq in Eq. (5)). Furthermore, $r_{1,2}$ is an mean value of correlation degrees where

each of them denotes maximal measure of similarity, in percents, of two sets of intensities captured before and after the object rotation. The detected rotations ω_y , ω_z are evaluated according to Eq. (6), (7) respectively.

Table 1 Experimental results of measurements of in-plane rotations ω_y ($5'$, $10'$) and normal rotations ω_z ($20'$, $30'$) for different geometrical configurations (G_n while $n = 1, 2, 3$).

In-plane rotation	G_n	A_x [px]	$r_{1,2}$ [%]	ω_y [']
	G_1	46.3	59.4	5.0 ± 0.1
G_2	172.2	71.2	10.2 ± 0.1	
Normal rotation	G_n	A_y [px]	$r_{1,2}$ [%]	ω_z [']
	G_3	81.9	60.2	20.1 ± 0.3
G_3	126.1	47.7	31.0 ± 0.5	

Legend:

G_1 means: $L_o = 0.220$ m, $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_o = 16.0^\circ$.

G_2 means: $L_o = 0.400$ m, $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_o = 16.0^\circ$.

G_3 means: $L_o = 0.413$ m, $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_o = 28.3^\circ$.

3.2 Measurement of the elastic deformation

The elastic deformation of a surface element of an object in the direction of the x-axis, i.e. specific elongation ϵ_{xx} is mentioned in this section. It is convenient to use the arrangement with two detection planes and one illuminating source according to Fig. 3. The symmetrical arrangement of two observation directions is given by the angles θ_o and $-\theta_o$ and by the distance L_o from the point P [17].

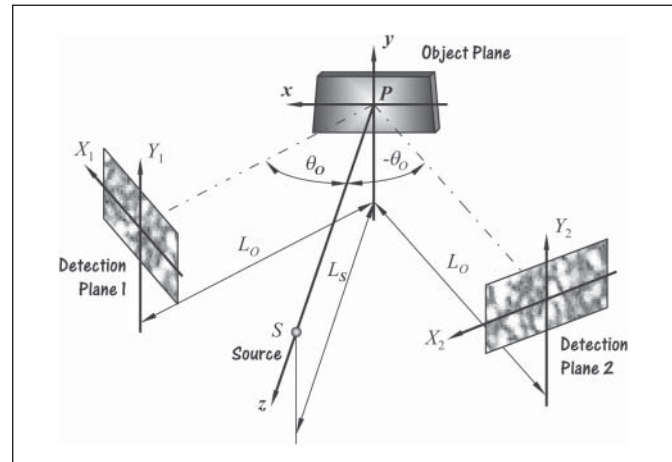


Fig. 3 An arrangement with symmetrical configuration of two detection planes in optical free space

For this case of the optical set-up the relation (1) can be transcribed into the form

$$\Delta A_x = A_x(\theta_s, \theta_o) - A_x(\theta_s, -\theta_o) = -2\epsilon_{xx} L_o \tan \theta_o, \quad (8)$$

where ΔA_x represents the difference between the speckle fields displacements detected in the planes (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2) while supposing $|a_z| \ll |\epsilon_{xx}| L_o / \cos \theta_o$, i.e. the case of distant detectors from the object.

Similarly, it is possible to derive the relation mentioned above for the determination of the specific elongation ϵ_{xx} in image field [23]. There are lenses placed between the object and the detection planes then Eq. (3) can be transcribed as

$$\Delta A_x = A_x(\theta_s, \theta_o) - A_x(\theta_s, -\theta_o) = 2\epsilon_{xx} \tan \theta_o \left(-L_c \frac{L'_p - f'}{f'} + L'_p \right), \quad (9)$$

where quantities f' , L'_p and L_c represent the focal length of the thin lens and the distances from the thin lens to the detection plane, the object plane respectively. The usage of two lenses with same optical parameters allows to increase the ability of controlling the sensitivity, the range and the accuracy of the measurement [23].

It has to be noted that the arrangement in Fig. 3 could be modified into a configuration with two identical sources placed symmetrically to the z -axis and with one detection plane. However, considering the practical usage, the arrangement with two detectors is more suitable for experiments. It follows from the fact that it is extremely difficult to acquire two identical light sources from the point of view of the geometry of beam.

The set-up outlined in Fig. 4 is designed for the experimental measurements of elastic deformation in the x -axis direction. A laser is chosen as a source of coherent light. Its beam is directed upright to an investigated object. The investigated object is represented by a rubber specimen. The specimen is firmly fastened at its both ends into two clamping jaws. One is static and the other movable. The position of the adjustable clamping jaw is actuated by means of an electronic linear actuator. Therefore specimen extension or contraction can be controlled very exactly. Besides an electronic transducer touching the movable jaw supervises the jaw displacement, too. The reflected speckle field is captured with a pair of linear CMOS cameras (1288 pixels with pixel size of $7.5 \times 7.5 \mu\text{m}^2$).

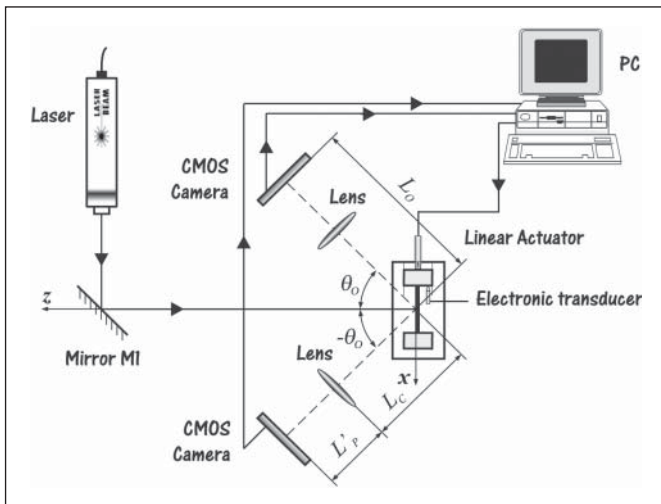


Fig. 4 Designed experimental set-up for the non-contact measurement of the object specific elongation

The measurement process is divided into two steps. First the electronic linear actuator extends the rubber specimen with required constant velocity and accuracy of $0.1 \mu\text{m}$. The maximum deformation is 2100×10^{-6} . This step corresponds to linear expansion of $200 \mu\text{m}$. The desired value of specific elongation is obtained with the selection of the constant velocity of the specimen extension and the capturing frequency of cameras. In the second step the linear actuator contracts the rubber specimen into the reference state. The contraction velocity is the same as the one used in the first step and the length contraction equals to $200 \mu\text{m}$.

The example of reached results [23] for the case of optical free space and image field are plotted into two graphs shown in Fig. 5 and Fig. 6. For the measurement in free space the extension velocity equals to $11.4 \mu\text{m/s}$ and the capturing frequency equals to 4 Hz. So the specific elongation of 30×10^{-6} is obtained for each of 70 measurement steps (Fig. 5). In the case of measurements in image field slower velocity ($7.6 \mu\text{m/s}$) is used while the capturing frequency remains the same as in the previous case. Under these conditions the specific elongation of 20×10^{-6} is achieved for each of 105 measurement steps (Fig. 6). Since the measurement process consists of two steps there are two lines in the graphs. A straight

line corresponds to the specimen extension. A dashed line represents the results of the following specimen contraction. The horizontal axis describes specific elongation $\Delta L / L$ measured by means of the electronic transducer where ΔL is a longitudinal increment to the initial specimen length L determined by the jaws pitch. The vertical axis characterizes results of specific elongation ϵ_{xx} obtained by means of the presented speckle correlation method.

The presented graphs show good agreement of results obtained with electromechanical and optical measurement instruments. This is confirmed by the slopes of the lines in the graphs that are approximately equaled to unity. Differences among the results acquired with the presented non-contact and reference direct method lies within 10% interval for the specimen extension. In the case of specimen contraction the corresponding lines in the graphs show small hysteresis. An optical device based on this method can be called as an optical speckle strain gauge [15].

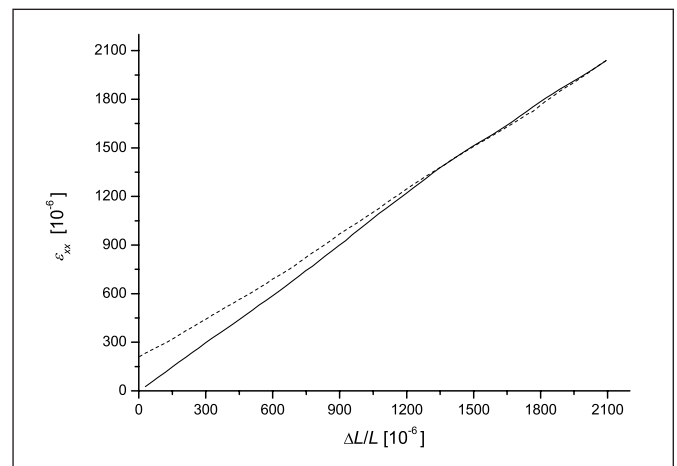


Fig. 5 Specific elongation ϵ_{xx} of the rubber specimen obtained in optical free space by means of the speckle strain gauge plotted as a function of specific elongation $\Delta L / L$ determined by means of the electronic transducer. Optical set-up: $L_o = 0.288 \text{ m}$, $\theta_o = 45^\circ$

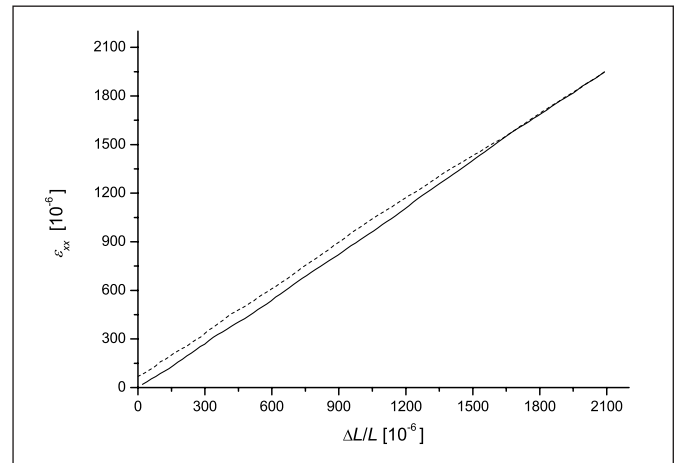


Fig. 6 Specific elongation ϵ_{xx} of the rubber specimen obtained in image field by means of the speckle strain gauge plotted as a function of specific elongation $\Delta L / L$ determined by means of the electronic transducer. Optical set-up: $L'_p = 0.181 \text{ m}$, $L_c = 0.111 \text{ m}$, $\theta_o = 45^\circ$, $f' = 19.96 \text{ mm}$

3.3 Measurement of the translation component

The general motion of the translation can be decomposed into the translation in the object surface plane (in-plane translation) and the translation in the direction of the normal to the object surface plane (normal translation). There are measured a_x , a_y components in the first case while a_z component in the second one.

Assuming that the object is moved as a rigid body ($\Omega = 0$) only in the x -axis ($\varepsilon = 0$), then Eq. (1) can be written as

$$A_x = a_x \left(\frac{L_o \cos^2 \theta_s}{L_s \cos \theta_o} + \cos \theta_o \right). \quad (10)$$

The experimental set-up outlined in Fig. 7 is designed for measurement of both in-plane and normal translation of the object. A laser is used as a source of coherent light and its beam is directed upright to the investigated object by means of a plane mirror and focused by a lens into a point approximately. The object is represented by a cuboid made from different materials (aluminum, steel, etc.) and placed on an electronic linear stage mounted to a rotary stage. The precise adjustment of the observation and illumination angles is enabled with the rotary stage. A linear CCD detector (2048 pixels with pixel size of $14 \times 14 \mu\text{m}^2$) is used to capture the movement of the speckle field.

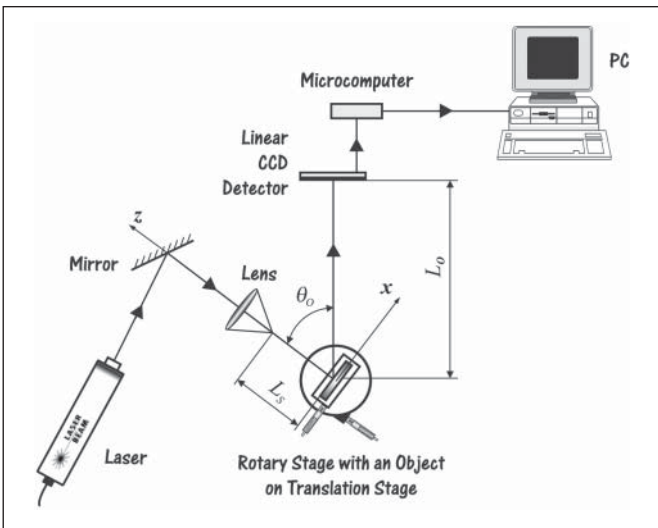


Fig. 7 Designed experimental set-up for the non-contact measurement of the in-plane and normal translation of the object

The measurement process itself proceeds as to the following steps. The electronic linear stage moves the object several times in the x -axis direction by a constant distance with accuracy of $0.1 \mu\text{m}$. The examined sample is returned to the reference state before each translation.

As regards the measurements of in-plane motion of translation the results have confirmed validity of the theory for the displacements within range $(1 - 10^3) \mu\text{m}$ [22]. Some reached values of the measured translations are presented in the Table 2 that shows the translation measurements by $10 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m}$ and $100 \mu\text{m}$ for the

Table 2 Experimental results of measurements of translations a_x ($10 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$) for different geometrical configurations (G_n while $n = 1, 2$)

G_n	A_x [px]	$r_{1,2}$ [%]	a_x [μm]
G_1	1.45	97.8	10.0 ± 0.2
G_2	6.63	96.6	50.0 ± 0.2
G_2	13.44	90.7	101.3 ± 0.2

Legend:

G_1 means: $L_o = 0.552 \text{ m}$, $L_s = 0.540 \text{ m}$, $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_o = 24^\circ$, focusing lens ($F = 200 \text{ mm}$).

G_2 means: $L_o = 0.552 \text{ m}$, $L_s = 0.640 \text{ m}$, $\theta_s = 0^\circ$, $\theta_o = 24^\circ$, focusing lens ($F = 200 \text{ mm}$).

case of free space. The meaning of every item in the table is the same as in above-mentioned section 3.1. Therefore the geometrical configuration involves concrete values of quantities L_o , L_s in metres and θ_s , θ_o in degrees. The focal length of the lens used for focusing of laser beam towards the sample surface is mentioned, too (see Fig. 1 and Fig. 7). The quantity A_x represents the mean value of speckle pattern displacement in pixels (px) determined from the position of the normalized cross-correlation function maximum in the X -axis direction (Eq. (5)). Furthermore $r_{1,2}$ is an mean value of correlation degrees where each of them denotes maximal measure of similarity, in percents, of two sets of intensities captured before and after the object translation. The detected translations a_x are evaluated according to Eq. (10).

As regards the measurements of normal motion of translation different experimental set-up has proved to be more appropriate. This case will be discussed in the next section.

3.4 Measurement of the normal vibrations

Another application of the correlation method is the measurement of vibrations. We focus our attention to the measurement of the normal vibration. In fact, it is the determination of temporal behaviour of normal motion of translation of the investigated object followed by the discrete Fourier analysis.

For this kind of measurement we take the advantage of the arrangement according to Fig. 3 which is modified for the case of the image field. Supposing ideal imaging and by means of Eq. (3) the component a_z of normal translation can be found in the form

$$\Delta A_x = A_x(\theta_s, \theta_o) - A_x(\theta_s, -\theta_o) = -2 \frac{L'_p - f'}{f'} a_z \sin \theta_o; \theta_s = 0^\circ \quad (11)$$

where L'_p is the distance between the lens and the detection plane and f' is the focal length of the thin lens. Eq. (11) is valid provided that the elastic deformation in the x -axis direction approximately equals to zero. This is the only limitation of this arrangement.

The designed experimental set-up for the non-contact measurement of the normal object vibrations can be seen in Fig. 8. The studied object is represented by an aluminum disc with a rough surface mounted on a loudspeaker driven by signal from a PC soundcard. This enables to control better the frequency and the amplitude of the object vibrations. A laser beam is directed upright to the investigated object. The moving speckle fields are captured with two linear CCD detectors (2048 pixels with pixel size of $14 \times 14 \mu\text{m}^2$).

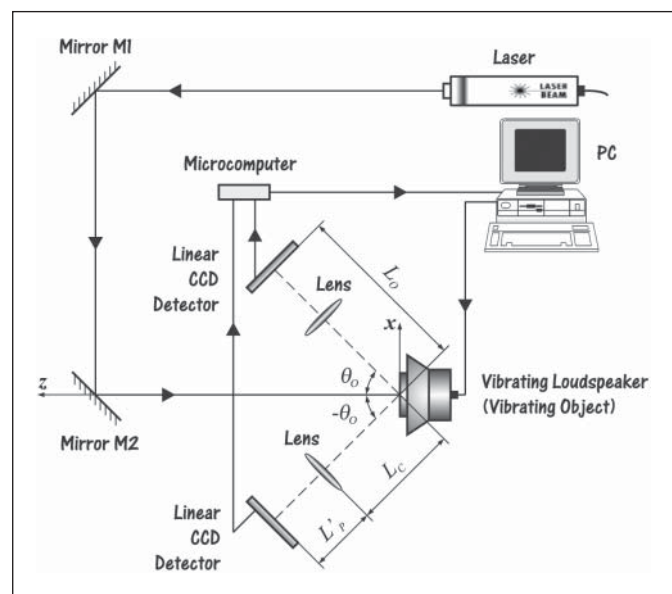


Fig. 8 Designed experimental set-up for the non-contact measurement of the object normal vibrations

The experiments have shown the possibility to measure vibrations, both harmonic and inharmonic (even with Gaussian noise), with instantaneous displacement up to $10^3 \mu\text{m}$ and with the frequency up to 130 Hz [20]. Some examples of obtained results for various vibrating frequencies are plotted on two pairs of graphs.

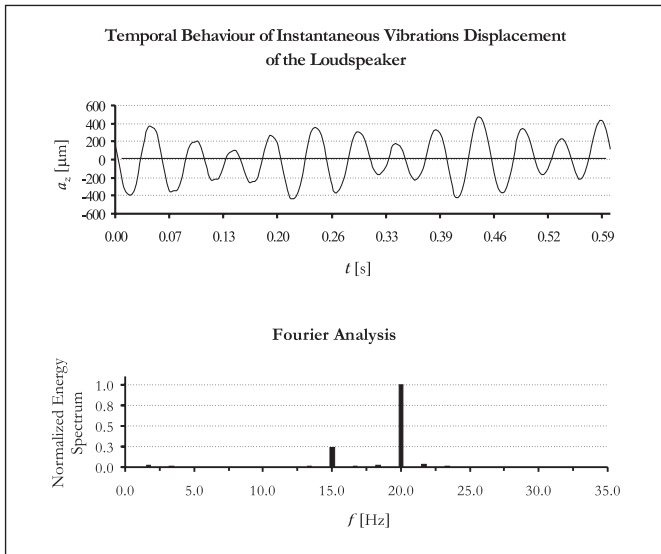


Fig. 9 Experimental results for the aluminum object vibration. Optical set-up: $L'_p = 0.210 \text{ m}$, $\theta_o = 24^\circ$, focal length $f' = 19.96 \text{ mm}$, loudspeaker driven frequency 15 Hz + 20 Hz

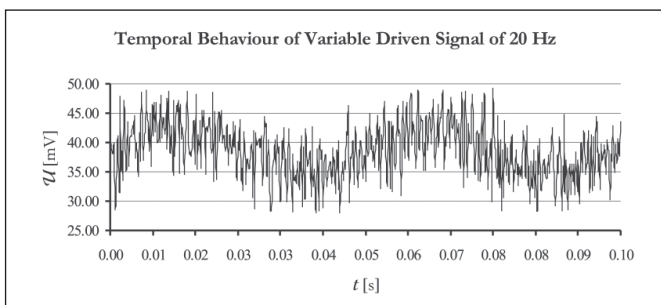


Fig. 10 Temporal behaviour of driving voltage U of frequency 20 Hz into which the Gaussian noise has been modulated

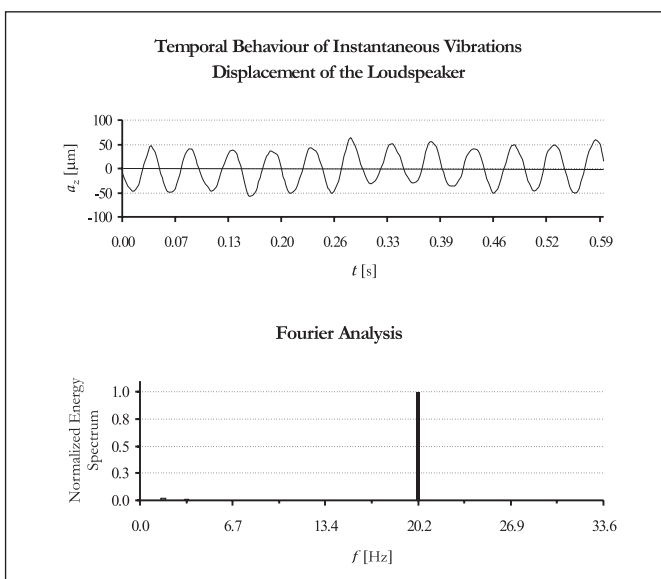


Fig. 11 Experimental results for the aluminum object vibration. Optical set-up: $L'_p = 0.312 \text{ m}$, $\theta_o = 20^\circ$, focal length $f' = 19.96 \text{ mm}$, loudspeaker driven frequency 20 Hz + Gaussian noise

The first graph of each pair shows evaluated temporal behaviour of the instantaneous displacement of the loudspeaker vibrations and the second graph of each pair shows the normalized energy spectrum of the evaluated instantaneous displacement of the vibrations. Fig. 9 corresponds to the case of the loudspeaker driven by the signal represented by two sine signals with frequencies 15 Hz and 20 Hz. Fig. 10 shows the temporal behaviour of the driving signal, which is the superposition of Gaussian noise and the sine signal with frequency 20 Hz. Fig. 11 represents evaluated results for the case of the loudspeaker driven by the noisy signal with carrier of 20 Hz.

4. CONCLUSIONS

For the description of the object's state in mechanics it is important to find the location of the object. There are many methods based on different physical principles (mechanic, acoustic, electric, optic,...). However, none of these methods is ideal, the used physical principle sets limitations for the utilization of the method with the respect to the accuracy and the way of the measurement. A lot of measurement methods are based on the direct contact of the object and the measuring instrument, which can affect the object state or even cause a mechanical damage of the object. Therefore it is desirable to look for new methods especially contactless ones. Optics can offer such solution. It has to be noted that some optical measuring devices were developed but are complicated and expensive.

We have presented an overview of the utilization of a new way of a non-contact measurement of small deformation tensor components by means of the speckle correlation method. The advantages of this statistical method are its simple practical realization, the usage of linear CCD detectors and its interconnection with computer technique that enables to process data and to obtain results in real time. Next, geometrical parameters of the measurement set-up and parameters of the used optical system offer an ability to influence the measurement's sensitivity, range and accuracy of each individual tensor component.

The origin of the speckle effect requires the usage of sources of coherent light. Not only He-Ne or Argon lasers but also laser diodes can be taken into account. Especially, dimensions of laser diodes extend possibilities of a practical utilization of the method. However, the detectors are very sensitive to light and therefore the background illumination has to be of a low level and this leads into the limitation of this method. Nevertheless, the validity of the mentioned theory is verified with published experimental results and they also enable to employ this method for applications in industry and medicine.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the projects LN00A015 and MSM6198959213 of the Ministry of Education of the Czech Republic.

References

- [1] Dainty, J. C. ed.: Laser speckle and related phenomena. Berlin, Springer-Verlag 1984.
- [2] Frieden, B.: Probability, statistical optics and data testing. New York, Springer-Verlag 1983.
- [3] Françon, M.: Laser Speckle and Application in Optics. New York, Academic Press 1979.
- [4] Durelli, A., Parks, J.: Moire Analysis of Strain. New Jersey, Prentice Hall, Inc. 1970.
- [5] Milbauer, M.: Photoelasticimetry and its usage in practice, SNTL, Praha 1953. (in Czech).
- [6] Dubas, M., Schumann, W.: Sur la détermination holographique de l'état de déformation a la surface dun corps non transparent. Optica Acta, **21**, 547 (1974).
- [7] Dubas, M., Schumann, W.: On Direct Measurements of Strain and Rotation in Holographic Interferometry Using the Line of Complete Localization. Optica Acta, **22**, 807 (1975).

- [8] Schumann, W., Dubas, M.: On the Holographic Interferometry Used for Deformation Analysis with One Fixed and One Movable Reconstruction Source. *Optik*, **47**, 391 (1977).
- [9] Jones, R., Wykes, C.: *Holographic and Speckle Interferometry*. Cambridge, Cambridge University Press 1989. (2nd edition).
- [10] Archbold, A., Burch, J. M., Ennos, A. E.: Displacement measurement from double exposure lasers photography. *Opt. Acta*, **19**, 253 (1972).
- [11] Kepřt, J., Bartoněk, L., Charamza, J., Hrabálek, L.: Optical-mechanical measurements of biomechanical characteristics of lumbar spines after application of various surgical fixation methods. *Fine Mech. Opt.*, **45**, No. 11-12, 323 (2000). (in Czech).
- [12] Yamaguchi, I.: Real time measurement of in-plane translation and tilt by electronic speckle correlation. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **19**, 131 (1980).
- [13] Peters, W. H., Ranson, W. F.: Digital imaging techniques in experimental stress analysis. *Opt. Eng.*, **21**, 427 (1982).
- [14] Yamaguchi, I.: Speckle Displacement and Decorrelation in the Diffraction and Image Fields for Small Object Deformation. *Optica Acta*, **28**, No. 10, 1359 (1981).
- [15] Yamaguchi, I., Takemori, T., Kobayashi, I.: Stabilized and accelerated speckle strain gauge. *Opt. Eng.*, **32**, No. 3, 618 (1993).
- [16] Hrabovský, M., Bača, Z., Horváth, P.: Theory of speckle displacement and decorrelation and its application in mechanics. *Opt. Lasers Eng.*, **32**, 395 (2000).
- [17] Hrabovský, M., Bača, Z., Horváth, P.: Theory of Speckle Displacement and Decorrelation with Electronic Correlation. *Czech. J. Phys.*, **51**, 129 (2001).
- [18] Horváth, P., Hrabovský, M., Šmíd, P.: Full theory of speckle displacement and decorrelation in the image field by wave and geometrical descriptions and its application in mechanics. *J. Mod. Opt.*, **51**, 725 (2004).
- [19] Hrabovský, M., Bača, Z., Horváth, P.: Measurement of an object rotation using the theory of speckle pattern decorrelation. *Optik*, **111**, No. 8, 359 (2000).
- [20] Hrabovský, M., Šmíd, P., Horváth, P., Bača, Z.: Measurement of object vibrations using the theory of speckle pattern decorrelation. *Optik*, **113**, No. 3, 117 (2002).
- [21] Goodman, J. W.: *Statistical Optics*. New York, John Wiley & Sons 1985.
- [22] Horváth, P., Hrabovský, M., Šmíd, P.: Application of speckle decorrelation method for small translation measurements. *Opt. Appl.*, **34**, No. 2, 203 (2004).
- [23] Horváth, P., Hrabovský, M., Šmíd, P.: Analysis of stress measurement by means of a speckle decorrelation. In *Surface Scattering and Diffraction III*, Gu, Zu-Han, Maradudin, A. A., eds., *Proc. SPIE*, **5189**, 174 (2003).
- [24] Hrabovský, M., Horváth, P., Bača, Z., Šmíd, P., Soukup, L.: Theory of measurement of an object in-plane velocity by means of a speckle decorrelation. In *Optical Diagnostics for Fluids, Solids, and Combustion*, Mercer, C. R., Cha, S. S., Shen, G., eds., *Proc. SPIE*, **4448**, 380 (2001).

Mgr. Pavel Horváth* Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Olomouc, e-mail: horvath@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 1569

Mgr. Petr Šmíd, Ph.D.* Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, e-mail: smid@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 1575

Mgr. Petra Wagnerová, Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, e-mail: wagnerov@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 4284

Prof. Miroslav Hrabovský, DrSc.* Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, e-mail: hrabovsky@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 1501

* Also at Research Center for Optics, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, Czech Republic

Pavol HORŇÁK, FEI STU Bratislava, Slovenská republika

Meranie kriviek svietivosti

V osvetľovacej technike sa nemôžeme zaobísť bez výpočtov intenzity osvetlenia v rôznych bodoch na osvetľovanej ploche. V tejto súvislosti hodnotíme a charakterizujeme každý bodový zdroj krivkami svietivosti. Na meranie svietivosti v rôznych smeroch používame goniofotometre dvojakého druhu. Sú to goniofotometre špeciálnej konštrukcie, ktoré spĺňajú požiadavku minimálnej fotometrickej vzdialenosti a goniofotometer, ktorý používame nezávisle od zákona o ubúdaní intenzity osvetlenia so štvorcovou vzdialenosti od zdroja (štvorcového zákona). V ďalšej časti rozoberám načrtnuté goniofotometre.

1. VŠEOBECNÉ VLASTNOSTI

Svietivosť je definovaná pre tzv. "bodové zdroje", ktoré majú malé rozmery proti ich vzdialenosti od osvetľovaného miesta. Teda

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Svietivosť však vypočítame aj z intenzity osvetlenia na osvetľovacej ploche

$$E = \int L_{\alpha} d\Omega \cos \beta = \int L_{\alpha} \frac{dA \cos \alpha}{r^2} \cos \beta$$

kde L_{α} je jas elementu svietiacej plochy,

$d\Omega$ - element priestorového uhla,

β - uhol dopadu na osvetľovanú plochu,

dA - element svietiacej plochy,

r - vzdialenosť elementu svietiacej plochy od bodu ležiacom na osvetľovanej ploche,

α - uhol medzi normálou k svietiacej ploche a spojnicou k bodu ležiacom na osvetľovanej ploche.

Pri známom jase L_{α} elementu svietiacej plochy dA pod uhlom α môžeme určiť svietivosť do tohto smeru

$$dI_{\alpha} = L_{\alpha} dA \cos \alpha$$

Z tohto určenia vyplýva, že

$$I_{\alpha} = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{Er^2}{\cos \beta}$$

V takomto prípade platí zákon o ubúdaní intenzity osvetlenia so štvorcovcom vzdialenosti od zdroja. Avšak svietivosť pod uhlom α môžeme vyjadriť aj takto

$$I_{\alpha} = \lim_{r \rightarrow \infty} \int L_{\alpha} dA \cos \alpha$$

V tomto vzťahu možno zanedbať \lim pri zmeraní všetkých hodnôt jasov L_{α} plošných elementov dA pod uhlom α . Tento vzťah je východiskom pre konštrukčné riešenie goniofotometra, ktorý používame nezávisle od štvorcového zákona.

2. GONIOFOTOMETRE, KTORÉ SPLŇAJÚ POŽIADAVKU ŠTVORCOVÉHO ZÁKONA

Základné konštrukcie starších goniofotometrov rozdeľujeme na tri skupiny:

- zdroj je v rôznych polohách a fotometrická hlavica je pevná (tzv. **obracač zdrojov**),
- zdroj je v prevádzkovej polohe predpísanej výrobcom a fotometrická hlavica je otočná (**goniofotometer s otočným ramenom**),
- zdroj je v prevádzkovej polohe predpísanej výrobcom, zrkadlo, prípadne zrkadlá sú otočné a fotometrická hlavica je pevná (**zrkadlový goniofotometer**).

Toto rozdelenie goniofotometrov je dôležité z hľadiska zistiteľnosti možných chýb, ktoré skresľujú výsledok merania kriviek svietivosti.

2.1 Obracač zdrojov

Takýto goniofotometer (*obr. 1*) umožňuje otáčanie zdroja okolo svetelného stredy. Osi rotácie - vodorovná a zvislá os - sú navzájom kolmé. V tomto prípade hodnoty svietivosti v jednotlivých smeroch budú

$$(I_{\alpha,\beta})_{mer} = Er^2$$

kde E je osvetlenie fotoelektrického snímača fotometrickej hlavice, r - vzdialenosť svetelného stredy zdroja od fotometrickej hlavice.

Samozrejme, fotometrická hlavica sa skladá z fotoelektrického snímača, filtra na korekciu spektrálnej citlivosti, súčastí upravujúcich smerovú selektivitu a konštrukčných súčastí. Fotometrická hlavica je spojená s káblikom s vyhodnocovacou a indikačnou jednotkou. Celý goniofotometer je vybavený justičným zariadením, ktorým možno presne nastaviť a vzájomne orientovať vodorovnú os obracača zdrojov vzhľadom na fotometrickú hlavicu.

Pritom uvedený goniofotometer možno použiť na presné meranie, ak rozloženie svietivosti je nezávislé od polohy zdroja (obyčajne žiarovkových svetiel). V prípade svetelných zdrojov, ktorých svetelný tok je závislý od polohy svetidla predpísanej výrobcom, sa



Obr. 1 Obracač zdrojov firmy LMT

chyba merania koriguje použitím kalibračnej fotometrickej hlavice. Kalibračná fotometrická hlavica je pevne spojená so zdrojom a pri meraní krivky svietivosti neprekáža pevnej fotometrickej hlavici. Dôležité je tiež, že fotoelektrický snímač kalibračnej fotometrickej hlavice je v rôznych smeroch osvetlený od rovnakej svietiacej plochy zdroja. Pomocou kalibračnej fotometrickej hlavice zmeriame výstupný signál so zdrojom v prevádzkovej polohe - y a stanovíme priebeh výstupného signálu pri otáčaní zdroja okolo svetelného stredy - $y_{\alpha,\beta}$. Na základe týchto meraní možno odchýlky od správnej hodnoty svietivosti v rôznych smeroch korigovať pomocou súčiniteľa

$$k_{\alpha,\beta} = \frac{y}{y_{\alpha,\beta}}$$

Z predchádzajúceho vyplýva, že korigovanú hodnotu svietivosti v rôznych smeroch vypočítame podľa vzťahu

$$(I_{\alpha,\beta})_{kor} = k_{\alpha,\beta} (I_{\alpha,\beta})_{mer}$$

2.2 Goniofotometer s otočným ramenom

Na meranie kriviek svietivosti nejakého zdroja v prevádzkovej polohe predpísanej výrobcom stačí najjednoduchší goniofotometer s otočným ramenom (*obr. 2*). Pri meraní je zdroj otočný v rozsahu celého kruhu okolo zvislej osi. Fotometrická hlavica je pripravená na otočnom ramene, ktoré sa otáča okolo vodorovnej osi goniofotometra. Je dôležité, že obidve osi rotácie sa pretínajú vo svetelnom strede zdroja. Tento goniofotometer možno použiť v prípade svetelných zdrojov.



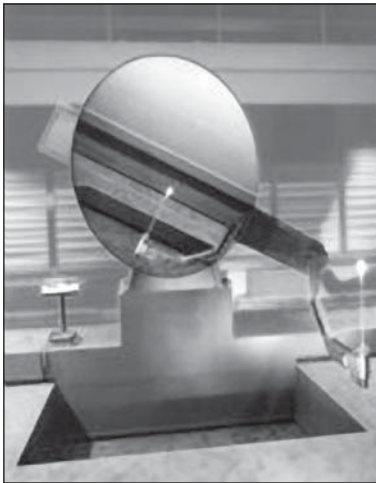
Obr. 2 Goniofotometer s otočným ramenom firmy LMT

2.3 Zrkadlové goniofotometre

Na sériové technické merania kriviek svietivosti zdrojov v prevádzkovej polohe predpísanej výrobcom sa využívajú predovšetkým zrkadlové goniofotometre rôznych konštrukcií.

Zrkadlový goniofotometer firmy LMT (*obr. 3*) umožňuje otáčanie zrkadla, ktoré je uložené v osi rotácie prístroja. Normála tohto zrkadla zvierá s osou rotácie goniofotometra uhol 45° . Otáčaním upínacieho zariadenia zdroja okolo zvislice a upínacieho ramena okolo osi rotácie prístroja možno merať krivky svietivosti v sústave meridiánových rovín.

Firma PRC Krochmann (*obr. 4*) ponúka zrkadlový goniofotometer, ktorý umožňuje otáčanie zdroja okolo osi rotácie prístroja v prevádzkovej polohe predpísanej výrobcom. Pri otáčaní upínacieho ramena leží svetelný stred zdroja na osi, ktorá prechádza stredom otáčajúceho sa zrkadla. Takže zdroj a zrkadlo sa otáčajú okolo osi rotácie goniofotometra po dvoch rôznych rádiusoch. Treba zdôrazniť, že zrkadlo upevnené na otočnom ramene zvierá s osou rotácie prístroja uhol menší ako 45° . Pritom svetelný lúč odrazený od stredy otáčajú-



Obr. 3 Zrkadlový goniofotometer firmy LMT

ceho sa zrkadla pretne os rotácie goniofotometra v predpísanej fotometrickej vzdialenosti. Clonu na zamedzenie priameho dopadu svetla zo zdroja na fotoelektrický snímač fotometrickej hlavice treba starostlivo vyhotoviť. Pre potrebu automatického merania kriviek svietivosti umožňuje zrkadlový goniofotometer firmy PRC Krochmann otáčanie clony a pootočenie fotometrickej hlavice do optickej osi zrkadla. Veľkosť rotujúcej clony zodpovedá zornému uhlu fotometrickej hlavice.

Zrkadlový goniofotometer Katedry elektroenergetiky FEI STU Bratislava pozostáva z dvoch zrkadiel mechanicky spojených a upevnených na stojane. Uvedený goniofotometer sa otáča okolo svetelného streda zdroja. Na upevnenie zdroja v prevádzkovej polohe sa používa samostatný stojan. Svetelný stred zdroja, os rotácie zrkadiel a stred fotometrickej hlavice ležia na jednej priamke. Z tohto dôvodu zrkadlá navzájom zvierajú uhol 45° . Osvetlenie fotoelektrického snímača fotometrickej hlavice bude

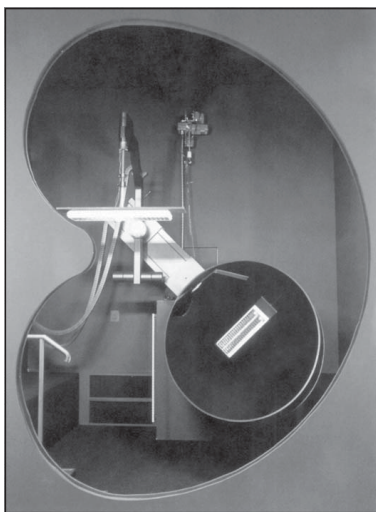
$$E = \frac{\rho^2 I_{\alpha,\beta}}{(a+b+c)^2}$$

kde $I_{\alpha,\beta}$ je svietivosť v danom smere a , b

ρ - činiteľ odrazu zrkadiel,

$a + b + c$ - vzdialenosť medzi svetelným stredom zdroja a fotometrickou hlaviceou.

Odtiaľ po menšej úprave dostaneme svietivosť $I_{\alpha,\beta}$.



Obr. 4 Zrkadlový goniofotometer firmy PRC Krochmann

3. GONIOFOTOMETER S OBRAZOVÝM SNÍMAČOM CCD

Konštrukčné riešenie dnešného goniofotometra (obr. 5) umožňuje určiť svietivosť skutočného zdroja (zdroja, ktorý má nejaký rozmer) v určitom smere ako súčinn jas elementu svietiacej plochy a jej veľkosti. Na snímanie jas plochy guľového pásu do rôznych smerov používame kalibrovaný obrazový snímač CCD. Na početné spracovanie meraní sa používa napríklad softvér EULUMDAT, ktorý vytvára dokonale upravené dátové súbory na osvetľovacie účely. Uvedený goniofotometer firmy Techno Team Bildverarbeitung umiestňujeme v miestnosti, ktorej rozmery sú 3L x 3L x 3L, kde L je najväčší rozmer zdroja.



Obr. 5 Goniofotometer s obrazovým snímačom CCD firmy Techno Team Bildverarbeitung

4. ZÁVER

Mojou snahou bolo podať informáciu o rôznych goniofotometroch v takom rozsahu a v takej forme, aby mohla slúžiť na správne vybavenie fotometrického laboratória a vykonávať objektívne merania kriviek svietivosti.

Literatúra

- [1] Horňák, P.: Ako objektívne zisťovať skutkový stav? EE - časopis pre elektrotechniku a energetiku. (Mimoriadne číslo – vydanie ku konferencii s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika a informatika 2004), október 2004
- [2] Horňák, P.: Svetelné normály. Jemná mechanika a optika. 2004, č. 6
- [3] Horňák, P.: Fotometrické integrátory. Jemná mechanika a optika. 2004, č. 6
- [4] Horňák, P.: Meranie rovinatej osvetlenosti pri rôznych experimentoch. Jemná mechanika a optika. 2004, č. 7-8
- [5] Horňák, P.: Orientačné porovnanie rôznych goniofotometrov. Elektrotechnika v praxi. 2004, červenec/srpen
- [6] Horňák, P.: Meranie svetla a farieb. Bratislava 1971
- [7] Katalógové listy meracích prístrojov (www.lmt.de, www.prc-krochmann.de, www.technoteam.de)

Největší technický veletrh

Na světě největší průmyslový veletrh HANNOVER MESSE se bude letos konat ve dnech 11. až 15. dubna opět v prostorách celého výstaviště v Hannoveru asi na 200 000 m² užité výstavní plochy za účasti více než 6000 vystavovatelů zastupujících 60 zemí všech kontinentů. Je očekávána návštěvnost asi 300 000 odborníků.

Veletrh HANNOVER MESSE 2005 je komplexně zaměřený na všechny technické oblasti, především na nové technologie budoucích průmyslových oborů, inovační postupy, inovované výrobky a průmyslovou automatizaci. Je rozdělen do 11 samostatných vedoucích veletrhů. Každý z nich je sám o sobě vrcholnou výstavní akcí, které jsou přesně vzájemně sladěny a poskytují organizovaný přehled. Jejich jádrem však zůstávají první dva.

Interkama je nejvýznamnější a největší přehlídka průmyslové automatizace v Evropě i ve světě. Zahrnuje celé spektrum automatizace spojených technologických procesů. Jsou v ní zastoupeny informační technologie, přístroje a komponenty, řídicí a regulační systémy, engineering, údržba a služby.

Factory Automation je veletrhem výrobní automatizace továren. Volně navazuje na veletrh Interkama a je zaměřen především na průmysl elektrotechniky a strojírenství. Představí automatizaci a robotizaci, obzvláště v malých strojích, výrobní manipulaci obrobků, zajímavá softwarová řešení pro zkracování operačních cyklů strojů, inteligentní systémy průmyslového zpracování obrazu, miniaturizaci nástrojů, elektrickou automatizační techniku a kamerové systémy.

Motion, Drive & Automation představuje mechanickou a elektrickou techniku pohonů, fluidní techniku, pneumatické a hydraulické pohony, spalovací motory a valivá ložiska.

Digital Faktory uvádí nové informační technologie a služby pro průmysl nespojité výroby řady technologických procesů. Vzájemně prezentuje mnohá řešení v oblasti softwaru a informačních technologií. Tím je ideálním spojovacím článkem mezi veletrhy Faktory Automation a Interkama.

MicroTechnology je předním mezinárodním veletrhem aplikované mikrosystémové techniky a nanotechnologií. Představí inovace pro veškeré průmyslové oblasti, od investiční výstavby až po medicínskou a laserovou techniku, od optiky až po energetickou techniku.

Research & Technology bude působištěm národních a mezinárodních výzkumných a vývojových pracovišť, z ústavů i významných podniků. Návštěvníci budou moci dostat kompetentní rady k zakládání existence, patentům, licencím a financování.

Energy je veletrhem energetického hospodářství, energetiky, obnovitelných energií a energetických služeb.

ComVac je mezinárodním vedoucím veletrhem pneumatické a vakuové techniky. Je také současně nejvýznamnějším odvětvovým setkáním mezinárodních představitelů rozhodování a uživatelů v tomto průmyslovém oboru.

SurfaceTechnology a Powder Coating Europe představí všechny novinky povrchových úprav výrobků a práškového lakování.

Subcontracting, mezinárodní veletrh dodávek a materiálu, např. vylisků, odlitků, výkovek, nejrůznějších kovových i nekovových dílců pro stroje, vozidla, dále např. spojovacích dílců, součástí, nářadí, nástrojů a forem pro strojírenství, elektrotechniku a investiční výstavbu.

Industrial Services & Equipment je novým mezinárodním odborným veletrhem průmyslových služeb a zařízení.

Na HANNOVER MESSE 2005 bude oficiální partnerskou zemí Ruská federace, která jako nejbohatší země světa na suroviny patří k zemím s největším potenciálem růstu. Německo-ruský hospodářský den společně se spolkovým kancléřem Gerhardem Schröderem zahájí ruský prezident Vladimír Putin.

Za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu ČR bude mít oficiální účast také Česká republika. Prakticky na všech dílčích veletrzích se představí české firmy. Bude jich celkem 45 a obsadí užitou výstavní plochu 850 m².

O veletrzích na HANNOVER MESSE 2005 a dění na výstavišti lze získat podrobnější informace na internetových stránkách www.hannovermesse.de. Zlevněné vstupenky a katalogy je možné zakoupit v předprodeji u výhradního zástupce společnosti Deutsche Messe AG, Hannover v ČR, kterým je Ing. Eva Václavíková, Myslbekova 7, 169 00 Praha 6, tel./fax: 220 510 057 a 220 517 837, www.hf-czechrepublic.com, e-mail: info@hf-czechrepublic.com.

(jpe)

interpack
2005

No. 1 for
Systems
Processes
Solutions



17. Internationale Messe
Verpackungsmaschinen
Packmittel
Süßwarenmaschinen
Düsseldorf, 21. - 27. April 2005
www.interpack.com

Veletrh obalů pro všechny výrobky

Po rozsáhlých přestavbách a rozšíření na düsseldorfském výstavišti se bude ve dnech 21. až 27. dubna konat 17. mezinárodní odborný veletrh obalů a balicí techniky INTERPACK 2005. Ve všech 17 halách s užitou výstavní plochou 160 000 m² se zúčastní přes 2200 vystavovatelů z 56 zemí a je očekáváno nejméně 170 000 návštěvníků.

Tato největší a nejvýznamnější akce ve svém oboru se koná ve tříletých intervalech. Zajímají se o ni především odborníci z nejrůznějších částí průmyslu, aby se seznámili s novinkami a trendy z oblastí technologie výroby obalových prostředků, finálních produktů, nových možností předtiskové přípravy, reprografie a polygrafických strojů pro obalovou techniku.

Když si prohlédneme současnou, již vysokou úroveň obalových materiálů a nejrozmanitější druhy obalů, především v potravinářství, farmacii, kosmetice, na drogistickém zboží a v mnoha jiných průmyslových oblastech, zjistíme, že kvalita obalů a celá moderní výkonná obalová technika jsou velkým přínosem při balení samotném, dopravě, skladování a ochraně nejrůznějších průmyslových výrobků. Vidíme to již v obchodech, jak dokonale, bezpečně, vzhledně a tím i přitažlivě jsou baleny např. elektrické spotřebiče, náhradní díly a různé součástky, spojovací materiál i mnoho jiného. Jsou však ještě jiná prů-

myslová odvětví, která potřebují nové, vhodnější, vzhlednější či bezpečnější obaly pro své výrobky.

Veletrh INTERPACK s individualizovanou nabídkou je nejrepresentativnějším fórem inovací a nejrozsáhlejší základnou pro úplné předvedení vhodných obalových materiálů včetně kompletního řešení obalů. Může poskytnout úplné informace také například pro výrobní podniky jemné mechaniky a optiky, výrobce součástkové základny v závodech slaboproudé i silnoproudé elektrotechniky, počítačové a telekomunikační techniky, železářského spotřebního zboží a pro mnohé další. Proto projektanti, konstruktéři, technologové i pracovníci z investic a rozvoje výrobní základny těchto podniků by si měli prohlédnout především veletržní haly 9 až 11 s obalovými prostředky a haly 4 až 8, 12 až 17 s balicími stroji. Ukázkově jsou zajímavé i speciální stroje pro balení cukrovinek v halách 1 až 3.

Podrobnější informace o veletrhu, doprovodném programu, vystavovatelích a novinkách lze najít na internetových stránkách www.interpack.com. Veletržní správa Messe Düsseldorf vychází našim zájemcům o návštěvu velmi vstřícně. Prostřednictvím svého zástupce pro ČR a Slovensko, kterým jsou Veletrhy Brno a.s., odbor zahraničního zastoupení, Výstaviště 1, 647 00 Brno, tel.: 541 152 533, fax: 541 153 051, poskytuje všechny další informace, prodává za korunu se slevou 15 % katalogy a vstupenky, platné též k bezplatným jízdám po Düsseldorfu.

(jpe)

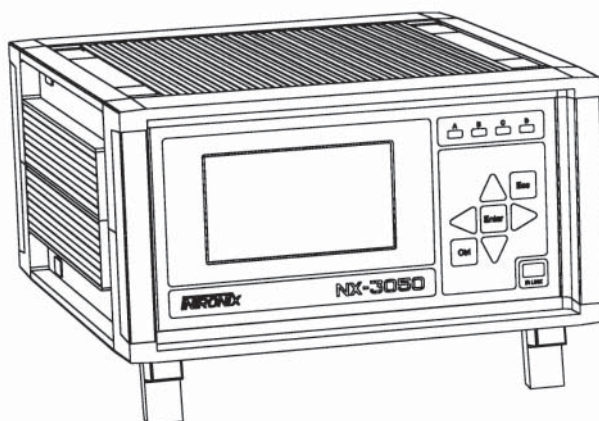
VÝROBCE A DODAVATEL MĚŘICÍ TECHNIKY PRO PROVOZNÍ I LABORATORNÍ MĚŘENÍ

Kompaktní měřicí přístroje **NX-3050** a **NX-3060** pro provozní měření geometrických veličin pomocí indukčních snímačů

- max. 16 kanálů
- rozsah $\pm 1.5\text{mm}$
- rozlišení $0.1\mu\text{m}$
- nastavení parametrů snímačů a jejich linearizace krytí IP40-54
- přídavné moduly vstupů / výstupů
- grafický displej
- vysoká flexibilita
- dialogový způsob obsluhy
- vícejazyčný dialog

Měřicí a řídicí moduly pro měřicí pracoviště, kontrolní stanice a třídící automaty

- kanály pro indukční snímače, rozsah $\pm 0.2-5\text{mm}$, rozlišení až $0.01\mu\text{m}$, rychlost vzorkování až 7200 měření / sec
- vstupy pro inkrementální a absolutní snímače polohy
- analogové vstupy a výstupy 4-20 mA
- dvouhodnotové vstupy / výstupy 24 V
- komunikace RS-232, RS-485, optické vlákno, PROFIBUS
- krytí IP20-65



Jednouúčelové řídicí systémy pro obráběcí a pracovní stroje
Měřicí moduly s komunikací přes průmyslovou sběrnici PRO-FIBUS

Systémy pro sběr dat a jejich statistické zpracování potřebné pro řízení kvality dle ISO9000

INTRONIX s.r.o.

Jana Masaryka 2
120 00 Praha 2

internet: www.intronix.cz
e-mail: info@intronix.cz

tel.: 02 / 22 51 60 23
tel./fax: 02 / 22 51 50 30

Z technické knihovny

WIEGLEB, G. a kol.: Industrielle Gassensorik. (Plynové snímače v průmysle). 1. vyd., Expert Verlag, Renningen 2001, 166 s., ISBN 3-8169-1956-1, cena: 42,00 EUR.

V monografii je podaný prehľad o aktuálnych postupoch merania s aplikáciou plynových snímačov (pre oblasti priemyslu chemického, potravinárskeho apod.). Popri osvedčených systémoch a meracích princípoch infračervenej absorpcie a využitím polovodičových efektov sa tu uvádzajú aj možnosti elektrochemických prvkov.

Dielo je účelne koncipované do ôsmich kapitol. V 1. kap. sú prezentované nové postupy v danej technickej oblasti. Nasledujúca kapitola sa zaoberá elektrochemickými snímačmi, aplikovanými na detekciu toxických plynov. Ďalšie dve kapitoly monografie sú venované polovodičovým a optickým plynovým senzorom (snímačom).

Emisné merania s prenosnými snímačmi a prístrojmi sú obsahom veľmi interesantnej piatej kapitoly. Sú tu podrobnosti o cha-

raktere meraných exhalátov, ako aj aplikačné detaily, využiteľné pri projektovaní meracích systémov, ktoré majú monitorovať úroveň kvality ovzdušia apod.

V ďalších dvoch kapitolách ide o spracovanie signálov z plynových snímačov, ako aj o ich skúšanie a justovanie. Taktiež sú tu podané veľmi cenné informácie o právnych aspektoch, týkajúcich sa spomenutej oblasti.

Posledná kap. je venovaná zariadeniam, ktoré detekujú prítomnosť nežiadúcich plynov (toxické, výbušné apod.). Uvedené sú tu všetky podstatné údaje, ako možno predchádzať nebezpečenstvu (výbuchu, požiaru, otravy) tak, aby nedošlo k ekonomickým a iným stratám.

Dielo je doplnené 111 obrázkami, 17 tabuľkami a 167 literárnymi odkazmi (žiaľ, viaceré z nich sú duplicitné!). To všetko však možno hodnotiť ako vhodný doplnok k lepšiemu pochopeniu textu!

I. Brezina

SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informuje

SPIE/CS informuje, že dne 18. 1. 2005 se konala v Olomouci schůze výboru SPIE/CS s následujícími závěry:

- 1/ Byla projednána činnost SPIE/CS za rok 2003 a byla schválena účetní závěrka za rok 2003.
- 2/ Byla projednána činnost SPIE/CS za rok 2004 a byla schválena účetní závěrka za rok 2004.
- 3/ Výbor zvolil jednomyslně funkcionáře výboru SPIE/CS:
president - prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc.
Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Olomouc
vicepresident - RNDr. Dagmar Senderáková, CSc.
FMFI UK, Bratislava
sekretář - RNDr. Karel Vojtěchovský
Wafertech, s.r.o., Rožnov pod Radhoštěm
kontrola - prof. RNDr. Ing. Jaroslav Pospíšil, DrSc.
Přírodovědecká fakulta UP v Olomouci
- RNDr. Ing. Jan Bartl, CSc.
Ústav merania, SAV Bratislava
- 4/ Výbor SPIE/CS vyslovuje poděkování odstupujícímu RNDr. Ladislavu Soukupovi za jeho dlouholetou a úspěšnou činnost ve funkci prezidenta SPIE/CS.
- 5/ Výbor SPIE vyhlašuje výběrové řízení na poskytnutí příspěvku na úhradu vložného na konferenci pořádané SPIE - The International Society for Optical Engineering v roce 2006.

Žádosti o zařazení do výběrového řízení přijímá prezident SPIE/CS (v České republice), respektive viceprezident SPIE/CS (ve Slovenské republice) do 31. 10. 2005. Výsledky výběrového řízení výbor SPIE/CS oznámí do 28. 2. 2006 účastníkům výběrového řízení.

Podmínky účasti ve výběrovém řízení:

- Platné členství ve SPIE/CS, minimálně v letech 2004, 2005. Platným členstvím se rozumí uhrazení členského příspěvku SPIE/CS pro daný kalendářní rok; u Ph.D. studentů bude platnost členství ověřena dle seznamu členů SPIE/CS.
- Aktivní účast na konferenci, na kterou je požadován příspěvek na vložné.
- Podání žádosti do výběrového řízení písemnou nebo elektronickou formou.

Žádost musí obsahovat:

- Jméno a příjmení žadatele, pracoviště, kontaktní adresa, e-mail, telefon.
- Specifikace konference SPIE, včetně kopie pozvánky, odkaz na www konference.
- Výši konferenčního poplatku.
- Název a stručná anotace příspěvku na konferenci.

Kontaktní adresy SPIE/CS:

- prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, e-mail: Hrabovsky@optnw.upol.cz, tel.: 00420585631501, fax: 00420585631531 (Česká republika)
- RNDr. Dagmar Senderáková, CSc., FMFI UK, Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava, e-mail: dagmar.senderakova@fmph.uniba.sk, tel.: 00421260295391, fax: 00421265425882 (Slovenská republika)
- Knihovna SPIE/CS: Elena Kučerová, tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, e-mail: kucerova@optnw.upol.cz, tel.: 00420585631504, fax: 00420585631531

SPIE/CS – společnost optiků informuje

Nabízíme k odprodeji následující sborník SPIE:

Proceeding of SPIE

Microwave and Optical Technology 2003

Jaromir Pistora, Kamil Postava, Technical Univ. of Ostrava (Czech Republic); Miroslav Hrabovsky, Palacky Univ. Olomouc (Czech Republic); Banmali S. Rawat, Univ. of Nevada
11-15 August 2003, Ostrava, Czech Republic
Vol. 5445

Cena: pro členy SPIE/CS 1 800,- Kč/ks + poštovné
pro nečleny SPIE/CS 2 500,- Kč/ks + poštovné

Dále nabízíme následující volné sborníky SPIE k prodeji:

Proceeding of SPIE:

Photonics, Devices, and Systems II

(26-29 May 2002, Prague, Czech Republic)
Vol. 5036

Cena 200,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Classical and Quantum Interference

(25-26 October 2001, Olomouc, Czech Republic)
Vol. 4888

Cena 100,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

12th Czech-Slovak-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics

(12-15 September 2000, Velké Losiny, Czech Republic)
Vol. 4356

Cena 150,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Photonics, Devices, and Systems (Proceedings from Photonics Prague '99)

(21-23 June 1999, Prague, Czech Republic)

Vol. 4016

Cena 150,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

11th Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics

(21-25 September 1998, Stará Lesná, Tatra Mountains, Slovak Republic)

Vol. 3820

Cena 150,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Iodine Lasers and Applications

(18-22 September 1995, Trest Castle, Czech Republic)

Vol. 2767

Cena 100,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Advanced Laser Technologies

(8-13 November 1993, Prague, Czech Republic)

Vol. 2332

Cena 100,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Poznámka:

Sborníky lze objednat u p. Kučerové v knihovně SPIE/CS na adrese: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc
Tel.: 585631504, 585631535, e-mail: kucerova@optnw.upol.cz

Prodej volných sborníků proběhne do vyčerpání zásob v pořadí dle došlých žádostí.

Elektronika se profiluje na MSV

Mezinárodní strojírenský veletrh v Brně patří v regionu střední a východní Evropy k nejprestižnějším přehlídkám inovací a trendů v průmyslové výrobě. Letošní 47. ročník se uskuteční v novém termínu, který zapadá přesněji do kalendáře odborných akcí v rámci evropského kontinentu. Vystavovatelům z oboru elektroniky tak jeho specializovaná část nabídne prostor pro prezentaci, obchodní setkání i přehled posledních trendů v oboru v době od 3. do 7. října 2005.

Proč do Brna?

Odpověď je snadná. Technologický vývoj jde rychle kupředu a velké průmyslové veletrhy s ním drží krok. MSV Brno ve svých expozicích i v odborném doprovodném programu prezentuje inovace a klíčové trendy ve strojírenství, elektrotechnice a průmyslových informačních technologiích. Za informacemi a kontakty sem každoročně přijíždí 105 000 návštěvníků ze šedesáti zemí celého světa. Klientelu posledního ročníku tvořili téměř z 80 procent tzv. decision makers - odborníci s rozhodovacími pravomocemi v otázkách investic svých firem. Ze zahraničí přijelo rekordních 11,8 % návštěvníků, většina z nich ze zemí střední a východní Evropy, což vytváří dobré předpoklady proniknout také na další trhy regionu. Na otázku, zda přišla „ta správná klientela“, odpovědělo kladně 93,5 % dotázaných vystavovatelů. I když se Mezinárodní strojírenský veletrh oproti předchozím ročníkům posunul na říjnový termín, zbývá do uzávěrky přihlášek pro vystavovatele jen zhruba měsíc. Původní, již klasický záříjový termín konání MSV, byl posunut s ohledem na veletrh EMO Hannover tak, aby se jak vystavovatelé, tak i návštěvníci mohli zúčastnit obou veletržních akcí.

Místo setkání profesionálů

Moderní strojírenská zařízení, automatizační systémy i regulační technika se dnes již neobejdou bez elektronických komponentů, které zpřesňují a řídí jejich činnost. Každoroční přehlídku nejnovějších trendů strojírenského průmyslu na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně tak doplňují i expozice novinek ze světa elektroniky a inovátorských přístupů pro řízení strojů a zařízení. Letošní 47. mezinárodní strojírenský veletrh, který se ve dnech 3. až 7. října 2005 odehraje na brněnském výstavišti, se stane největším setkáním odborníků ze světa průmyslu z nových členských zemí Evropské unie z oblasti strojírenství. Na tento veletrh ovšem zavítají i experti z dalších oborů – od elektroniky, přes regulační techniku až po chemiky a zástupce automobilového průmyslu. Hlavním tématem MSV 2005 bude oborový celek Plasty, gumárenství a chemie, souběžně se uskuteční také 3. mezinárodní veletrh dopravy a logistiky Transport a Logistika.

Elektronika a její pevné místo v Brně

Je bez diskuse, že klasický technický obor strojírenství si už dnes bez elektronických součástek a řešení nedovedeme představit. I ta nejjednodušší zařízení se bez řídicích jednotek, kontrolerů a dalšího technického vybavení prostě neobejdou. Není proto divu, že elektrotechnika má na MSV každoročně silné zastoupení. Obor Elektronika, automatizace a měřicí technika je v Brně

prezentován v celé své šíři - řídicí, automatizační a regulační technika - elektronické součástky, prvky a uzly - studiová a vysílací technika - stroje a zařízení pro elektrotechnický průmysl - měřicí a laboratorní technika a podobně. Z pohledu zájmu návštěvníků je nejatraktivnější nabídka oborového celku Elektronika, automatizace a měřicí technika, jehož expozice si vloni podle průzkumu prohlédlo 51 procent všech návštěvníků. Velkému zájmu se tradičně těší také Energetika a silnoproudá elektrotechnika. V roce 2004 prezentovalo na MSV své produkty 290 firem a podle průzkumů zajímaly jejich expozice více jak 50 % odborných návštěvníků.

Transport a Logistika 2005

Je spojen s Mezinárodním strojírenským veletrhem od roku 2001 a od té doby využívá vzájemného oborové propojení k oboustrannému úspěchu. Výhodou souběžného konání obou veletrhů je možnost představit dopravní a logistická řešení, jak specialistům, tak celé průmyslové sféře. Letošní 3. ročník bude pro T&L také prvním po vstupu do Evropské unie, takže pro řadu tuzemských i zahraničních vystavovatelů získá veletrh další rozměr, kdy mohou dynamicky reagovat na zvýšenou poptávku po komplexních logistických službách. Stále více firem si totiž uvědomuje, že podmínkou úspěšnosti v globální ekonomice jsou právě kvalitní logistická řešení umožňující efektivnější tok zboží i pružnější distribuci. Veletrh T&L 2005 jim svou nabídkou poskytne kvalifikované vodítko ve výběru dodavatelů výrobků i služeb. Jen pro zajímavost, předchozího ročníku veletrhu T&L se účastnilo 193 firem z patnácti zemí. Jejich expozice si podle průzkumu prohlédlo 39 000 návštěvníků a s prioritním zájmem o dopravu a logistiku na výstaviště přišlo 11,7 procent návštěvníků.

Profil veletrhu

Prestiž veletrhu dokládá také loňská návštěvnost a počet vystavujících subjektů. Z konečného auditu jasně vyplynulo, že rok 2004 byl největší přehlídkou průmyslové techniky a technologie v nových členských zemích Evropské unie. MSV - včetně souběžně pořádaného veletrhu obráběcí a tvářecí techniky IMT - se zúčastnilo celkem 2 215 firem ze 33 států na čisté výstavní ploše 70 255 m². Nejvíce zahraničních vystavovatelů přijelo z Německa, Slovenska, Itálie a Rakouska. Pro české firmy je to jasný signál - o český trh má zahraničí velký zájem.

Produkce vystavujících firem směřuje především do automobilového (21,6 %), elektrotechnického (15,1 %) a chemického průmyslu (12,1 %). Expozice veletrhů MSV a IMT si během pěti dnů prohlédlo 105 349 návštěvníků ze 62 zemí, přičemž zahraniční odborníci se na celkové návštěvnosti podíleli rekordními 11,8 procenty.

Strojírenský veletrh byl velmi úspěšný také z pohledu uzavřených kontraktů. Jeden příklad za mnohé: brněnská společnost Ekol uzavřela obchod za více než sto milionů korun.

Uzávěrka přihlášek - spojená s cenovým zvýhodněním - je do 31. 3. 2005.

Více informací na www.bvv.cz/msv.

4. mezinárodní veletrh strojírenské techniky, komponentů a subdodávek pro stroje a zařízení

- pod záštitou Ministerstva průmyslu a obchodu ČR
- veletrh **MACH** je prezentací výrobců, dodavatelů a trendů ve strojírenských a navazujících oborech
- opět po dvou letech je pořádán souběžně s dalšími odbornými veletrhy FINET, METAL, DRIVE a INTERPLAST

Vážení obchodní přátelé,

dovolujeme si Vás pozvat k účasti a k návštěvě 4. ročníku mezinárodního veletrhu strojírenské techniky, komponentů a subdodávek pro stroje a zařízení MACH 2005, který se uskuteční v Praze ve dnech 10. až 12. května. Výstavní prostory Pražského veletržního areálu Letňany, který se nachází v severní části Prahy při městském rychlostním okruhu a zaústění dálnice D8 z Drážďan do Berlína, svým vybavením vyhovují technickým i estetickým požadavkům na pořádání technicky zaměřených veletrhů.

Strojírenství patří k nejvýraznějším odvětvím českého zpracovatelského průmyslu. Jeho výrobky nacházejí velmi široké uplatnění a jsou indikátorem vývoje našeho hospodářství.

Veletrh MACH prezentuje celosvětově rozšířené moderní výrobní technologie směřující k neefektivnějšímu řešení s cílem zajistit co nejlepší konkurenceschopnost. Mezi vystavovanými exponáty budou opět CNC soustruhy, obráběcí centra, CNC frézky, tvářecí stroje, stroje pro dělení materiálů, nejmodernější nástroje a nářadí, produktivní obráběcí materiály a další součásti pro strojírenství.

Ve výstavní hale č.3, která bude věnována především oboru obrábění, Vás uvítá mezi vystavovateli akciová společnost TAJMAC-ZPS, jenž je nejen nositelem více než 100leté tradice, ale hlavně předním výrobcem obráběcích strojů v České republice. Její výrobní program se skládá z vysoce výkonných vertikálních a horizontálních obráběcích center, CNC soustruhů a soustružnických center a ze světového hlediska špičkových vícevřetenových soustružnických automatů. Jako první v České republice, zahájila společnost TAJMAC-ZPS v roce 2001, výrobu multifunkčních víceosých obráběcích center, přinášející moderní progresivní obrábění na jedno upnutí. Novinkou roku 2005 je vysoce sofistikované obráběcí centrum MCV 1210. Velkou předností společnosti TAJMAC-ZPS je vlastní slévárna šedé a tvárné litiny.

Firma TOS VARNSDORF a. s. je předním českým výrobcem obráběcích strojů, věrna své více než stoleté tradici se specializuje na výrobu vodorovných frézovacích a vyvrtávacích strojů a obráběcích center. Více než 90% své produkce vyváží nejen do zemí Evropské unie, ale také do Kanady, USA, Ruska, Číny, Indie a na další perspektivní trhy. Kromě hlavního výrobního programu se věnuje výrobě zvláštního příslušenství nejen ke svým strojům, z tohoto sortimentu jsou nejzajímavější frézovací hlavy, z nichž jednu, HUI 50, bude vystavovat na veletrhu MACH 2005 v Praze. Vedle této speciální výroby firma úspěšně rozvíjí technologické možnosti vlastního strojového parku a využívá je k nabídce kooperace i v těch nejnáročnějších technologických operacích s vysokou přesností. Používané technologie umožňují provádět např. přesné obrábění na špičkových obráběcích centrech (a to i vlastní výroby), hluboké vrtání a jako pověstnou třeshničku nabídky přesného obrábění výrobu forem na strojích

z vlastní produkce. Tyto stroje jsou uzpůsobeny vysokorychlostnímu obrábění všech druhů forem. Kvalita je naprosto přirozená, firma běžně používá výkonné tříosouřadnicové měřicí zařízení, které té přirozenosti dává každodenní rytmus a řád. Na veletrhu MACH 2005 budou předvedeny všechny významné technologické možnosti, které firma nabízí. Sem nepatří jen vlastní práce s hmotou, ale v nabídce jsou zúročeny také bohaté zkušenosti z oblasti vývoje a zakázkové technologie. Zde kralují konstruktéři a technologové, kteří dokáží pomocí prostředků kvalitní informační technologie splnit i nejnáročnější přání zákazníků. Ani tím však nabídka nekončí, firma disponuje velmi výkonnou a špičkově vybavenou technologií chemického a tepelného zpracování kovů a jako skutečně seriózní výrobce nekončí péčí o zákazníka prodejem, ale přidává k tomu důkladný servis a trumfuje nabídkou oprav (od běžných až po generální) a modernizace strojů z vlastní produkce. Na stánku firmy TOS VARNSDORF a. s. nenajdete velké obráběcí stroje, ale můžete poznat tajemství kvality, rozvoje a toho ostatního, co je uvnitř, co není vidět, ale je stejně tak důležité.

TST servis a.s. předpokládá představit zákazníkům a návštěvníkům veletrhu MACH 2005 ucelenou řadu soustruhů, které firma nabízí. Jedná se především o konvenční univerzální soustru-



hy řady SN, které bude reprezentovat stroj SN 32 v CE provedení s určením především pro údržbářské dílny. Pro náročnější odběratele bude vystaven stroj MASTURN 32 E, cyklický soustruh řízený počítačovou jednotkou japonské firmy FANUC. Stroj je určen pro malosériovou výrobu a je velmi zajímavý především svojí příznivou cenou. Špičku v oboru soustružnických strojů bude představovat CNC soustruh firmy DMT Kern Loerach s řídicím systémem Heidenhain 4110 P. Pro zájemce o vodorovné rovinné brusky bude představen stroj BRH 20.03 s aktivním odměřováním. Pro všechnu odbornou veřejnost budou představeny nástroje a nářadí pro užití na obráběcích strojích, které v současné době představují nejvyšší kvalitu v oboru třískového obrábění.

Na veletrhu MACH 2005 Vás tedy osloví podniky vyrábějící stroje v ČR, ale bohatá bude i nabídka ze strany zahraničních zastoupení např.: BRIDGEPORT, BROTHER, CITIZEN-BOLEY, COLCHESTER, EMCO MAIER, FAT, HAAS Automation, HARRISON, HURCO, KIRA, LICO, MAKINO, MANDELLI, OKK, OKUMA, OPTIMUM, PINACHO, SWISTOOL, TOR-NOS, ZETT-MESS.

Budoucnost našeho strojírenství je třeba spatřovat i v rychlém tempu rozvoje nových výrobků, k čemuž přispívá v první řadě kvalitní konstruování dílčích součástí a komponentů. Vhodně zvolené komponenty s novým konstrukčním provedením zajišťují zdokonalené vlastnosti, vysokou provozní spolehlivost, vyšší účinnost, hospodárnost, provozní bezpečnost, optimální náklady na údržbu a dlouhou životnost. Výstavní hala č.2 bude proto vyhrazena setkání významných výrobců a dodavatelů, kteří představí množství trendů v oblastech mechanických, hydraulických, pneumatických a dalších součástí a subdodávek pro strojírenství. Významná bude prezentace i v oboru informačních technologií nabízející CAD, CAM a TPV systémy včetně kompletního SW a HW vybavení pro konstrukční a projekční pracoviště.

Pořadatelé veletrhu MACH s každým novým ročníkem poznávají, jak velmi obtížné je pro firmy získávat nové kvalitní pracovníky ve strojírenských profesích. Proto zaujímá stále významnější úlohu aktivní účast nejen strojních fakult našich vysokých škol, ale i odborných středních škol a učilišť s praktickými ukázkami přípravy žáků přímo na expozicích.

Veletrh MACH navíc klade důraz na další činnosti související a ovlivňující výrobu, její kvalitu a užitnou hodnotu, tudíž dává prostor pro diskusi podnikatelů s autory – designéry a příklady tvarových řešení některých strojnických výrobků slouží jako inspirace k budoucí efektivní spolupráci.

U příležitosti veletrhu vyhláší veletřní správa TERINVEST opět tradiční soutěž o nejlepší exponát pod názvem ZLATÝ MACH 2005. Touto cenou ohodnotí odborná komise první den veletrhu tři vybrané exponáty ze všech přihlášených. Mezi posuzovaná kritéria patří země původu, technické parametry, materiál, přednosti, stávající uplatnění na trhu (prototyp, sériová výroba, nultá série apod.).

Záměrem je vytvořit tradici a prostor pro poznání a rozvoj strojírenských technologií s vazbou na materiály a možnosti jejich zpracování. K tomu přispívá zvýraznění různých tematických oblastí v nomenklaturách souběžně konaných specializovaných veletrhů: FINET - 3. mezinárodní veletrh povrchových úprav a finálních technologií

METAL - 12. mezinárodní veletrh metalurgie

DRIVE - 2. mezinárodní veletrh výrobců a subdodavatelů pro automobilový průmysl

INTERPLAST - 5. mezinárodní veletrh průmyslových plastů a pryží

Konání akcí MACH, FINET, METAL, DRIVE a INTERPLAST podporuje velké množství podniků a odborných organizací s nejrůznějším zaměřením odpovídajícím výstavní nomenklatuře, s kterými veletřní správa TERINVEST spolupracuje na přípravách a doprovodných programech (vzdělávací akce, semináře, besedy a prezentace firem).

Odborní garanti budou zajišťovat na svých informačních stáncích poradenskou a konzultační činnost včetně informací o inovačním podnikání, odborných kurzech a celoživotním vzdělávání.

Věříme, že i pro Vás bude účast na 4. ročníku veletrhu MACH zajímavou příležitostí efektivně využít jeho podnikatelské klima k naplnění Vašich firemních záměrů.

*Ing. Hana Pokorná
ředitelka projektu*

Mezinárodní veletrhy VISION – CREATIVE – INTEC

Jarní veletřní sezóna roku 2005 v České republice bude již v plném proudu, když ve dnech 14. – 16. 4. 2005 představí společnost TERINVEST nové veletrhy:

- VISION 2005** – mezinárodní veletrh grafické a tiskové techniky,
- CREATIVE 2005** – mezinárodní veletrh obrazové, zvukové a osvětlovací techniky,
- INTEC 2005** – mezinárodní veletrh informační a komunikační techniky.

Uvedené veletrhy budou probíhat v Pražském veletřním areálu Letňany, který v posledních letech prošel významnými změnami. Tyto změny poskytují vystavujícím firmám i návštěvníkům kvalitnější prostory pro jejich prezentaci, dokonalé servisní zabezpečení včetně rozsáhlého parkoviště s kapacitou 10 000 parkovacích míst.

Jak se tyto nové veletrhy zrodily? Na přání samotných vystavovatelů se veletřní správa rozhodla vypustit tři odborná témata ze známého již tradičního veletrhu Amper a zahrmla je do samostatných sekcí.

Tím vznikl trojlístek odborných veletrhů, které dohromady tvoří jednotný tematický celek.

Toto třídní odborné veletřní setkání českých a zahraničních výrobců grafické, fotografické, animační a tiskové techniky je určeno především profesionálům, odborné veřejnosti z těchto odvětví a také obchodníkům z průmyslové, obchodní a státní sféry. Jde nám především o to, abychom vystavovatelům poskytli možnost kontaktu s cílovým zákazníkem v těchto oborech, špičkovou prezentaci a možnost uzavření různých obchodních kontraktů. Chceme se právě tímto odlišit od jiných veletrhů, kde se poslední dobou vyskytuje široká část neoborné veřejnosti. Všichni účastníci se zde budou moci seznámit s nejnovějšími trendy a službami na trhu. Rychlý způsob získání informací a dobrá úroveň dávají záruku dobře investovaného času.

Součástí veletrhu je i doprovodný program, který bude zahrnovat odborné semináře, školení, přednášky, výstavy fotografií a ukázky fotografické praxe ve spolupráci s Pražskou fotografickou školou a firmou Amos Software.

Tyto semináře mají za úkol prohloubit odborný charakter této akce a vytvořit více prostoru pro vzájemná jednání.

Kontaktovat nás můžete na tel.: + 420 221 992 460,
+ 420 777 070 270, fax: + 420 221 992 146,
e-mail: nahlikova@terinvest.com a nebo na webových stránkách
www.terinvest.com/creative

CONTENTS

Remembering the beginnings of the journal JMO fifty years ago (L. Slavkovský) 71

Stress measurement in thin layers with aid of combined optical method (I. Ohlídal, M. Ohlídal, D. Franta, V. Čudek, V. Buršíková, M. Šiler) 72

In this paper mechanical stresses taking place in diamond like carbon (DLC) thin films prepared by plasma enhanced chemical vapor deposition onto silicon single crystal substrates are studied. For determining the stress values inside the films the optical methods are used. The first method is based on treating the interferograms obtained using a two-beam interferometer. By means of these interferograms the values of the curvature radius of spherical surfaces of the deformed silicon substrates are determined. Using the modified Stoney's formula the stress values are then evaluated. For determining the stress values inside the DLC films the latter optical method based on chromatic aberration is also employed. By means of this method the values of the curvature radius of the deformed substrates are determined through the heights describing the deformations of these substrates. The results achieved using both the methods are compared. It is shown that the stress values determined by both the methods agree very well. The values of the film thickness needed for determining the stress values using the Stoney's formula are found by the combined method of variable angle spectroscopic ellipsometry and spectroscopic reflectometry. In this paper it is moreover shown that the stress values inside the DLC films decrease with increasing the thicknesses of these films.

Measuring of spatial characteristics of laser beams by using CCD camera (J. Guttenová, P. Vojtek) 76

Paper deals with investigation of spatial characteristics of Gaussian laser beams. Transverse intensity profile has been pictured by CCD camera. Characteristic parameters of real beam have been determined on the basis of the theory of laser beam transformation by thin lens. Main attention is paid to two methods of imaging of transmuted beam while the lens is either fixed or a component of camera unit.

Scanning electron microscope for surface study (P. Hrnčířik, I. Müllerová) 79

Scanning electron microscope for surface study with detection of slow and Auger electrons was built. Device arises from renovation of obsolete ultrahigh vacuum scanning electron microscope Tesla BS 350. Vacuum system of the microscope was completely reconstructed, microscope was connected to computer controlled electronics. There were designed, built and put in order necessary detectors for image signals.

Z technické knihovny

KOCH, A. W. a kol: Optische Messtechnik an technischen Oberflächen. (Optické meranie na technických povrchoch). 1. vyd., Expert Verlag, Renningen – Malsheim 2003, 212 s., ISBN 3-8169-1372-5, cena: 38,00 EUR.

Pomocou optických (bezdotykových) meracích metód možno merať parametre technických povrchov rýchlo a správne. Tieto metódy sú nielen efektívne, ale aj nenáročné v laboratóriách a priamo v produkčných podmienkach.

Autorský kolektív nemeckých odborníkov (7 spoluautorov) v svojej monografii prezentuje najnovšie poznatky z prístrojovej techniky a metodiky merania parametrov technických povrchov. Dielo je veľmi dobre ilustrované (167 obrázkov) a doplnené rozsiahlym súpisom literárnych prameňov (418 citácií!!!).

Imaging of nonconductive samples in a scanning electron microscope (F. Mika, L. Frank) 82

If we observe nonconductive structures in a SEM, an electric charge accumulates in the surface layer of the sample, which negatively influences the image formation. One of the ways to eliminate this unwanted effect is working at such a primary beam energy for which the entire flux of emitted electrons equals to the primary beam current. We have developed and verified a method enabling us to find this so-called critical energy for an arbitrary specimen that does not show significant differences in the charging of larger areas.

Measurement of luminosity curves (P. Horňák) 91

The largest technical fair (jpe) 94

Fair for all products packaging (jpe) 94

Intronix 95

SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informs 96

SPIE/CS Proceedings offer 96

Electronics demonstrates itself at the International Engineering Fair in Brno 97

Mach 2005 Praha (H. Pokorná) 98

International fairs VISION - CREATIVE - INTEC (L. Náhlíková) 99

ANOTACE

Bezkontaktné meranie malých deformácií predmetu pomocou metódy korelácie polí koherenčnej zrnitosti (P. Horváth, P. Šmíd, P. Wagnerová, M. Hrabovský) 85

Tento prehľadový článok popisuje modernú optickú metódu určenú pre meranie malých deformácií predmetu. Zmienená metóda využíva javu koherenčnej zrnitosti a je založená na dekorelácií polí koherenčnej zrnitosti, ktorá je spôsobená malou deformáciou zkoumaného objektu. Stručne je zde popsán princíp meracích metód a také jsou zmíněny základní vztahy, které platí mezi šířením pole koherenční zrnitosti a deformací predmetu. Hlavní pozornost je věnována možnostem využití prezentované metody k měření rotace, translace, pružné deformace a vibrace predmetu. Pro jednotlivé případy jsou znázorněna navržená experimentální uspořádání a také jsou uvedeny některé dosažené výsledky měření.

Kniha je štruktúrovaná do siedmich kapitol; v prvej kap. je vysvetlená motivácia pre napísanie takejto monografie, ako aj definície základných termínov.

Základy laserovej meracej techniky sú podané v 2. kap. Predovšetkým sú tu vysvetlené základné termíny, podstata interferenčného javu, princíp laserov a podrobnosti o optických detektoroch. Nadväzná 3. kap. sa zaoberá meraním dĺžok, rýchlosti a klasifikáciou objektov. Nechýba tu ani stať o Dopplerovskej metóde merania rýchlosti.

Veľmi dôležitá kap. 4 je venovaná meraniu tvaru povrchov. Podané sú tu metódy interferenčné, ako aj iné. Zaujímavá je spracovaná stať o aplikácii škvŕnkovej interferometrie.

I. Brezina