

TOPTEC – nové možnosti realizace zakázkové optiky.

Radek Melich, Vít Lédl, Zbyněk Melich
Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i, Výzkumné centrum TOPTEC
Skálova 89, 511 01 Turnov, email: vod@ipp.cas.cz

Výzkumné centrum TOPTEC, které buduje Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. v Turnově, na které získal dotaci 178 mil. Kč z EU, se má během tří let stát moderním pracovištěm na realizaci zakázkové optiky. Je vycházeno ze zkušeností Optické dílny, založené v roce 1965 Astronomickým ústavem Akademie věd. Hlavní náplní práce bude výzkum a vývoj unikátních optických dílů a soustav, a to zejména v oblasti asférické optiky, krystalové a RTG optiky, tenkých vrstev, adaptivní optiky a difrakčních optických prvků a optoelektroniky. Součástí bude i výzkum v oblasti optických systémů pro detektory částic a vývoj příslušných dílů jemné mechaniky pro pouzdření optiky. Příspěvek podrobněji uvádí možnosti aplikace nových technologií ke zhotovení náročných asférických povrchů.

TOPTEC – new possibilities for custom made optics.

Research Centre TOPTEC recently founded by Institute of Plasma Physics ASCR, v.v.i. in Turnov (funded by 178 mil. Kč from EU dotations) is going to be a modern centre for prototype and custom made optics within 3 years. A strong know-how heritage comes from Optical Development Workshop founded in 1965 by Astronomical Institute. A main topic is reserach and development of unique optical elements and systems with a focus on aspherical optics, crystal and X-ray optics, thin-films, adaptive optics, difractive elements optics and optoelectronics. Part of the research program will study optical systems for partical detector systems and development of fine mechanics systems for above mentioned optical elements. The paper describes possible application of new technologies and its capabilities to produce state-of-art aspherical surfaces.

1. Úvod

Astronomický ústav ČSAV pro výzkum, vývoj a realizaci optických dílů programu Interkosmos založil v roce 1965 optickou dílnu. Tu situoval do Turnova, do tehdejšího národního podniku Monokrystaly, s ohledem na skutečnost, že v tomto městě je několik pracovišť, kde se dlouhodobě věnují opracování křehkých materiálů a výrobě optiky.

Tato optická dílna získala v průběhu let 1985 až 1990 vlastní budovy a nové výrobní vybavení. Instalované nové stroje a přístroje, dodané převážně z Zeiss Jena, umožňovaly zajistit individuální požadavky projektu, (zhotovení optiky pro pozorování v RTG oblasti záření a vývoj unikátních úzkopásmových filtrů) a realizaci atypické optiky pro potřeby ostatních pracovišť Akademie věd a vysokých škol. Pracoviště v letech 1992-2006 bylo vedeno jako samostatný ústav – Vývojová optická dílna AVČR. Od roku 2006 pak je detašovaným pracovištěm Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.

Protože dnes lze celou řadu optických dílů zajistit prostým nákupem katalogové optiky mnoha velkých dodavatelů, soustředil se výzkum a vývoj pracoviště v posledních letech na realizaci individuálních atypických a unikátních optických dílů. Takové prvky zpravidla vyžadují velmi vysoké nároky na přesnost. To je reálné zajistit i na relativně jednoduchých výrobních strojích, jaké zkušení pracovníci dílny k realizaci používají. Avšak obtížnost kladených úkolů je stále vyšší a tak existující technologické a kontrolní vybavení již mnohdy nedostačuje nárokům na výrobky, nebo jejich zhotovení není ekonomické.

Z těchto důvodů Ústav fyziky plazmatu připravil v roce 2009 projekt na vybudování Centra speciální optiky a optoelektronických systémů – TOPTEC. Žádost o realizaci byla podána do druhé prioritní osy operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace. Cílem je vybudovat a rozvíjet moderní výzkumné centrum pro oblast speciální optiky a optoelektronických systémů. Projekt byl vybrán v tvrdé konkurenci ostatních projektů a schválen k 1.10.2010 [1]. Je podpořen částkou 178 mil. Kč, přičemž Ústav fyziky plazmatu dále do projektu vloží cca 40 mil. Kč tak, aby v závěru tříleté realizace bylo možné disponovat špičkovým technickým vybavením a kvalifikovanými pracovníky. Budované pracoviště umožní navrhopvat, vyvíjet a realizovat i zcela originální optické prvky a soustavy, konkurenceschopné v mezinárodním srovnání.

Výzkumné zaměření centra TOPTEC tedy naváže na dosavadní aktivity optického pracoviště ÚFP AV ČR, v.v.i. v Turnově a bude rozšířeno o moderní směry ve výzkumu optiky. Program je rozdělen do šesti výzkumných a vývojových oborů, a to:

- 1) asférická optika
- 2) tenké vrstvy a optické systémy
- 3) adaptivní optika, difrakтивní optické elementy, ultrapřesné měřicí metody, optoelektronické systémy
- 4) krystalová a rentgenová optika
- 5) optické systémy a metody pro detekci částic
- 6) jemná mechanika.

2. Výzkum a vývoj v oblasti asférické optiky

Centrum TOPTEC bude disponovat zásadně modernizovaným technologickým a přístrojovým vybavením, tedy celou řadou moderních výrobních zařízení a přístrojů pro přesné měření. Zároveň dojde k posílení kolektivu výzkumných pracovníků tak, aby bylo možné řešit nejnáročnější práce v uvedených oblastech. Největší část prostředků bude věnována výzkumu, vývoji a realizaci aférických optických ploch. V této oblasti má pracoviště značné zkušenosti - v Optické dílně bylo od jejího založení realizováno mnoho unikátních optických dílů, využívající přednosti asférických povrchů.

Současná výroba optických soustav klade vysoké nároky na jejich realizaci. Díky výkonným počítačům lze navrhovat složité sofistikované optické soustavy, které dosahují i ve velkém zorném poli dokonalé korekce, splňující nebo blížící se difrakčnímu limitu – tedy soustavy fyzikálně dokonalé. Jejich návrh je náročný, avšak fyzická realizace takových soustav je obzvlášť obtížná. Je nutno si uvědomit, že takové soustavy musí dosáhnout dokonalé zobrazení jako mechatronický celek, kde tolerance dW tvaru výsledné vlnoplochy W se pohybují ve zlomcích vlnové délky světla, tedy obvykle v toleranci $dW < 100$ nm. Přitom reálné optické soustavy bývají sestaveny z řady optických dílů: z čoček, odrazných ploch, průhledů, hranolů, klínů, barevných filtrů, mřížek a celé řady dalších, mnohdy atypických dílů. Průchozí vlnoplocha W je těmito optickými prvky zásadně ovlivňována, dle návrhu optického konstruktéra. K výrobě jsou použity reálné materiály, které mnohdy vykazují značné nehomogenity indexu lomu n_i . Je zřejmé, že je značně obtížné získat fyzikálně dokonalou optickou soustavu [2].

Proto snahou je, zásadním způsobem omezit počet v soustavě použitých optických prvků. To však je obtížné, má-li se splnit požadovaná korekce. Korekce aberací je určena vhodně volenými poloměry R_i , tloušťkami t_i a materiály s indexem lomu n_i , kde každá z uvedených hodnot může být korekční parametr optické soustavy.

S výhodou lze získat a přidat další korekční parametry. To je možné zajistit vložení asférických optických ploch do soustavy [3]. Na rozdíl od použití jednoduché kulové plochy poloměru R_i umožní správně zařazená asférická plocha využít jako korekční parametry i asférické koeficienty.

Souřadnice rovnice asférické plochy lze uvažovat v obvykle uváděném tvaru [2,4]:

$$z = c r^2 / (1 + (1 - (1 + k)c^2 r^2)^{1/2}) + a_4 r^4 + a_6 r^6 + a_8 r^8 + a_{10} r^{10} + \dots \quad (1)$$

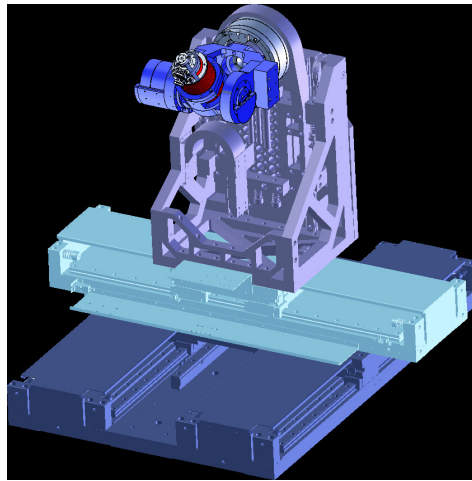
$$\text{kde } r^2 = x^2 + y^2 \quad (2)$$

$c = 1/R$ je křivost plochy,

přičemž hodnoty polynomu $k, a_4, a_6, a_8, a_{10}, \dots$ jsou asférické koeficienty.

Realizace asférických ploch je náročný výrobní proces. Má-li však kvalifikovaný optik dostatek času, dokáže zhotovit takové optické plochy, které dokáže změřit. Nejčastěji se využívají asférické plochy 2. řádu, které v rovnici (1) určuje nenulový koeficient k , přičemž ostatní asférické koeficienty a_i jsou nulové. Takové plochy lze měřit poměrně jednoduchými metodami autokolimace. Asférické plochy málo odlišné od kulové plochy se nejčastěji realizují úpravou velkoplošného leštícího nástroje. Příkladem je výroba astronomických zrcadel, kde úpravou leštící podložky do tvaru hvězdy lze poměrně snadno takové plochy zhotovit. Pro plochy odlišné od koule o větší hodnoty než jednotky mikrometrů je nutné použít jiných metod. Osvědčila se například jednoduchá metoda využívající Šolcovy prstence, kterými lze zhotovit prakticky libovolnou rotační asférickou plochu [5].

Výpočetní technika v posledních letech velmi rychle pronikla také do výroby optických strojů. Optické CNC stroje se nejprve uplatnily v hromadné výrobě kondenzorové optiky [6], následně byly aplikovány v hromadné výrobě přesné optiky [10]. V posledních letech se prosadily i do opracování ploch asférických. Je využíváno metody, kdy stroj je



Obr. 1 Princip obráběcího stroje s posuvy v osách x,y,z, a s řízenou rotací α a řízeným náklonem β stolu

osazen přesnými zpětnovazebními suporty v osách x,y,z, s řízenou rotací α stolu a řízeným náklonem β stolu, či obráběné plochy - obr.1. Na takovém stroji se provede hrubování tvaru a jemné broušení pomocí rotujících nástrojů s vázaným diamantem, případně naleštění plochy, aby bylo možné sejmout interferogram. Ten se získá na speciálně konstruovaných bezdotykových asférických interferometrech [7,8,9]. Výsledkem je mapa povrchu optické plochy, která se následně přesně leští, tedy odleští se převýšení změřená na obráběné ploše. Po několika cyklech takového interferometrického měření a přesného leštění lze na těchto strojích dosáhnout přesnosti opracování ve zlomku vlnové délky.



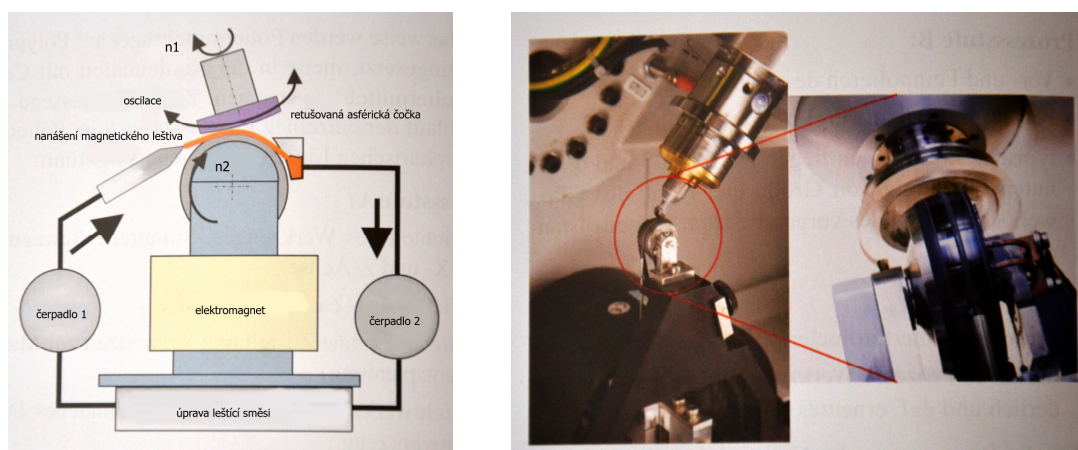
Obr. 2 Hrubovací a lapovací stroj k realizaci asférických ploch

Právě takovým zařízením bude pracoviště TOPTEC disponovat. K hrubování bude využíván stroj, jehož typ je uveden na obr. 2. Následně se přenesou do obdobně konstruovaného leštícího stroje, který zajistí hrubé vyleštění – obr. 3. Na asférickém interferometru se získá interferogram, z kterého se vyhodnotí odchylky od požadovaného tvaru. Zjištěná převýšení se v následném procesu odlešťují na speciálním dokončovacím - retušovacím - leštícím stroji.



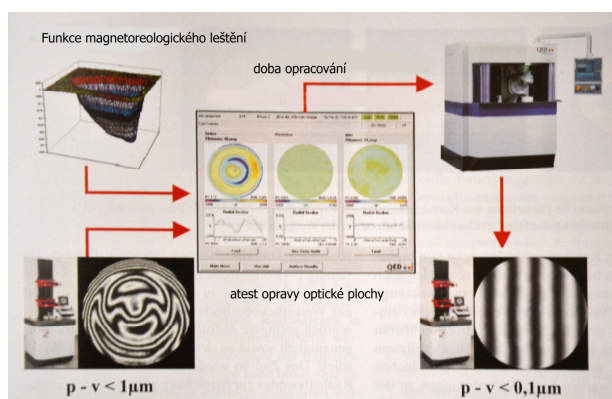
Obr. 3 Stroj k robotickému leštění asférických ploch

Pro produktivní přesné leštění - retuš asférických ploch se v současnosti využívá dvou metod, a to technologie MRF – magnetoreologického leštění, nebo metod IBF – iontového leštění.



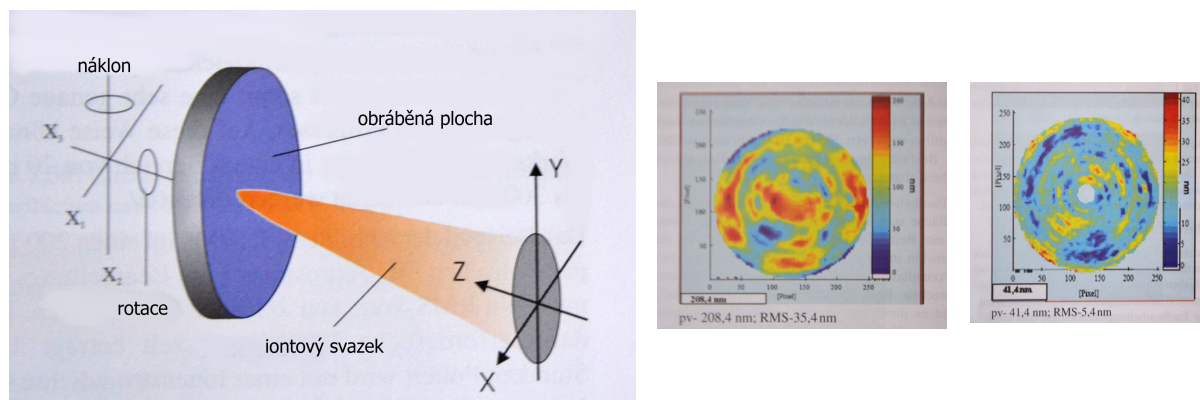
Obr. 4 Princíp magnetoreologického leštění s využitím magnetického leštiva

Metoda magnetoreologického leštění MRF [11,12] využívá patentovaný způsob, kdy na rotující elektromagnet je naléván pramének speciálního magnetického leštiva obr. 4. CNC stroj definovaně pojíždí nad rotujícím obrobkem a rotující kotouček, který má na obvodu přichycené magnetické leštivo, odebírá řízeným procesem vyvýšeniny na obrobku, který též rotuje a naklání se. Tento způsob nelze aplikovat na magnetické obráběné plochy, další nevýhodou je vysoká cena leštiva a jeho samovolná degradace. Jde však o univerzální metodu, kterou lze opracovat prakticky libovolné tvary optických ploch, s přesností až $\lambda/50$.



Obr. 5 Atest před a po opravování plochy MRF leštěním

Metoda IBF [13,14] je složitější v tom, že obrobek je vložen do evakuované komory.



Obr. 6 Princip iontového opracování. Interferogram před a po retuši asférické plochy

Energetický svazek iontů vhodného plynu, nejčastěji argonu, je řízeně soustředěn na optickou plochu, která definovaně rotuje a má možnost náklonu i posunu – obr. 6. Ionty bombardují povrch naleštěné plochy a snímají tak definovaně materiál. Výhodou je, že takto lze leštit i kovové vodivé materiály. Metoda je velmi účinná a dovoluje přesné řízení procesu. Protože svazek lze velmi přesně zaostřit, lze tento způsob leštění využít i pro opracování miniaturních součástek.

3. Závěr

Cílem příspěvku bylo seznámit se založením výzkumného a vývojového centra TOPTEC. Je podrobněji informováno o výhodách použití asférických ploch ke korekci optických soustav. Jedním z důležitých úkolů centra bude realizovat nejnáročnější asférické plochy všech typů, využitelných při stavbě složitých optických soustav. Je uveden výhled zajišťovaného strojního zařízení, na kterém se takové náročné optické plochy budou realizovat.

Poděkování: Práce byla řešena jako dílčí část výzkumného záměru, projekt AV0Z20430508, přičemž bylo využito poznatků z projektu 1QS100820502.

4. Literatura

- [1] Projekt OP VaVpI CZ.1.05/2.1.0/03/0079, MŠMT, Praha 2010.
- [2] Míkš A., Aplikovaná optika 10, ČVUT, Praha 2000, s. 259
- [3] Melich Z., Asférické plochy v optice, Diplomová práce, Olomouc 1975, s. 160.
- [4] Norma ISO 10 110, Optics and optical instruments, Part 1 – 13.
- [5] Šolc I., Nástroj pro broušení a leštění rotačních asférických ploch, JMO, 6, (1961) č.1, s.30-32.
- [6] Horne D.F., Optical production technology, Hilger, London 1972, s. 567.
- [7] Malacara D., Optical Shop Testing, 2nd edition, NY 1992, s. 577.
- [8] www.taylor-hobson.com
- [9] www.zigo.com
- [10] Braunecker B., Advanced optics using aspherical elements, SPIE, Bellingham 2008, s.414
- [11] www.qed.com
- [12] www.schneider-om.com
- [13] www.iom-leipzig.de
- [14] www.optotech.de
- [15] www.satisloh.com