

Interferometrické metody pro měření topografie povrchu

Bc. Marek Mach, Ing. Pavel Psota, Ph.D.

Abstrakt

V této práci je nastíněna problematika velmi přesného měření topografie povrchů funkčních sklených a kovových komponent. Pro analýzu povrchů vybraných vzorků byly využity interferenční metody dvouvlnové interferometrie s řízenou změnou fáze a interferometrie skenování vlnovou délkou. Tyto metody se vyznačují rychlostí vyhodnocení s velkou přesností v širokém zorném poli. Výsledky měření zvolených metod jsou porovnány na vybraném vzorku.

Úvod

Kritickým faktorem pro funkčnost optických či mechanických komponent v průmyslu je jejich kvalita a přesnost. Jako příklady si lze představit sferické a asferické čočky, hranoly, freeformy či mechanické posuvníky, jenž nacházejí široké pole uplatnění v průmyslu. Proto je kladen velký důraz na vývoj systémů schopných velmi přesného měření kvality komponent, v tomto případě kvality povrchu, tedy topografie povrchu. Mezi běžně používané metody v praxi patří kontaktní metody (např. mikroskopie atomárních sil) a metody nekontaktní. Tato práce se zabývá nekontaktními interferometrickými metodami, jenž vynikají dosahovanou přesností, která v případě jednovlnové interferometrie dosahuje standardně desítek nanometrů (desetiny vlnové délky použitého zdroje záření) a rychlostí vyhodnocení měření. Oproti kontaktním mají zároveň širší zorné pole a nepoškozuji vzorek. [2]

Cílem práce bylo sestavení funkčního měřicího interferometrického systému schopného vyhodnotit povrchy vybraných vzorků. Měřicí soustava je rozdělena na optickou soustavu, jenž odpovídá uskupení interferometru Twyman-Greenova typu, a analytickou část s měřicími přístroji.

Experiment a metody

Interferometrické metody jsou založeny na fyzikálním jevu interference, jenž lze popsat rovnicí

$$I = (U_1 + U_2)(U_1 + U_2)^* = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\phi). \quad (1)$$

Rovnice popisuje vzájemnou interakci dvou monochromatických vln U_1 a U_2 (I_1 a I_2 jsou odpovídající intenzity), které spolu interferují a na stínítku tvoří výsledný intenzitní obrazec (interferogram). Interferogram nese informaci o zkoumaném vzorku formou modulované intenzity světla vlivem rozdílu fáze $\Delta\phi$ mezi referenční a objektovou vlnou popsané interferenčním členem.

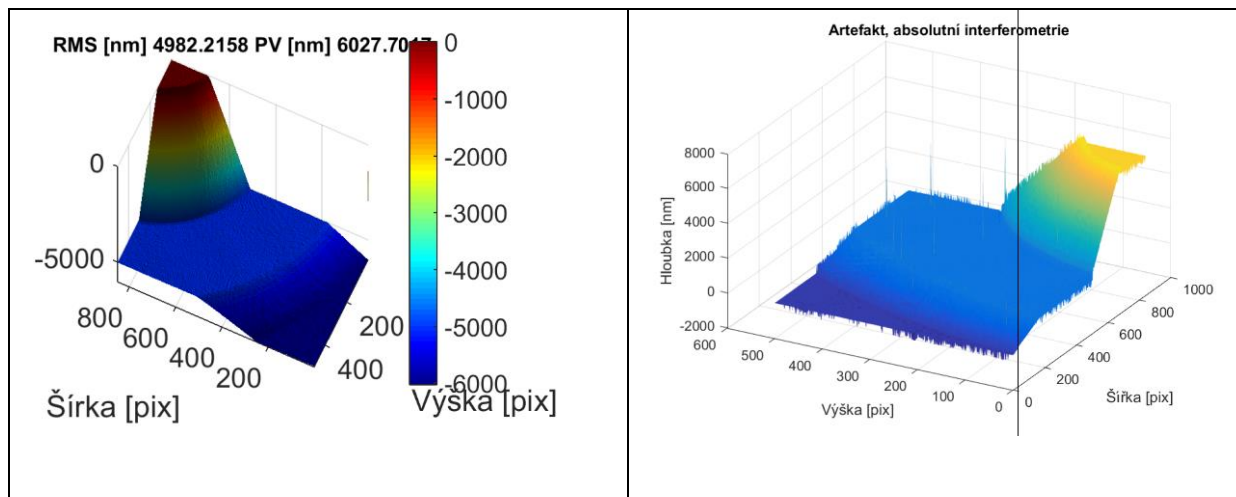
Z rovnice plyne, že interferogram se mění při změně vzájemné fáze interagujících vln. Metodami *Dvouvlnová interferometrie s řízenou změnou fáze (2WI)* a *Interferometrie skenování vlnovou délkou (5WSI)* lze ze znalosti změny fáze mezi objektovou a referenční vlnou rekonstruovat obraz objektu a vyhodnotit topografii povrchu. Informaci o povrchu lze získat z rovnice

$$OPD = \frac{\lambda \Delta\phi}{4\pi}, \quad (2)$$

kde OPD je optický dráhový rozdíl a λ vlnová délka použitého zdroje záření.

Výsledky a diskuze

Pomocí zkonstruovaného interferometru byly měřeny topografie vybraných vzorků. Obrázek 1 ukazuje testovaný vzorek – artefakt a jeho vyhodnocení pomocí relativní interferometrií pomocí čtyřkrokového algoritmu [1] (vlevo) a absolutní interferometrií (vpravo).



Obrázek 1 - 3D profil vyhodnoceného vzorku pomocí relativní 2WI (vlevo) a absolutní 5WSI (vpravo)

Ve vybraných oblastech výřezu vzorku byly vypočteny efektivní hodnoty (RMS) a standardní směrodatné odchylky (STD), které vyšly ve shodě s geometrií vzorku, viz Tabulka 1.

Tabulka 1 - Výsledky měření metod 2WI a 5WI-WSI

[μm]	2WI (Δ)	5WI-WSI (AI)
RMS	5.9982	5.9419
STD	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$

Závěr

Tato práce potvrzuje vhodnost interferometrických metod pro využití k velmi rychlému a přesnému měření topografie povrchů dosahující přesnosti v řádu desítek nanometrů s analýzou v širokém zorném poli pro různé typy vzorků.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Pavlu Psotovi, Ph.D. a Ing. Petru Vojtíškov, Ph.D. za vedení a cenné rady při kompletování této práce.

Reference

- [1] Hariharan, P.: *Optical Interferometry*, 2e. ACADEMIC PR INC, 2003, ISBN 0123116309.
- [2] de Groot, P.: Principles of interference microscopy for the measurement of surface topography. *Adv. Opt. Photon.*, rok 7, 1, Mar 2015: s. 1–65, doi: 10.1364/AOP.7.000001.