

# Ellipso-Höhentopometrie, EHT

K. Leonhardt

<mailto:klaus.e.leonhardt@t-online.de>

**1 Einführung** Die Ellipso-Höhentopometrie [1, 2, 4...7] misst Topographien der Oberflächen-erhebungen, der Rauheit und Mikroform wie in der konventionellen Topometrie - aber darüber hinaus auch noch ellipsometrischen Größen aus denselben Datensätzen und aus denselben Strahlengängen und damit weitere Eigenschaften der Oberfläche z.B. die lokale Materialzusammensetzung, Tiefenstrukturen und verdeckte Strukturen; sie korrigiert Topographiefehler durch Materialphasen und durch Schichtresonanzphasen [3] und erstellt Schichtdickentopographien und vieles mehr.

**2 Prinzip** Abb. 1 zeigt ein stark modifiziertes Linik Interferometer mit neuen Eigenschaften, bei dem ein schräger Einfallswinkel  $\varphi_0$  von  $40^\circ$  bis  $60^\circ$  erzeugt wird. Dazu wird das Bild einer gut ausgeleuchteten Blende parallel zur Achse aber seitlich um  $d$  versetzt in die Eintrittspupille des Mikroskopobjektives abgebildet, Abb.1. Im Objektraum ergibt sich dann der globale Schrägeinfallswinkel  $\varphi_0$  über das gesamte Objektfeld. Dies erlaubt viel mehr Information über das reale Objekt, und eröffnet den Zugang zu den ellipsometrischen Möglichkeiten.

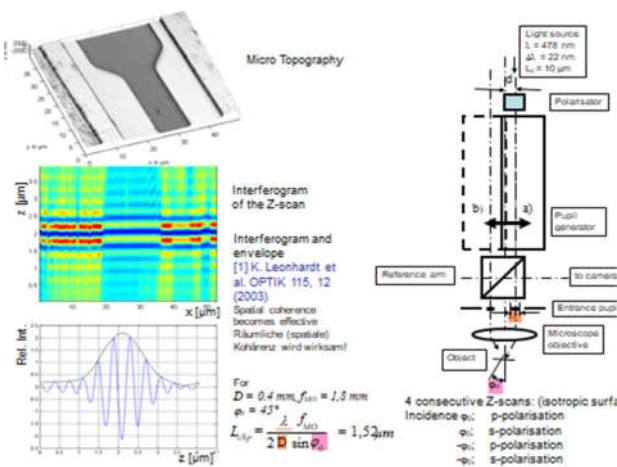


Abb. 1 Prinzip der Ellipso-Höhentopometrie

Wir erhalten zunächst eine Höhentopografie, Abb.1 oben, wie z.B. in der konventionellen Weißlichtinterferometrie. Ein typisches Interferogramm mit seiner Einengung durch die Einhüllende zeigt eine sehr willkommene neue Eigenschaft des Schrägeinfalls, nämlich die sehr effektive Einengung, die durch die räumliche oder spatiale Kohärenz möglich wird [5]. Die  $L_{cSp}$ -Formel hängt außer von der Wellenlänge vom Einfallswinkel  $\varphi_0$  und von der Breite des Pupillenscheibchens  $D$  in der hinteren Brennebene des Mikroskopobjektives ab. Die Höhentopografie und ellipsometrischen Größen werden aus dem Interferenzterm des Scans berechnet und zwar aus der Fourier Komponente bei

der zentralen Fourierfrequenz [6]. Für isotrope Oberflächen werden vier Z-Scans durchgeführt. Je einer mit Licht polarisiert parallel und senkrecht zur Einfallsebene und mit Einfallswinkeln  $\varphi_0$  und  $-\varphi_0$ . Durch Quotientenbildung der p-pol. Daten durch die s-pol. erhält man die ellipsometrischen Daten  $\rho(x,y)$ ,  $\Psi(x,y)$  und  $\Delta(x,y)$  für jedes Pixel [6].

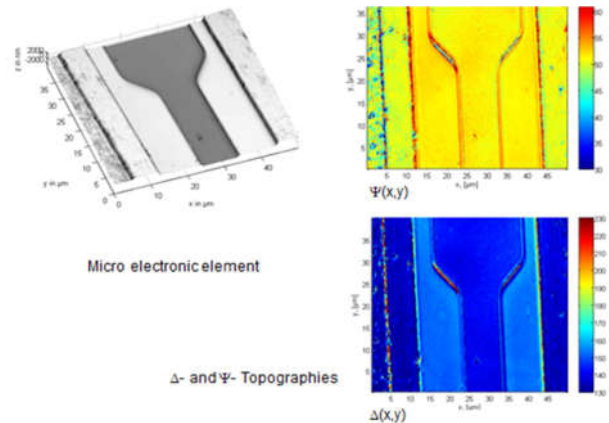


Abb. 2 Konventionelle Höhentopografie  $H(x,y)$  mit Topografien der ellipsometrischen Winkel  $\Psi(x,y)$  und  $\Delta(x,y)$ .

Die Topografien  $\Psi(x,y)$  und  $\Delta(x,y)$  ergeben sich eindeutig, deckungsgleich mit der Höhentopografie, weil sie aus demselben Interferenzterm derselben Pixel berechnet werden. Sie enthalten wertvolle Zusatzinformation des Aufbaus.

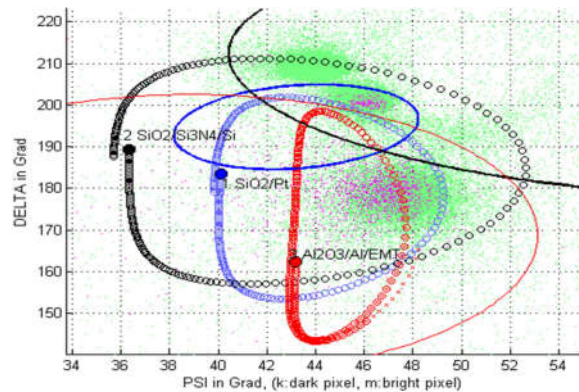
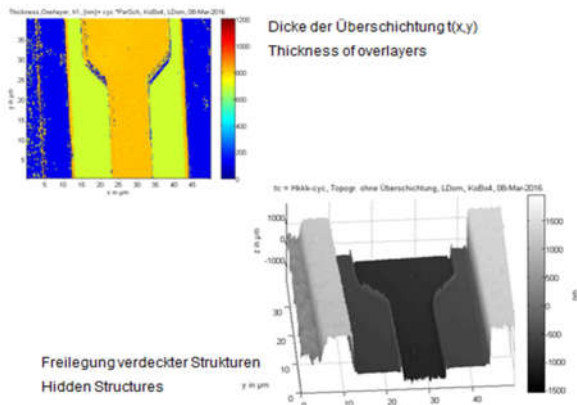


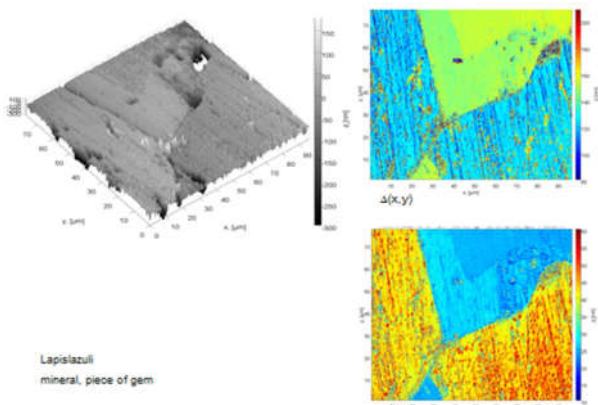
Abb. 3  $\Delta$ ,  $\Psi$ -Diagramm zu Abb. 2.

Im  $\Delta$ ,  $\Psi$ -Diagramm ergeben sich Materialkonzentrationen, die von theoretisch berechneten Materialkurven nach ellipsometrischen Schichtmodellen durchlaufen werden [2, 6]. Die Segmentierung zur Materialerkennung und -karten gelingt durch Ausschnittsdomänen [2] (hier ellipsenförmig in gleicher Farbe dargestellt wie die Materialkurven). Abb. 4 zeigt die gemessenen Schichtdicken [2] auf dem erkannten Material (oben) und die rechnerisch freigelegte Tiefenstruktur nach Abzug der Schichtdicke von der Decktopografie in Abb. 2.

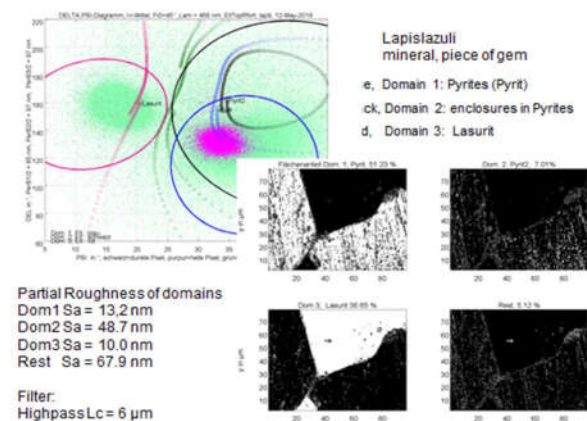


**Abb. 4** Schichtdicken und freigelegte Tiefenstruktur

**3 Beispiel aus der Mineralogie** Abb. 5 zeigt Lapislazuli aus tiefblauem Lasurit mit goldglänzendem Pyrit. Die Oberfläche ist schon alt und ziemlich malträtiert. Aber die  $\Delta$ - und die  $\Psi$ -Topografien ergeben sich mit der EHT klar und eindeutig. Abb.6 zeigt die Domänen-Segmentation zur Berechnung der Materialkarten.



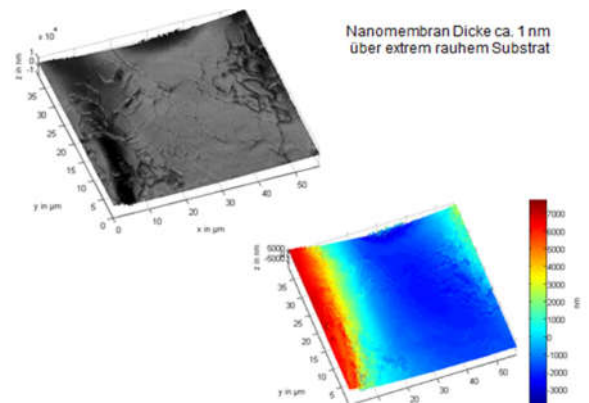
**Abb.5** Höhentopografie (oben rechts) mit ellipsometrischen Topografien  $\Psi(x,y)$  und  $\Delta(x,y)$ .



**Abb.6** Materialverteilung und Teilrauheiten

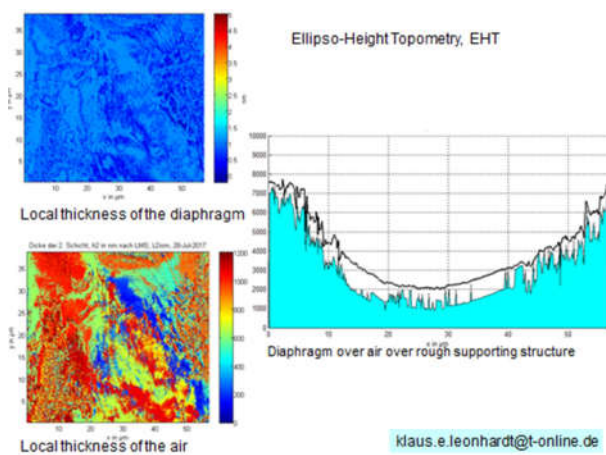
**4 Nanomembran auf extrem rauher Unterlage**

Die Membran (Abb.7) überspannt eine muldenförmige Vertiefung mit einem unregelmäßigem Luftzwischenraum und Defekten. Die Auswertung nach modifizierten LMS-Methoden ergibt eine



**Abb. 7** Nanomembran: Decktopografie gegen Luft,

lokal veränderliche Membrandicke vom ca.1 nm. Zieht man die Dicke der Luft und der Membran von der Decktopografie nach Abb.7 ab, so erhält man die sehr zerklüftete Topografie der tragenden Fläche (Profil blau).



**Abb. 8** Messung der Schichtdicken  $t(x,y)$  der Membran (Oben) und der darunterliegenden Luft (unten links).

**Literatur**

[1] K. Leonhardt et al. Micro-Ellipso-Height Profilometry, Optics Communications. 80, Nr.3 (1981), 205-209.  
 [2] K. Leonhardt et al. Topometry for locally changing materials. OPTICS LETTERS 23 Nr. 22 (1998), 1772-1774.  
 [3] R.M.A. Azzam and N.M. Bashara, Ellipsometry and polarized Light, North Holland, Amsterdam, 1977.  
 [4] K. Leonhardt et al, Optical. Topometry of Surfaces with locally changing Materials...J.Mod.Optics 46 Nr. 1 (19XX) 101-114.  
 [5] K. Leonhardt et al. Interferometry for Ellipso-Height-Topometry, Part 1, OPTIK 113 Nr. 12 (2003.) 513-519.  
 [6] K. Leonhardt, Interferometry for Ellipso-Height-Topometry, Part 2, OPTIK 121 Nr. (2010) 623-632.  
 [7] K. Leonhardt, Interferometry for Ellipso-Height-Topometry, Part 3, OPTIK 125 (2014) 5286-5294.