

Charakterisierung eines UV– Mikroskops zur hochgenauen Positions- und Breitenmessung am Nanometerkomparator (NMK) der PTB

Jan Krüger, Han Xu, Rainer Köning, Bernd Bodermann

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

<mailto:jan.krueger@ptb.de>

Wir untersuchen das UV– Mikroskop am Nanometerkomparator (NMK) der PTB hinsichtlich der Messung von Strukturbreiten. Erste Messungen einer Chromlinie auf einem Glassubstrat wurden durchgeführt und stimmen gut mit rigorosen Simulationen überein.

1 Einführung

Der höchstgenaue, eindimensionale Längenkomparator der PTB, der sogenannte Nanometerkomparator (NMK), soll in seinem Aufgabenfeld erweitert werden. Bisher konnten mit dem NMK unidirektionale Längenmessungen zur Kalibrierung von Strichmaßstäben, Photomasken, Encodern und Interferometern durchgeführt werden. Hierbei beträgt die maximale Probengröße 550 mm. Es können Messungenauigkeiten von nur wenigen Nanometern erreicht werden [1]. In diesem Beitrag berichten wir über die ersten Schritte auf dem Weg zur Kalibrierung von bidirektionalen Messgrößen, wie Linienbreiten oder Kreisdurchmessern, mit dem NMK. Dafür wurde das bisherige, auf unidirektionale Längen optimierte, optische Messsystem am NMK durch ein UV-Mikroskop ausgetauscht. Als Lichtquelle dient eine UV-LED mit einer Emissionswellenlänge von 365 nm, welche über eine Multimodefaser in das Mikroskop eingekoppelt wird. Das System kann mit zwei Objektiven mit unterschiedlichen numerischen Aperturen von 0,55 bzw. 0,9 betrieben werden. Dabei beträgt die Gesamtvergrößerung jeweils 200.

In Kapitel 2 wird die Justage des neuen Mikroskops mit Hilfe eines speziellem Autokollimationsfernrohrs (F-AKF), an einem dafür konstruierten Testaufbau beschrieben. In Kapitel 3 werden erste Messungen auf einer Photomaske vorgestellt und mit rigorosen Simulationen der optischen Abbildung verglichen. Diese sind essenziell für die genaue Lokalisierung der Lage der Objektkante im Intensitätsprofil und damit Voraussetzung für genaue und verlässliche optische, bidirektionale Messungen [2]. Wir schließen mit einer Diskussion der vorgestellten Ergebnisse und einem kurzen Ausblick.

2 Aufbau und Justage des UV-Mikroskops

Das Auflichtmikroskop wurde für die Charakterisierung zunächst an einem eigenständigen Teststand implementiert. Dieser ermöglicht einen guten Zugang zu den einzelnen optischen Komponenten des Messsystems. Der offene Aufbau des Mikroskops ist in Abbildung 1 zu sehen. Dort sind die einzelnen

Komponenten entlang eines X95- Profils ausgerichtet. Das Messsystem ist mit einem dazugehörigen Übersichtsmikroskop ausgestattet. Dieses arbeitet mit einer LED im sichtbaren Spektrum und hat eine 20- fache Vergrößerung.

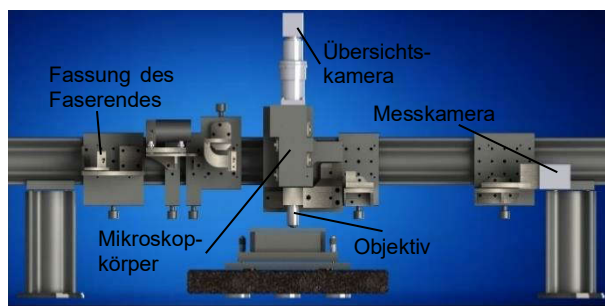


Abb. 1 Zeichnung des Testaufbaus

Die Charakterisierung der Eigenschaften des Messmikroskops liefert Daten, um das System systematisch und optimal justieren zu können. Hierzu wurden die einzelnen Justageschritte der optischen Strahlengänge untersucht und optimiert. Zum anderen wurden aber auch Informationen über Restaberrationen und Justagefehler gewonnen, welche in den rigorosen Simulationen der optischen Abbildung später zur Korrektur berücksichtigt werden können

Die Justage und Zentrierung der einzelnen optischen Komponenten wurde mit Hilfe des F-AKF durchgeführt. Dafür wurden zunächst an den einzelnen Komponentenpositionen Zielmarken platziert, die im Zusammenspiel mit dem F-AKF eine Korrektur der Position und des Winkels ermöglichen. Im Strahlengang des Messmikroskops müssen auf diese Weise das Ende der 365 nm- Faser, sechs Optiken, die Kamera und zwei Strahlteiler, die sich im Mikroskopkörper befinden, eingestellt werden. In Abbildung 2 ist beispielhaft die finale Einstellung der Position und des Winkels für den Ort des Faserendes dargestellt. Das Faserende ist ungefähr 77 cm von der Kamera des F-AKF entfernt. Ein Inkrement auf den Achsen des F-AKF entspricht hier bei der Positionsmessung ca. 530 μm . Das Inkrement in der AKF- Einstellung beträgt 0,58 mrad. In beiden

Bildern befinden sich die Fadenkreuze sehr zentral innerhalb des quadratischen Zielbereiches. Diese Einstellung wurden mit dem F-AKF für alle aufgezählten Komponenten durchgeführt. Die Qualität der Justage entsprach bei jedem Element den hier gezeigten Ergebnissen.

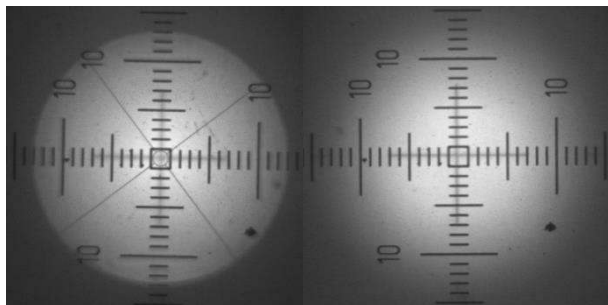


Abb. 2 Positions-(links) und Winkeleinstellung(rechts) für das Faserende der 365 nm-LED gemessen mit dem AKF

3 Erste Strukturbreitenmessungen

Für die Untersuchung der Strukturbreite einer nominell 1 μm breiten Chromlinie auf dem Glassubstrat einer Photomaske werden Bilder mit leicht unterschiedlichen Abständen (in der Größenordnung von 100 nm) zwischen Objektiv und Messobjekt aufgenommen. Dieser Bilderstapel wird nachfolgend als Fokusserie bezeichnet. Das fokale Bild, in dem anschließend die Strukturbreite bestimmt werden soll, wird mit Hilfe eines Fokuskriteriums ermittelt. Beim hier angewandten Fokuskriterium wird die Steigung des Kantensignals bei einem Intensitätsniveau von 50 % bestimmt und sowohl in der gemessenen als auch in einer simulierten Fokusserie das Bild mit der größten Steigung ermittelt. Das gemessene fokale Profil wird dann mit dem entsprechenden simulierten Profil verglichen.

Die rigorose Simulation benötigt als Eingangsparameter die optischen Parameter des Beleuchtungs- und Abbildungsstrahlenganges, sowie Material- und Strukturparameter des untersuchten Objektes. Diese Parameter müssen im Vorfeld bekannt sein. Beispielsweise wird der Kantenwinkel der Chromlinie mit einem Rasterkraftmikroskop bestimmt. Das hier verwendete Simulationsprogramm JCMsuite

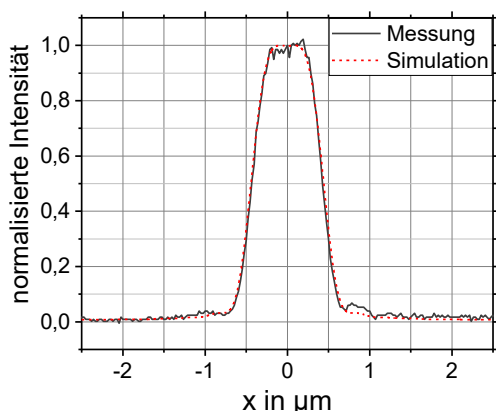


Abb. 3 Vergleich zwischen Messung und Simulation; $NA = 0,55$ und $\lambda = 365 \text{ nm}$

basiert auf der Finite-Elemente-Methode und ist speziell für die Modellierung der Wechselwirkung von elektromagnetischen Wellen an Nano-, und Mikrostrukturen entwickelt worden [3]. Eine erste Gegenüberstellung von Messung und Simulation wird in der nachfolgenden Abbildung gezeigt.

Die Profile stimmen in guter Näherung miteinander überein. Allerdings sind noch kleinere Abweichungen in dem oberen Intensitätsplateau und im rechten Kantenfußbereich zu erkennen.

4 Diskussion und Ausblick

Die Charakterisierung des neuen UV- Mikroskops am NMK hinsichtlich der mechanischen Justage mit Hilfe eines F-AKF war erfolgreich. Da die ersten Breitenmessungen auf der Photomaske mit Simulationen gut übereinstimmen, ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu optischen bidirektionalen Kalibrierungen getan. Als nächstes werden andere Proben mit dem Mikroskop vermessen. Damit wird untersucht, ob sich die beobachteten Abweichungen reproduzieren lassen.

In Zukunft soll untersucht werden, welche Mikroskopparameter die Breitenmessungen signifikant beeinflussen. Hierbei bieten sich Shack- Hartmann-Sensoren (SHS) an, die die Wellenfronten des einfallenden Lichtes untersuchen können. Mit ihnen ist es möglich die Aberrationen eines optischen Systems zu messen und zu charakterisieren. Dies beinhaltet auch Winkelverkippen. Die Schwierigkeit bei der Verwendung der SHS besteht darin, den Sensor in einer geeigneten optischen Ebene zu positionieren, um Wellenfrontkrümmungen im Messbereich des Wellenfrontensensors zur Charakterisierung nutzen zu können. Diese sind in dem hier präsentierten, offenen Aufbau gut zugänglich oder können über Hilfsoptiken zugänglich gemacht werden. Weiterhin ist für die Charakterisierung des Gesamtsystems geplant, verschiedene Aspekte der Kamera, der LED und weiterer Einflussgrößen zu untersuchen.

Literatur

- [1] J. Flügge, R. Köning, et al., „The PTB Nanometer Comparator for metrology on length graduations and incremental length encoder systems“ in: Proc. ISMTII, OS04-13 (2009)
- [2] B. Bodermann, R. Köning, et al., „The Road towards Accurate Optical Width Measurements at the Industrial Level“ in: *Fringe 2013*, Wolfgang Osten (Hrsg.) (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014), S. 35-41
- [3] JCMsuite, rigorose Simulationssoftware der Firma JCMwave: <https://jcmwave.com/> (eingesehen am: 13.07.2020)