

Bewertung von Weißlichtinterferometermessungen mit einer Kantenteststruktur

Maik Rahlves¹, Mario Seifert², Thomas Fahlbusch¹, Joachim Frühauf², Eduard Reithmeier¹

¹) Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover

²) Fachgruppe Werkstoffe der Elektrotechnik / Elektronik, Technische Universität Chemnitz

mailto: maik.rahlves@imr.uni-hannover.de

Es wird ein einfaches physikalisches Modell zur Erklärung von Artefakten bei der Topographiebestimmung an steilen Kanten mit einem Weißlichtinterferometer aufgestellt. Anhand des Modells werden die physikalischen Parameter identifiziert, die die Artefaktentstehung beeinflussen. Unter Berücksichtigung dieser Parameter wird der Entwurf und die Realisierung einer Teststruktur vorgestellt, mit der überprüft werden kann, ob und wie stark diese Artefakte auftreten. Messungen an der Teststruktur werden mit dem Modell verglichen.

1 Motivation

Messungen mit Weißlichtinterferometern an steilen Kanten zeigen - je nach Messprinzip und Auswertungsalgorithmus - Überhöhungen ("Überschwinger"), die nicht dem Originalprofil entsprechen. Bei kommerziell erhältlichen Geräten sind die Parameter, die Einfluss auf die Entstehung solcher Artefakte nehmen, dem Benutzer häufig nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, Teststrukturen zu entwerfen, um die Verlässlichkeit einer Messung im industriellen Umfeld prüfen zu können. Ziel ist somit zunächst anhand eines einfachen Modells die Entstehungsursachen der Überschwinger zu untersuchen, um darauf aufbauend die Teststruktur zu entwerfen.

2 Einfaches Modell

Um die physikalischen Parameter zu identifizieren, die auf die Entstehung der Überschwinger Einfluss nehmen, wurde ein einfaches Modell aufgestellt, das auf Dreistrahlinterferenz beruht. Dieses Modell ist natürlich nur eine grobe Näherung, zeigt aber dennoch einen Einblick in die Entstehung der Überschwinger. Ein komplexeres Modell ist in [1] gegeben.

Da eine genaue Beschreibung der Funktionsweise des Weißlichtinterferometers den Rahmen dieses Artikels übersteigt, muss hier auf die Literatur (z. B. [2]) verwiesen werden.

In dem Modellansatz wird davon ausgegangen, dass eine Stufe der Höhe L vermessen werden soll. Der Lichtstrahl der an der Kantenoberseite reflektiert wird, soll hier als Objektstrahl mit dem Feld U_O angesehen werden. Der Lichtreflex von der Kantenunterseite wird als unerwünschter Streulichtstrahl mit Feld U_S betrachtet. Beide Strahlen überlagern sich auf dem zur Auswertung verwendeten CCD-Chip mit dem Referenzstrahl mit dem Feld U_R . Werden die Felder vereinfacht als ebene Wellen beschrieben, ergibt sich die vom CCD-Chip detektierte Intensität

$$I(\Delta z) = A_{SR} \cdot \gamma_{SR}(2(\Delta z + L)) \cdot \cos(2k(\Delta z + L)) + A_{OR} \cdot \gamma_{OR}(2\Delta z) \cdot \cos(2k\Delta z) + const., \quad (1)$$

wobei Δz den Abstand in vertikaler Scanrichtung von der Ebene, an der Objekt- und Referenzstrahl die optische Weglängendifferenz Null einnehmen, und der aktuellen Messposition (z-Richtung in Abb. 2) angibt. k ist die mittlere Wellenzahl, γ_{OR} und γ_{SR} sind die Kohärenzfunktionen von Objekt- und Referenzstrahl, respektive Streulicht- und Referenzstrahl. Die Koeffizienten A_{OR} und A_{SR} geben die Anteile von Objekt- und Streulicht an, die zum Korrelogramm beitragen. Sie sind abhängig von der Lage des Airy-Auflösungsscheibchens des Mikroskopobjektivs auf der Kante.

Abbildung 1 zeigt nach Gleichung 1 simulierte Korrelogramme. Zur Auswertung der Höheninfor-

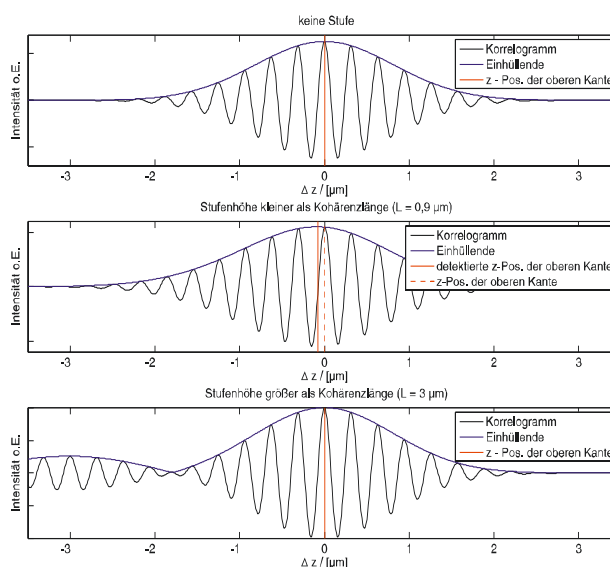


Abb. 1 Simulierte Korrelogramme nach Gleichung 1

mation wurde das Maximum der Einhüllenden bestimmt. Wie auch in [2] beschrieben wird, bleibt die Phase des Korrelogramms stabil, die Einhüllende verschiebt sich jedoch, wenn sich Objekt- und Streulicht kohärent überlagern, d. h. wenn die Stufenhöhe klein genug ist.

3 Design und Herstellung der Teststruktur

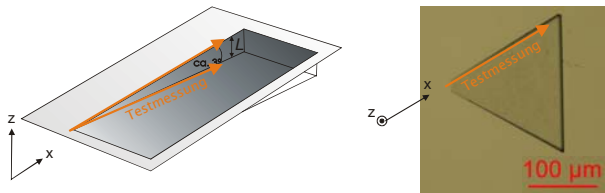


Abb. 2 links: Entwurf der Teststruktur; rechts: Mikroskopaufnahme der realen Si-Teststruktur

Da viele Parameter bzw. die genaue Auswertungsalgorithmik der Interferometer im industriellen Kontext nicht bekannt sind, ist es zweckmäßig Teststrukturen zu entwerfen, die das Auftreten der Überschwinger testen. Da die Überschwinger maßgeblich von den Kohärenzeigenschaften und der Stufenhöhe abhängen, wurde ein Design der Teststruktur gewählt, das eine kontinuierlich ansteigende Stufe enthält (s. Abb. 2). Da für die Interferometer in der Regel Lichtquellen mit einer Kohärenzlänge von einigen Mikrometern verwendet werden, ist eine maximale Stufenhöhe der Teststruktur von ca. 10 µm gewählt worden. Eine Testmessung entlang der Kante (Messstrecke in Abb. 2 orange dargestellt) zeigt in einer einzigen Messung, inwieweit Überschwinger in Abhängigkeit der Kantenhöhe und Kohärenzeigenschaften auftreten.

Die reale Siliziumstruktur wurde unter Benutzung der in der Mikrosystemtechnik üblichen, wenig fehlorientierten {111}-Wafer erarbeitet ({111}-Ebene ca. 3° verkippt um <110>-Symmetrieachse senkrecht zum Flat). Das orientierungsabhängige Ätzen mit KOH führt bei einer trapezförmigen Maskenöffnung zu einer flachen Vertiefung, die nach ausreichender Ätzzeit nur noch von 5 sehr ätzresistenten {111}-Flächen begrenzt wird, von denen eine entsprechend dem Fehlorientierungswinkel schwach zur Oberfläche geneigt verläuft. Die {111}-Seitenböschungen sind sehr steil (ca. 70°), wohingegen die ca. 1 µm hohe Anfangsböschung der Teststruktur hinterschnitten ist (ca. 109°). Durch einen Polierprozess wurde diese Stufe abgetragen, wobei eine vorher abgeschiedene und abschließend wieder entfernte Oxidschicht das Verrunden der Kanten aufnimmt.

4 Messung an realer Teststruktur und Vergleich mit der Theorie

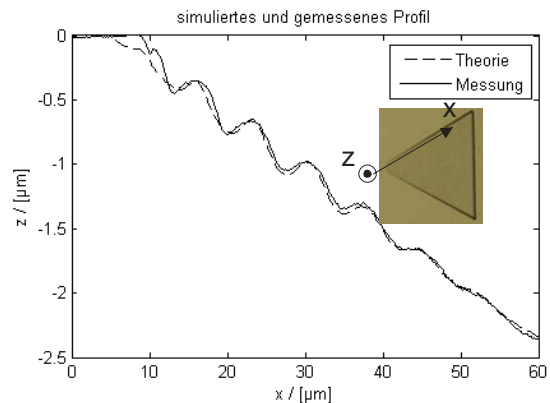


Abb. 3 Messung an Teststruktur und Vergleich mit theoretisch erwartetem Profil (Orientierung der x- und z-Achse wie in Abb. 5 / 6)

Zum Vergleich der Theorie mit einer realen Messung wurde die Teststruktur mit einem kommerziell erhältlichen Weißlichtinterferometer (Veeco) vermessen (Abb. 3).

Um die Parameter zu bestimmen, die in Gleichung 1 eingehen, wurde die Lichtquelle des Interferometers mit einem Gitterspektrometer vermessen. Die Kohärenzfunktion (näherungsweise gaussförmig) bzw. die Kohärenzlänge wurde mit Hilfe des Wiener-Khinchin-Theorems [3] bestimmt. Zur Ermittlung der mittleren Wellenzahl k ist die spektrale Empfindlichkeit des CCD-Chip des Interferometers berücksichtigt worden. Die Parameter A_{OR} und A_{SR} konnten bisher nicht exakt bestimmt werden. Somit ist die genaue Höhe der Überschwinger von *a priori* Annahmen abhängig. Dennoch zeigt Abbildung 3, dass die Theorie das Auftreten der Überschwinger in Abhängigkeit von der Stufenhöhe L mit guter Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen vorhersagt.

5 Ausblick

Weitere Arbeiten werden den modellbasierten Entwurf mehrerer Teststrukturen, auch für andere optische Verfahren, wie zum Beispiel konfokale Mikroskopie, beinhalten. Die Teststrukturen werden mit Hilfe der Siliziumtechnologie hergestellt und mit Hilfe einer Heißprägetechnik vervielfältigt.

Literatur

- [1] A. Harasaki, J.C. Wyant: Fringe modulation skewing effect in white-light vertical scanning interferometry, *Appl. Opt.*, **39**(13), 2101-2106 (2000)
- [2] P. Lehmann: Geometrieerfassung an Mikrobauteilen mittels Weißlichtinterferometrie und konfokaler Mikrosensoren *VDI-Berichte 1950*, VDI Verlag, Düsseldorf (2006)
- [3] M. Born, E. Wolf: *Principles of Optic*. Cambridge, New York, 7. Aufl. (2001)