

Bewertungen von Weißlicht- interferometermessungen mit Kantenteststruktur

Maik Rahlves, Thomas Fahlbusch, Eduard Reithmeier

Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover

Ansprechpartner: Maik Rahlves, Tel.: 0511 762-3236, Mail: maik.rahlves@imr.uni-hannover.de

Abstract:

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.

I. 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.

II. 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

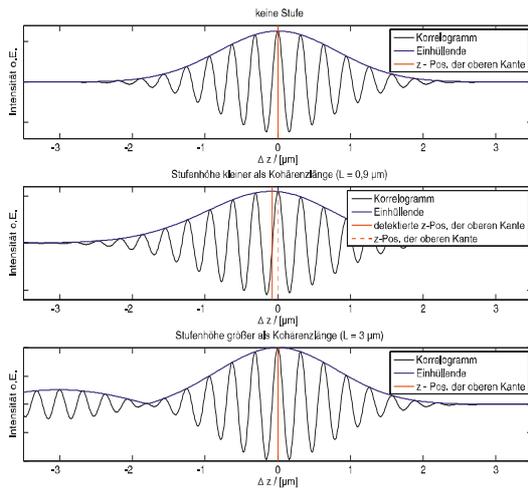


Abbildung 1 Simulierte Korrelogramme nach Gl. 1

(z-Richtung in Abb. 2) angibt. k ist die mittlere Wellenzahl, γ_{OR} und γ_{SR} sind die Kohärenzfunktionen Streulicht- und Referenzstrahl. Die Koeffizienten von Objekt- und Referenzstrahl, respektive 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 Höheninformation 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.

III. Design der 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. $10 \mu\text{m}$

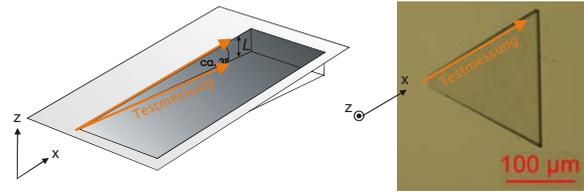


Abbildung 2 links: Entwurf der Teststruktur; rechts: Mikroskopaufnahme der realen SI-Teststruktur (TU Chemnitz)

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 von der Fachgruppe für Wertstoffe der Elektrotechnik/Elektronik der Technischen Universität Chemnitz im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes im DFG Schwerpunktprogramm StramNano hergestellt.

III. Messung an realer Teststruktur und Vergleich mit Theorie

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.

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)