

Anwendung eines Siemenssterns als Kalibriernormal?

Rosemarie Hild

Fachbereich Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften, HTWK-Leipzig

[mailto: hild@imn.htwk-leipzig.de](mailto:hild@imn.htwk-leipzig.de)

Kalibriernormale sind notwendig, um die Qualität von hochauflösenden optischen und mechanischen Inspektionssystem zu sichern. Zur Kalibrierung werden Kreis-, Kreuz- und Liniengitter verwendet. Im folgenden wird die Frage beantwortet, ob sich ein Siemensstern, der im Sinne der Optik ein Gitter mit variabler Ortsfrequenz darstellt, als Kalibriernormal eignet.

1 Motivation

Im Rahmen des Verbundprojekts „Nanoskalige Breitenmaßverkörperung für höchstauflösende Inspektionsverfahren“ wurde ein Normal entwickelt, das für höchstauflösende optische Inspektionsverfahren der UV-Mikroskopie, der konfokalen Laserscanning Mikroskopie, aber auch für mechanische Rastersondenverfahren (AFM) geeignete Kalibrierstrukturen und zertifizierte Breitennormale zur Verfügung stellt [2].



Abb. 1 Kalibriernormal [1]

Für die aufgeführten Verfahren werden Bildauflösungen für Einzelstrukturen kleiner 100 nm Linienbreite und für Gitterstrukturen Perioden kleiner 200 nm erwartet. Das Kalibriernormal besteht aus Strukturen, die in nanokristallines Silizium auf Quarzsubstrate geätzt wurden. Das Normal ist sowohl für Messungen in Reflexion als auch in Transmission (Auflicht bzw. Durchlicht) verwendbar.

Als Strukturen wurden Kreis-, Kreuz- und Liniengitter mit Gitterperioden zwischen 4000 nm und 160 nm wie in Abbildung 2 dargestellt, realisiert.

Die in der zweiten Reihe dargestellten Liniengitter gestatten darüber hinaus noch eine Untersuchung der Auflösung von Einzelstrukturen durch die verlängerte Doppelbalkenstruktur.

In der Arbeit soll die Frage untersucht werden, ob es sinnvoll ist, als weitere Kalibrierstruktur einen Siemensstern hinzuzufügen.

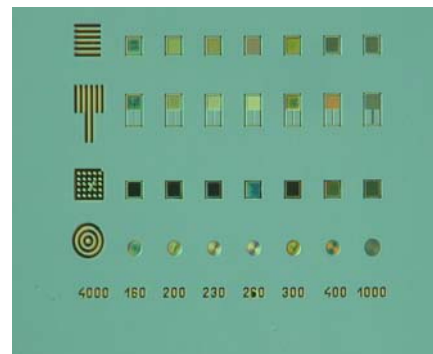


Abb. 2 Kalibrierstrukturen [6]

2 Optische Abbildung eines Siemenssterns

Die partiell kohärente optische Abbildung eines Siemenssterns wurde mit Hilfe der Hopkinschen Abbildungsformel modelliert [3, 4]. Der Siemensstern kann als Beugungsgitter mit variabler Gitterfrequenz bzw. Periodenlänge betrachtet werden. Mit wachsender Entfernung vom Mittelpunkt wächst der Abstand zwischen weißen und schwarzen Balken, d.h. die Periodenlänge nimmt von Innen nach Außen stetig zu, bzw. die Gitterfrequenz ab. Ist man bei den herkömmlichen Strukturen auf diskrete Periodenlängen festgelegt, so ergibt sich im Falle des Siemenssterns die Möglichkeit eine Vielzahl von Periodenlängen zu betrachten.

Es sei n die Anzahl der weißen und schwarzen Flächen und D der Gesamtdurchmesser, so wird die Gitterperiode im Außenbereich beschrieben durch:

$$L = \pi \cdot D / n$$

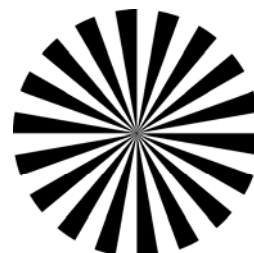


Abb. 3 Darstellung des Siemenssterns mit 36 Sektoren

Modelliert wurde ein Siemensstern mit 36 Sektoren d.h. jeder Sektor schließt einen Winkel von 10° ein. Der Durchmesser D sei $4\text{ }\mu\text{m}$. Das entspricht einer Periodenlänge von 700 nm im äußeren Bereich.

Die numerische Apertur des beleuchtenden Mikroskops betrage $NA = 0,9$ und die Wellenlänge des Lichtes $\lambda = 365\text{ nm}$.

Jedes abbildende optische System oder Element kann auf Grund der Beugungsbegrenzung das eingegebene radiale Muster des Siemenssterns nicht perfekt wiedergeben.

Bild 4 zeigt die berechneten Bildintensitäten bei kohärenter Abbildung eines Siemensstern in Abhängigkeit von der Defokussierung. Im Zentrum des Sterns entsteht bei auch bei fokussierter optischer Abbildung ein unscharfer Fleck, der sogenannte Grauring. Ist der Abstand der Sektoren zu gering, wird nur eine graue Fläche Durchmesser d abgebildet. Das Gitter hat ab diesem Bereich eine zu geringe Periodenlänge und wird damit im Sinne der Optik „nicht mehr aufgelöst“.

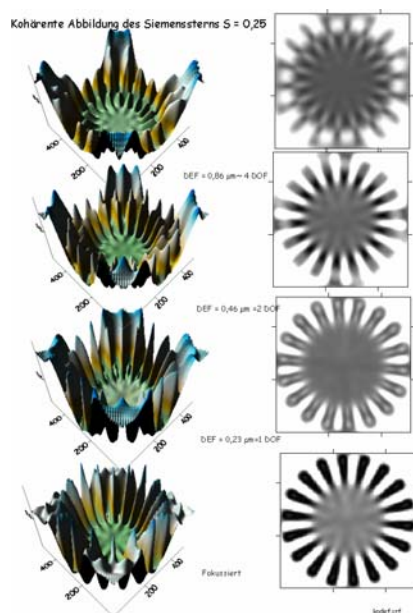


Abb. 4 Kohärente Abbildung eines Siemenssterns in Abhängigkeit von der Defokussierung

Die kleinste Periodenlänge bzw. die sogenannte Grenzfrequenz ist somit gegeben durch:

$$f_{\text{Grenz}}[\text{Lp/mm}] = n/(\pi \cdot d[\text{mm}])$$

Mit zunehmender Defokussierung in Einheiten der Fokustiefe (DOF) zeigt der Siemensstern Pseudostrukturen, die durch Kontrastumkehr in Teilbereichen hervorgerufen werden. Solches Verhalten bei der kohärenten Abbildung von Siemenssternen wird u.a. auch in [5] beschrieben. Die Defokussierung ändert die Auflösung, also die Größe des Graurings nicht.

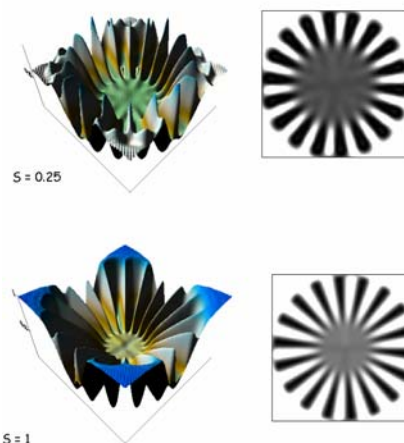


Abb. 5 Vergleich der Abbildung eines Siemenssterns für kohärente und inkohärente Beleuchtung

Für inkohärente Beleuchtung treten bei Defokussierung keine Pseudostrukturen auf. Bild 5 zeigt einen Vergleich der Abbildung eines Siemensstern bei nahezu kohärenter bzw. bei inkohärenter Beleuchtung.

Der Auflösungsunterschied in Abhängigkeit von Kohärenzgrad ist hier unmittelbar durch die unterschiedlichen Durchmesser des Graurings sichtbar.

3 Zusammenfassung

Der Siemensstern, als eine sehr verbreitete Teststruktur in allen Abbildungs- und Bildverarbeitungsbelangen ist sehr gut geeignet, schnell einen Überblick über die Abbildungseigenschaften zu bekommen.

Sollen die Messgrößen exakt erfasst werden, wie es bei der Kalibrierung notwendig ist, erscheint die Verwendung des Siemenssterns problematisch. Die genaue Bestimmung der Größe des Graurings d wird sich als schwierig erweisen.

Literatur

- [1] Supracon AG, Wildenbruchstr.15, 07745 Jena
- [2] U. Hübner et.al.: "Development of a nanoscale line-width-standart for high resolution optical microscopy" Proc. SPIE 5858,(2005)
- [3] H. H. Hopkins: "The concept of partial coherence in optics", Proc. of. Royal Soc. London A208 (1951), 263-277
- [4] R. Hild, G. Nitzsche: "The physical limits of super-resolution lithography", Microelectronic Engineering, 23 (1994), Elsevier Science B.V (Amsterdam), 179-182
- [5] R. Blaschek: "Signalgenerator für Siemenssterne", Diplomarbeit, Fb Informatik, Humboldt - Universität, Berlin
- [6] E. Buhr, PTB-Braunschweig