

Entwicklung eines low-cost Fourierspektrometers

O. Buse und E. Reithmeier

Leibniz Universität Hannover

Institut für Mess- und Regelungstechnik, Nienburger Str. 17, 30167 Hannover

Zusammenfassung: In vielen Bereichen der Messtechnik, Umweltanalytik und Medizin werden kleine, robuste und mobile Spektrometer für den sichtbaren Spektralbereich benötigt, die über keine beweglichen Teile verfügen und sich durch eine geringe Leistungsaufnahme auszeichnen. Verfügbar sind Gitterspektrometer, deren Effizienz und Auflösungsvermögen mit zunehmendem Grad der Miniaturisierung jedoch stark abnimmt. Unser Interesse richtet sich daher auf Fourierspektrometer. Wie das nachfolgende Konzept zeigt, besitzen diese Spektrometer aufgrund technologischer Vorteile ein größeres Miniaturisierungspotenzial.

I. Aufbau des Messsystems

Das Fourierspektrometer (Abb.1) beruht auf dem klassischen Michelson-Interferometer, das in folgender Weise modifiziert wird: Anstelle eines beweglichen Spiegels in einem Interferometerarm wird zur Erzeugung eines optischen Gangunterschiedes zwischen den Strahlwegen in den beiden Interferometerarmen ein Spiegel gekippt und das sich dabei räumlich ausbildende Interferenzstreifenmuster wird von einer Fotodiodenzeile detektiert.

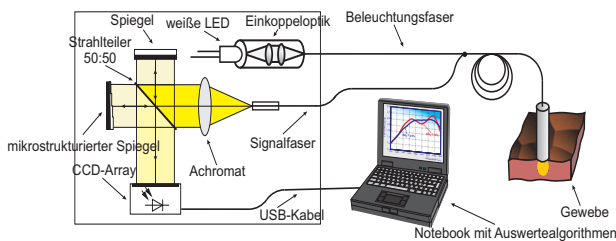


Abb. 1: Messaufbau des Fourierspektrometers am Beispiel eines Blutanalysestems

Der Kippwinkel des Spiegels darf aus mehreren Gründen nicht zu groß gewählt werden:

- » reduzierte Überlappung der Teilstrahlbündel auf der Fotodiodenzeile ist gleichzusetzen mit Informationsverlust im Spektrogramm
- » bei gegebener räumlicher Kohärenz der Beleuchtung wirken sich verkippte Teilstrahlbündel negativ auf den Interferenzkontrast aus
- » der Kippwinkel wirkt sich direkt auf die Interferenzstreifendichte aus. Er darf damit nicht größer gewählt werden, als es für die Spektrogrammabtastung durch die Fotodiodenpixel förderlich ist.

Andererseits wäre für ein möglichst großes Auflösungsvermögen des Spektrometers ein großer Gangunterschied bzw. ein großer Kippwinkel anzustreben.

Unser Konzept sieht vor, von der linearen Detektion des Interferenzstreifenmusters mit einer Fotodiodenzeile überzugehen auf die zweidimensionale Detektion mit einem Fotodiodenarray (Bildsensor, CCD-Array bzw. CMOS-Array). Es können nun beispielsweise mehrere in der Tiefe gestaffelte Kippspiegel (Stufenspiegel) angeordnet werden, sodass trotz kleiner Kippwinkel große Gangunterschiede erzeugt werden.

I.1 Auflösungsvermögen und Spiegeldesign

Mit dem Einsatz eines strukturierten Spiegels soll ein maximaler Gangunterschied im Michelson-Interferometer erzeugt werden, der mit dem erzielbaren Wellenlängenaufhebungsvermögen $\Delta\lambda$ in folgendem Zusammenhang steht:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{S_{\max}}$$

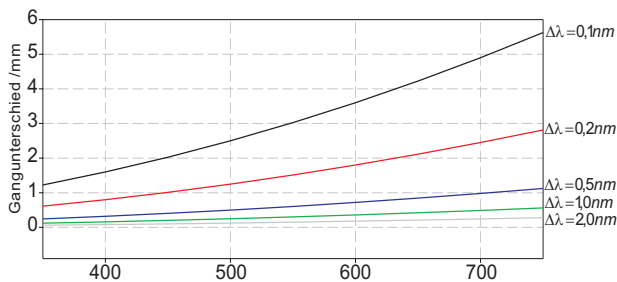


Abb. 2: Erforderlicher Gangunterschied

Gangunterschiede bis 3mm sind derzeit denkbar, d.h., Auflösungen bis zu 0,2nm sollten realisierbar sein. Mit feiner werdenden Strukturen auf dem Spiegel (Verringerung der Stufenbreite), gewinnt

die Beugung an den Strukturkanten an Einfluss, die den Interferenzkontrast mindert. Vergleichbare Mikro-Gitterspektrometer erreichen Auflösungen von 3 bis 10nm.

II. Simulation der Spiegelgeometrie

Mithilfe der Optiks simulation ZEMAX können verschiedene Mikrospiegelgeometrien und die entstehenden Interferogramme simuliert werden:

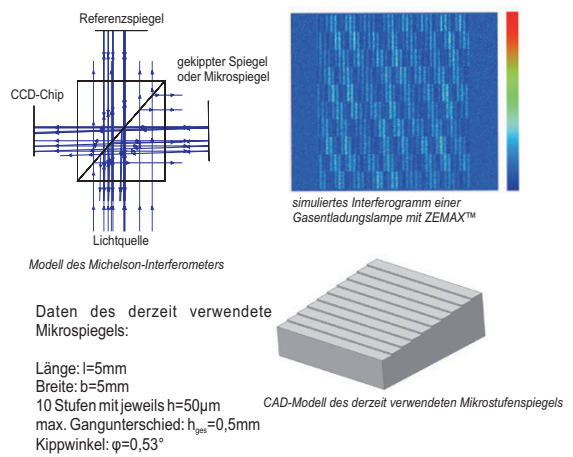


Abb. 3: Simulation der Spiegelgeometrie

II.1 Farbbildsensor

Mit einem Farbbildsensor kann das Fourierspektrum in drei sich überlappende Wellenlängenbereiche aufgespalten werden. Dadurch wird eine effektive Steigerung der Dynamik des Sensors erwartet. Abb. 4 zeigt ein mit dem Stufenspiegel erzeugtes Fourierspektrum einer Gasentladungslampe und die Zerlegung in die drei RGB-Farbkanäle.

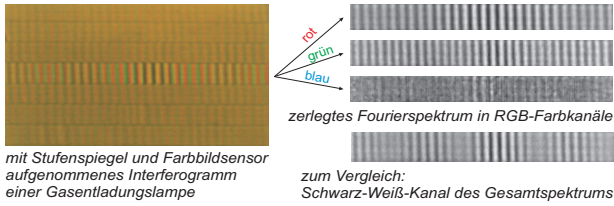


Abb. 4: Spektrum einer Gasentladungslampe

II.2 Mikrostrufenspiegel

Für den oben beschriebenen Spektromereinsatz wurde von der Firma Kugler ein Stufenspiegel im Mikrofräsverfahren aus Metall hergestellt (Abb. 5). Im Hinblick auf ein low-cost Spektrometer steht der direkte Einsatz des mikrogefrästen Stufenspiegels im Widerspruch. Der Vollmetallspiegel soll als Prägestempel in einer Heißpräganlage eingesetzt werden, wobei der Spiegel in Kunststoff (PMMA) detailgetreu abgeformt wird. Diese Verfahren bietet die Möglichkeit der kostengünstigen Vervielfältigung mikrostrukturierter Bauteile.

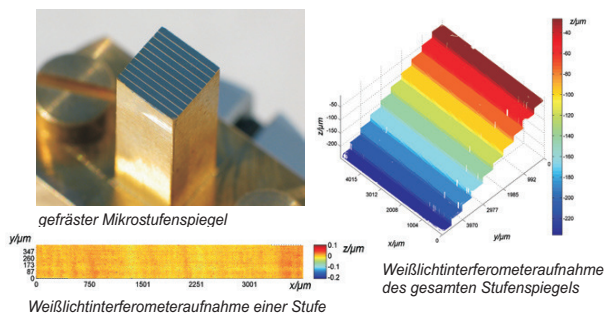


Abb. 5: Mikrostrukturierter Stufenspiegel

III. Ausblick

Im Hinblick auf die Erzeugung großer Gangunterschiede und stetiger Fourierspektren wird das Spiegeldesign simuliert und optimiert. Die strukturierten Spiegel sollen mithilfe einer Heißpräganlage kostengünstig vervielfältigt werden.