

Charakterisierung der Transmissionsspektren von nano-strukturierten *guided-mode resonance (GMR)* Mikrofarbfiltern

Jan Krüger*, Jana Grundmann*, Wenze Wu**,***, Carol Bibiana Rojas-Hurtado**,***, Bernd Bodermann*, Stefanie Kroker**,***, Hutomo Suryo Wasisto**,***, Andreas Waag**,***

*Physikalisch- Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig 38116, Germany

**Institut für Halbleitertechnologie (IHT), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 38106, Germany

***Laboratory for Emerging Nanometrology (LENA), Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 38106, Germany

[mailto: jan.krueger@ptb.de](mailto:jan.krueger@ptb.de)

Wir untersuchen die Transmissionsspektren von nanostrukturierten GMR Mikrofarbfiltern mit Transmissionskurven zwischen 480 nm und 890 nm. Dafür wird ein Mikrospektrometer konzipiert, dessen Messergebnisse, in Übereinstimmung mit rigorosen Simulationen, sowohl geringe Bandbreiten der Transmissionsmaxima als auch geringe Seitenbandintensitäten aufweisen.

1 Einführung

Der Bedarf nach effizienten Farbfiltern für Sensorsysteme in der Medizin und der Biologie hat in der jüngsten Vergangenheit zu einem verstärkten Interesse an GMR Farbfiltern geführt [1,2]. Diese Filter bestehen aus optischen nanostrukturierten Gittern mit unterschiedlichen Perioden, die auf einer dielektrischen Wellenleiterschicht aufgetragen sind. Es ist vorgesehen, dass die einzelnen Farbfilter mit jeweils unterschiedlicher spektraler Transmission über den Pixeln eines unmittelbar folgenden CCD oder CMOS Sensors positioniert werden. Dies ermöglicht das pixelspezifische Auslesen der Transmissionskurve der Filtermatrix und gewährleistet damit Informationen über die spektrale Zusammensetzung des Lichts. Die nanostrukturierten Filter zeichnen sich gegenüber anderen Farbfilterkonzepten dadurch aus, dass sie nicht, wie bei Farbpigmenten häufig der Fall, Degradationseffekten unterliegen. Zudem können sie mit relativ geringerem Fertigungsaufwand hergestellt werden. Ein ausgewähltes Filterdesign ist in Abbildung 1 zusammen mit der zu erwartenden wellenlängenabhängigen Transmission dargestellt. Die Transmission weist neben dem gewünschten Transmissionsmaximum (hier bei einer Wellenlänge von ca. 800 nm) ein unerwünschtes Seitenband auf. Die Filterfunktion wird über die Strukturparameter der Filter bestimmt. Ausschlaggebend ist dabei insbesondere die Gitterperiode aber auch Parameter wie die Pufferschichtdicke, die die Intensität der Transmission beeinflusst, sind zu berücksichtigen. Mit Hilfe rigoroser Simulationen werden verschiedenste Strukturparameter der entwickelten Farbfilter analysiert [2], um die Transmissionsmaxima der Farbfilter zu maximieren, und gleichzeitig die Seitenbandintensitäten möglichst gering zu halten.

Um eine Aussage über die experimentell realisierten Filtereigenschaften zu treffen werden sie auf Quarzglassubstraten hergestellt und charakterisiert.

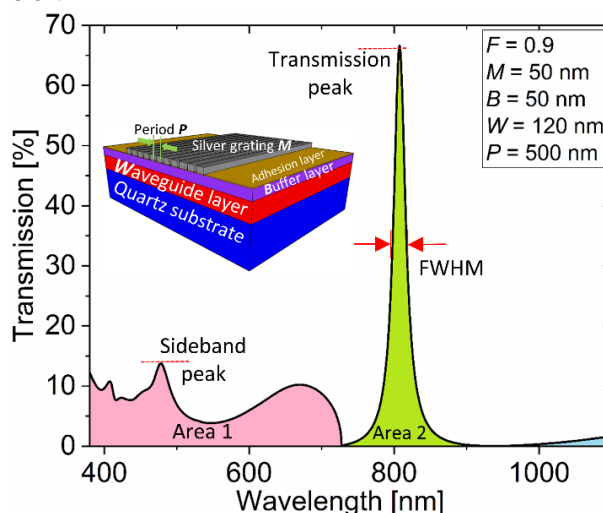


Abb. 1 Schematischer Aufbau eines GMR Mikrofarbfilters zusammen mit der Simulation eines erwarteten Intensitätsprofils für einen ausgewählten Satz von Strukturparametern: Füllfaktor (F), Gittertiefe (M), Pufferschichtdicke (B), Wellenleiterdicke (W) und Gitterperiode (P).

2 Mikrospektrometernaufbau und Farbfiltermessung

In Abbildung 2 ist eine der gefertigten Farbfiltermatrizen gemeinsam mit dem verwendeten Mikrospektrometernaufbau dargestellt. Die Kantenlängen der quadratischen Filter in dieser Matrix und ihre Abstände zueinander betragen jeweils 100 μm . Die Einteilung der Filter erfolgt in einer periodischen 3 x 2 Filteranordnung mit einem Referenzfeld und 5 Farbfiltern mit unterschiedlichen

Gitterperioden von 312 nm bis 612 nm. Der Aufbau des Mikrospektrometers entspricht einer kritischen Beleuchtung und führt zu einem Bild der Blende in der Objektebene mit einem Durchmesser von $d = 10 \mu\text{m}$. Bei der Messung wird die Position des Blendenflecks auf ein Farbfilterelement positioniert und das transmittierte Licht mit einem Spektrometer gemessen wird. Das Spektrum der verwendeten Lichtquelle (Xenon-Lampe) reicht von 300 nm bis 1050 nm.

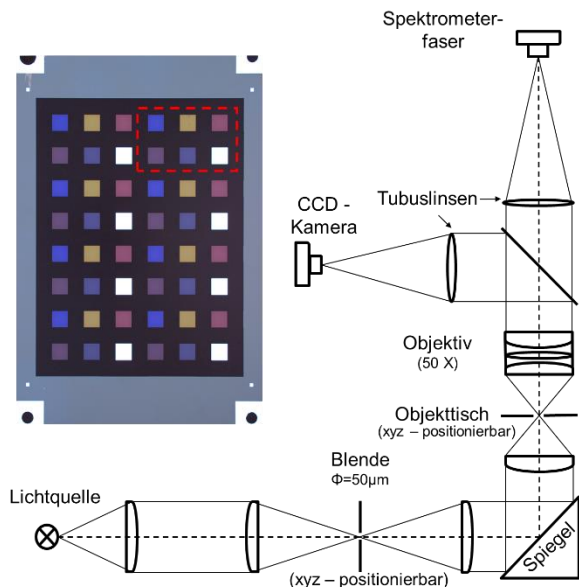


Abb. 2 Darstellung einer der gefertigten Farbfiltermatrizen mit der markierten, sich wiederholenden 3×2 Filteranordnung neben einem schematischen Aufbau des verwendeten Mikrospektrometers

3 Ergebnisse der spektroskopischen Messungen

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der Messungen an den fünf Farbfiltern den jeweiligen Simulationen gegenübergestellt. Für alle Filter ist zu erkennen, dass die zentrale Wellenlänge der gemessenen Transmissionsmaxima ca. 15 nm unter den erwarteten zentralen Wellenlängen aus den Simulationen liegen. Die gemessenen und simulierten Transmissionseffizienzen der Maxima liegen zwischen 30 % und 40 % der Transmission in unstrukturierten Filterbereichen und stimmen gut miteinander überein.

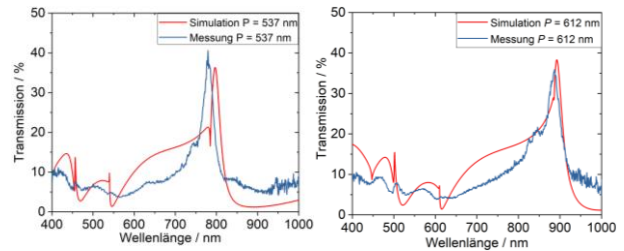
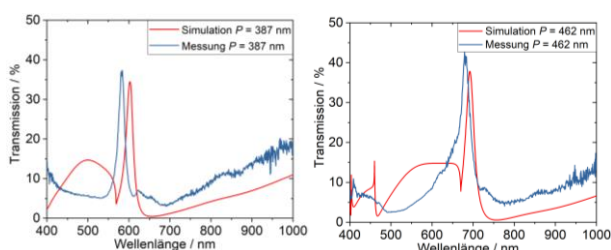


Abb. 3 Gegenüberstellung der Messergebnisse der fünf Farbfilter mit den entsprechenden Simulationsrechnung

Die Bandbreiten der einzelnen Transmissionsmaxima sind so schmalbandig wie erwartet und die Seitenbandintensitäten sind weniger stark ausgeprägt als in den Simulationen zunächst erwartet.

4 Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass das Design der untersuchten GMR Mikrofarbfilter geeignet ist, um schmalbandige Transmissionsmaxima im sichtbaren und nahinfraroten Wellenlängenspektrum hervorzurufen. Die spektrale Variation des Transmissionspeaks erfolgte über die Anpassung der Gitterperiode der einzelnen Farbfilter. Der eigens für die Untersuchung der Farbfilter entwickelte Aufbau eines Mikrospektrometers erweist sich als geeignet und führte zu reproduzierbaren Ergebnissen. Kleinere Abweichungen von den Simulationen sind wahrscheinlich auf fertigungsbedingte Strukturabweichungen zurück zu führen. Beispielsweise schwächt ein größerer Füllfaktor die Intensitäten des transmittierten Lichtes ab, während eine dünnere Wellenleiterschicht die zentrale Wellenlänge des Transmissionsmaxima reduziert. In der nahen Zukunft wird es für uns interessant sein auch UV-Farbfilter zu entwickeln, um ein möglichst großes Wellenlängenspektrum für Sensorsysteme zu erzeugen. Weiterhin wird das Auftragen der GMR Filterstruktur direkt auf einen CCD oder CMOS Sensor ein entscheidender Verbesserungsschritt sein. Vorher müssen allerdings noch potentiell limitierende Faktoren eingehender untersucht werden, wie z.B. Crosstalk-Effekte zwischen benachbarten Feldern der Farbfilter bei kleinen Filterflächen.

Literatur

- [1] A.F. Kaplan, T. Xu, L.J. Guo: High efficiency resonance-based spectrum filters with tunable transmission bandwidth fabricated using nanoimprint lithography. Appl. Phys. Lett. (2011), 99, 143111, DOI: 10.1063/1.3647633.
- [2] W. Wu, B. Bodermann, S. Kroker et al.: Pixel-Wise Multispectral Sensing System Using Nanostructured Filter Matrix for Biomedical Applications. Eurosenors Proceedings (2018), 2, 880, DOI: 10.3390/proceedings2130880