

# Miniaturisierte Sensoren basierend auf Oberflächenplasmonenresonanz, Chancen und Herausforderungen

Peter Hausler\*, Johannes Fischer\*, Lukas Wunderlich\*\*, Patrick Recum\*\*, Sebastian Peller\*, Thomas Hirsch\*\*, Rudolf Bierl\*

\* Sensorik ApplikationsZentrum, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

\*\* Institut für Analytische Chemie, Chemo- und Biosensorik, Universität Regensburg

mailto: Peter.Hausler@OTH-Regensburg.de

Derzeit gibt es zahlreiche Bereiche, wie Umwelt Monitoring und zivile Infrastruktur in denen geeignete Sensoren für die Überwachung der Systeme fehlen. SPR-basierte Sensoren haben das Potential diese Lücke zu schließen. Um für den Einsatz in der Umwelt tauglich zu werden, müssen die Sensoren noch robuster werden. Hier wird eine mögliche Lösung gezeigt.

## 1 Einführung

In den Bereichen Medizin, Pharmazie und Biotechnologie ist die Oberflächenplasmonenresonanzspektroskopie (SPR) bereits ein etabliertes Verfahren [1] [2]. Trotz der hohen Sensitivität blieb die Technologie bisher weitestgehend auf diese Bereiche beschränkt. Dies ist hauptsächlich den teuren Instrumenten und der Notwendigkeit von geschultem Personal geschuldet. Um den Anforderungen außerhalb des Labors gerecht zu werden, muss die SPR-Technologie jedoch noch weiterentwickelt werden. Die Geräte müssen deutlich kleiner, robuster und kostengünstiger werden.

Derzeit existieren einige Forschungsarbeiten, in denen die SPR-Technologie miniaturisiert wurde. Die einzelnen Prototypen haben jedoch, je nach Ansatz, verschiedene Nachteile, die dem Einsatz als Sensor noch im Wege stehen [3] [4] [5].

Das SPR-Sensorprinzip basiert auf der Erfassung einer Brechungsindexänderung. Daher stellt die bei den meisten Materialien vorhandene Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex ein zentrales Problem dar. Hier wird ein SPR-imaging (SPRi) basierter Ansatz gezeigt, um Temperaturschwankungen zu kompensieren.

## 2 Sensorprinzip

Bestrahlt man eine dünne Goldschicht mit monochromatischem, polarisiertem und kollimiertem Licht und verändert dabei den Einstrahlwinkel entlang der Einfallsrichtung, so erhält man für die Reflexion eine Kurve wie sie in Abbildung 1 gezeigt ist. Dort verschwindet trotz Totalreflektion das reflektierte Licht. Dies geschieht weil unter diesem Winkel in der Goldschicht Oberflächenplasmonen angeregt werden. Der Winkel bei dem die Anregung der Oberflächenplasmonen stattfindet, ist unter anderem von den Brechungsindizes abhängig, die die Goldschicht umgeben.

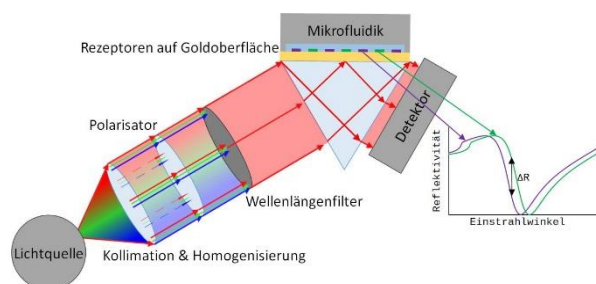


Abbildung 1: Sensorprinzip SPR. Eine 50 nm dicke Goldschicht auf einem Prisma wird mit monochromatischem und polarisiertem Licht unter Totalreflexion beleuchtet. Unter einem bestimmten Winkel kommt es dabei zur Anregung von Oberflächenplasmonen, wodurch die Reflexion des Licht verschwindet.

Verändert sich der Brechungsindex, so verschiebt sich die Kurve. Betrachtet man die Goldfläche unter einem festen Winkel im linearen Bereich der Kurve, kann man eine Veränderung der Reflexion mit einer Veränderung des Brechungsindex verknüpfen ( $\Delta R$  Abbildung 1) [6].

## 3 Problemstellung

Die Sensitivität von miniaturisierten SPRi Sensoren bewegt sich derzeit im Bereich von  $10^{-6}$  RIU und wird sich in Zukunft noch deutlich verbessern [7]. Dabei ergeben sich für die Stabilität des Messsignals verschiedene Probleme. Die Intensität der Lichtquelle und die Effizienz der Kamera können schwanken. Außerdem sind der Brechungsindex der vermessenen Matrix und die Effizienz der Halbleiterbauteile von der Temperatur abhängig [8]. Folglich ist es bei SPR Messungen schwierig zu ermitteln, woher eine Signaländerung stammt. Insbesondere bei sehr hochauflösten Messungen machen sich bereits sehr kleine Temperatur- oder Lichtquellenschwankungen stark bemerkbar. In Desktopgeräten die für den Betrieb im Labor konzipiert wurden, und häufig für Absolutwert - Messungen eingesetzt werden wird dieses Problem durch eine sehr aufwändige, teure und große Temperaturstabilisierung gelöst. Für kompakte, günstige und in

der Umwelt arbeitende Sensoren stellt dies keinen gangbaren Weg dar, es wird vielmehr eine günstigere, kleinere und robustere Lösung benötigt.

#### 4 Lösungsansatz

Um Lichtquellen zu referenzieren, wird üblicherweise entweder eine Photodiode direkt im Gehäuse des Emitters verbaut oder es wird über einen Strahlteiler ein Teil des Lichts abgezweigt und über einen separaten Detektor referenziert. Dieses Vorgehen hat zwei ganz grundlegende Nachteile. Zum einen kann eine Veränderung der Intensität nach der Erfassung durch den Referenzdetektor erfolgen, zum anderen kann der Referenzdetektor selbst driften. Außerdem bedeutet ein weiterer Detektor bzw. Strahlteiler zusätzlichen instrumentellen Aufwand und daraus resultierende zusätzliche Fehlerquellen. Daher sind für kostengünstige, miniaturisierte SPRi basierte Sensoren neue Strategien notwendig.

Der Wert der Brechungsindexänderung von Gläsern, der pro K Temperaturänderung auftritt ist von der Wellenlänge abhängig [9]. Abbildung 2 zeigt, dass bei Schott N-SF6 bei einer Wellenlänge von 730 nm keine Brechungsindexänderung bei einer Temperaturänderung auftritt. So lässt sich die Temperaturabhängigkeit im Trägermaterial für die Goldschicht eliminieren.

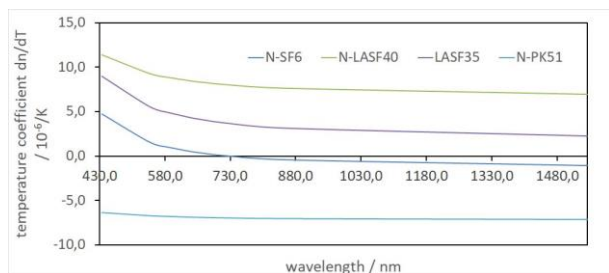


Abbildung 2: Gezeigt wird der Brechungsindex-Temperaturkoeffizient, er gibt an wie groß die Brechungsindexänderung pro K ist. Hier ist er in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen [9].

Integriert man in die SPR sensitive Schicht Bereiche mit einer dickeren Gold Schicht, so agieren diese als permanente Spiegel welche das Licht zur Referenzierung von Lichtquelle und Detektor zum eigentlichen SPR-Detektor reflektieren. Integriert man nun noch Bereiche, die mit einem Material beschichtet werden, das den gleichen Brechungsindex wie die Analytmatrix hat, seine Zusammensetzung aber nicht ändert (z.B. Schott N-PK1), so kann man in diesen Bereichen eine Änderung der Temperatur über deren Änderung des Brechungsindex detektieren.

Abbildung 3 zeigt eine Messung, bei der die Schwankungen der Lichtquelle und die Temperaturschwankungen der Messzelle über die genannten Referenzen kompensiert wurden. Das in rot dargestellte kompensierte Signal reagiert nur noch auf eine Brechungsindexänderung der Analytmatrix.

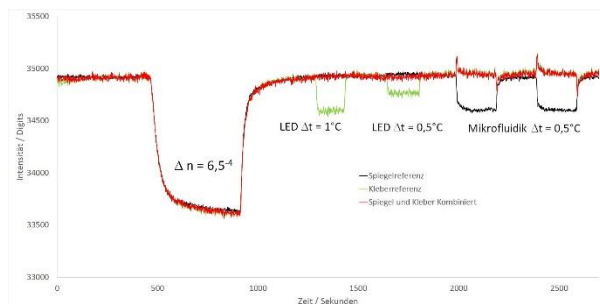


Abbildung 3: Grün Temperatur kompensiert, schwarz Lichtquelle kompensiert, rot Temperatur und Lichtquelle kompensiert. Das kompensierte Messsignal (rot) zeigt nur noch eine Änderung bei einer Veränderung des Brechungsindex der Analyt-Matrix.

#### 5 Danksagung

Die Arbeit wurde über das PTJ vom BMWi unter dem Förderkennzeichen 03EN2003A unterstützt.

#### Literatur

- [1] Homola, J.; Yee, S.S.; Gauglitz, G. Surface plasmon resonance sensors. *Sens. Actuator B Chem.* 1999, 54, 3–15
- [2] Nguyen, H.H.; Park, J.; Kang, S.; Kim, M. Surface plasmon resonance: A versatile technique for biosensor applications. *Sensors* 2015, 15, 10481–10510.
- [3] Masson, J.F. Portable and field-deployed surface plasmon resonance and plasmonic sensors. *Analyst* 2020, 145, 3776–3800. *Chemosensors* 2021, 9, 175 9 of 9
- [4] Fournel, A.; Mantel, M.; Pinger, M.; Manesse, C.; Dubreuil, R.; Herrier, C.; Rousselle, T.; Livache, T.; Bensafi, M. An experimental investigation comparing a surface plasmon resonance imaging-based artificial nose with natural olfaction. *Sens. Actuator B Chem.* 2020, 320, 128342.
- [5] Bremer, K. and Roth, B., 2015. Fibre optic surface plasmon resonance sensor system designed for smartphones. *Optics express*, 23(13), pp.17179-17184.
- [6] Oliveira L.C., Lima A.M.N., Thirstrup C., Neff H.F., *Surface Plasmon Resonance Sensors*, Springer Series in Surface Sciences, ISBN 978-3-030-17485-9
- [7] Wunderlich, L., Hausler, P., Märkl, S., Bierl, R., & Hirsch, T. (2021). Nanoparticle Determination in Water by LED-Excited Surface Plasmon Resonance Imaging. *Chemosensors*, 9(7), 175.
- [8] Hausler, P., Roth, C., Vitzthumecker, T., & Bierl, R. (2019). Miniaturized Surface Plasmon Resonance Based Sensor Systems—Opportunities and Challenges. In *Optics, Photonics and Laser Technology 2018* (pp. 169-195). Springer, Cham.
- [9] Technical Information Advanced Optics, TIE-19, Temperature Coefficient of the Refractive Index