

1



2

1 Die Sensorfolie wechselt ihre Farbe bei Verderb von Lebensmitteln wie Fleisch und Fisch

2 Feinstrukturiert verdruckte Nanopartikel auf PEN-Folie

## VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON OPTISCHEN SENSORFOLIEN

### Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT

Hansastraße 27 d  
80686 München  
Telefon: +49 89 54 75 90  
Fax: +49 89 54 75 95 50  
E-Mail: [contact@emft.fraunhofer.de](mailto:contact@emft.fraunhofer.de)

Projektleiterin  
Dr. Sabine Trupp  
[Sabine.Trupp@emft.fraunhofer.de](mailto:Sabine.Trupp@emft.fraunhofer.de)

[www.emft.fraunhofer.de](http://www.emft.fraunhofer.de)

### Einleitung

An der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT werden neuartige folienbasierte, optische Sensorsysteme für den Einsatz in Medizintechnik, Umweltanalytik, im Life-Sciences Bereich und in der Prozesscharakterisierung entwickelt.

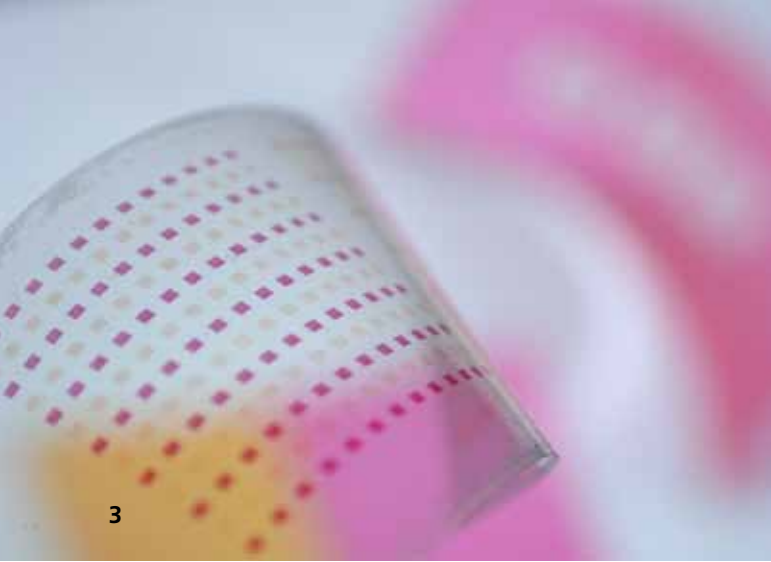
Die Sensorfolien ermöglichen die qualitative und quantitative Bestimmung neutraler und ionischer Analyte, wie zum Beispiel Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Saccharide, Alkohole, Amine,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  oder pH-Wert. Die Sensorfolien basieren auf der Verwendung von Absorptions- oder Fluoreszenzindikatoren. Die Indikatoren sind dazu mit entsprechenden Rezeptorgruppen ausgerüstet, welche selektiv und sensitiv mit ausgewählten Analyten reagieren. Die Reaktion der Rezeptorgruppe mit dem Analyten verursacht Änderungen

der optischen Eigenschaften des Indikators, welche dann in Form von Farb- oder Fluoreszenzänderungen sichtbar, bzw. messbar sind.

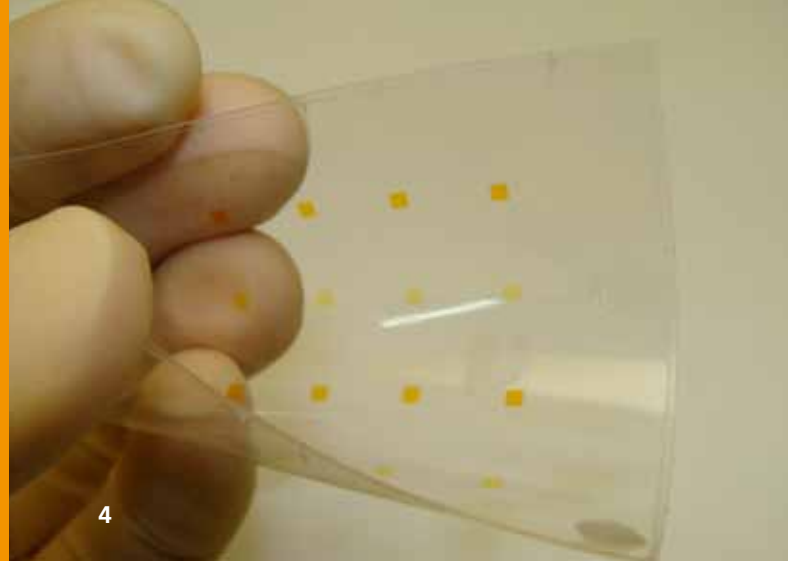
### Herstellung von Sensorfolien

Für die Herstellung von optischen Sensorfolien werden die Indikatorfarbstoffe mit geeigneten Polymeren zu Druckmedien verarbeitet. Dazu erfolgt vorab eine chemische Modifikation der Indikatoren zur Einstellung ihrer optimalen Löslichkeit im Polymer oder zur Ermöglichung des chemisch stabilen Anbindens des Indikators an die Polymermatrix.

Die Auswahl der Polymere erfolgt im Hinblick auf den geplanten Einsatzbereich der Sensorfolie, unter Berücksichtigung von Faktoren wie zum Beispiel Analytdiffusion, Migration, UV-Stabilität, Lager- und Einsatzstabilität, ggf. Lebensmitteltauglichkeit,



3



4

und/oder Hautverträglichkeit. Zudem wird bei Auswahl der Komponenten der Kostenfaktor berücksichtigt, wenn möglich werden kommerziell erhältliche Polymere und Trägermaterialien verwendet.

Neben dem direkten Einbringen von Indikatorfarbstoffen in Polymermaterialien, kann auch vorab eine Anbindung der Indikatoren an Nano- oder Mikropartikel erfolgen. Werden solche Sensor-Partikel synthetisch aufgebaut, können z. B. über Kern-Hülle-Systeme mehrere Funktionen kombiniert und Eigenschaften, wie Hydrophilie/ Hydrophobie oder Polarität, gesteuert werden. Fluoreszenz-Sensor-Partikel können z. B. im Kern einen Referenzfarbstoff und in der Hülle oder auf ihrer Oberfläche einen Indikator tragen. Mit solchen Systemen werden geräteunabhängige, ratiometrische Fluoreszenzmessungen ermöglicht.

An der Fraunhofer EMFT werden verschiedene Verfahren zum Aufbringen indikatorhaltiger Druckmedien auf Foliensubstrate (z.B. PET, PEN) entwickelt. Die Herstellung der Sensorfolien erfolgt durch Tintenstrahl- oder Siebdruckverfahren, Dispensen, Web-Coaten oder Beschichtung durch Aufsprühen. Durch den Transfer dieser Verfahren auf vorhandene Rolle-zu-Rolle Technologien ist auch die Herstellung großflächig bedruckter Sensorfolien möglich. Auf diese Weise können indikatorhaltige Druckmedien wahlweise großflächig mit gleichbleibender Schichtdicke oder in feinstrukturierten Pattern auf Folien aufgebracht werden. Eine feine Strukturierung bietet die Möglichkeit, Sensor-Array-

Systeme zur parallelen Detektion verschiedener Analyte zu miniaturisieren. Zudem können mehrschichtige Systeme aufgebaut werden, um z. B. auf der Sensorschicht eine zusätzliche Sperrschicht anzuordnen, die für bestimmte Moleküle undurchlässig ist. Mit dem Tintenstrahldrucker und dem Mikrodispenser, die insbesondere in der Medizintechnik eingesetzt werden, können Tropfen im Pico- und Nanoliter-Maßstab zielgenau auf Substratoberflächen appliziert werden. Die nach dieser Methode generierten Sensorspots verfügen über eine konstante Qualität und gewährleisten somit die Reproduzierbarkeit quantitativer Analytbestimmungen. Die Verarbeitung indikatorhaltiger Druckmedien mit den Rolle-zu-Rolle Fabrikationstechniken ermöglicht eine zuverlässige, kostengünstige Herstellung folienbasierter Sensoren.

### Anwendungsgebiete

Optische Sensorfolien sind vielseitig einsetzbar und werden beispielsweise in Form von Teststreifen in der medizinischen Diagnostik, Biotechnologie, Umweltanalytik und Prozesscharakterisierung angewandt. Auch bei der Produktauthentifizierung kommen sie, beispielsweise durch die Integration fluoreszierender Indikatoren in Produktionsgüter, zum Einsatz. Ein großes Potential besitzen die Sensormaterialien im Bereich der Textilindustrie. Foliestreifen, die in Textilien (z.B. Schutzhandschuhe, Laborkleidung oder Schutzanzüge) integriert sind, können zum Beispiel durch Farbänderung auf giftige

Substanzen, wie z.B. Kohlenstoffmonoxid, im Umfeld hinweisen, oder die Kontamination mit aggressiven Chemikalien wie Säuren oder Basen anzeigen. Sensorfolien, die in die Verpackung von Lebensmitteln integriert werden, können den Frischezustand der Ware anzeigen. Der Nachweis von Zerfallsprodukten, die beim Verderb der verpackten Lebensmittel entstehen, kann konzentrationsabhängig von den Sensormaterialien in Form von Farb- oder Fluoreszenzänderungen sichtbar gemacht werden. Dadurch ergibt sich für alle Beteiligten der Handelskette bis hin zum Endverbraucher die Möglichkeit zur Kontrolle des tatsächlichen Frischezustandes der Ware und zum entsprechenden Umgang damit. Werden entsprechende Sensormaterialien durch Beschichtung auf Oberflächen von Fahrzeugen oder Maschinen aufgebracht, ist das 3D-Imaging physikalischer Größen wie Druck und Temperatur möglich.

In der Fraunhofer EMFT wurden optische Messmodule entwickelt und auf die Eigenschaften der Sensormaterialien abgestimmt. Diese Module ermöglichen neben der Bewertung der optischen Signale auch eine Speicherung und Übertragung der Messdaten.

3 *pH-sensitive Indikatorarray auf Folie*

4 *Gedruckte pH-sensitive Indikatorfarbstoffe auf Foliensubstrat*