

# Integration organischer Leuchtdioden auf einem Sensorchip zur Messung der Sauerstoffkonzentration in Gasen und Flüssigkeiten

Karsten Fehse<sup>1</sup>, Dirk Schlebusch<sup>1</sup>, Philipp Wartenberg<sup>1</sup>, Steffen Ulbricht<sup>1</sup>, Gerd Bunk<sup>1</sup>, Stephan Brenner<sup>1</sup>, Matthias Schober<sup>1</sup>, Christian Schmidt<sup>1</sup>, Bernd Richter<sup>1</sup>, Uwe Vogel<sup>1</sup>, Saskia Czihal<sup>2</sup>, Martin Morjan<sup>2</sup>, Matthias Lau<sup>2</sup>

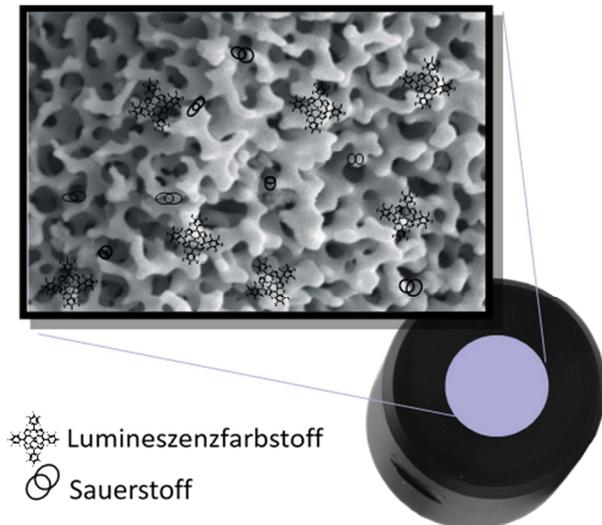
<sup>1</sup> Fraunhofer FEP, Dresden, Deutschland

<sup>2</sup> Sentronic GmbH, Dresden, Deutschland

Kontakt: karsten.fehse@fep.fraunhofer.de

## Motivation

Nach derzeitigem Stand der Technik werden Fluoreszenzsensoren zur Konzentrationsbestimmung von Gasen oder Flüssigkeiten über separate elektrische Bauelemente realisiert, die den auf bestimmte Quencher sensitiven Fluoreszenzfarbstoff, welcher in Optroden-Anordnung zu meist über dieser Opto-Elektronik angeordnet ist, definiert zur Fluoreszenz anregt und das durch den Quencher modulierte Fluoreszenzsignal detektieren und weiterverarbeiten.

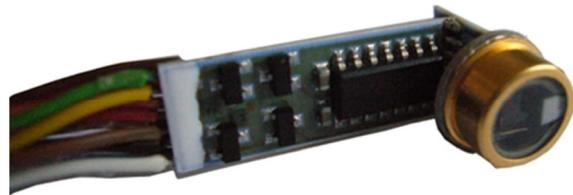


 Lumineszenzfarbstoff  
 Sauerstoff

**Abbildung 1:** Fluoreszenz-Spot (Sentronic GmbH) – Farbstoff ist adsorptiv im Periodisch Mesoporösen Organosilika (PMO) angebunden.

Abhängig vom Modulations- und Messverfahren wird häufig eine anorganische LED im meist blauen/grünen/roten und seltener auch im UV Spektralbereich als optische Anregungsquelle für den jeweiligen sensiblen Farbstoff verwendet, dessen optisches Antwortsignal dann über eine Farbfilter- und Photodiodenkombination detektiert wird. Die Ansteuerung und Auslese der LED und Photodiode werden dabei über externe Baugruppen realisiert. Dieser Sensoraufbau ist etabliert und kann durch Nutzung von Standardkomponenten relativ einfach modifiziert werden. Besteht allerdings die Notwendigkeit zur Miniaturisierung der Sensorik für kleinsten Bauraum, zur Reduzierung der Herstellkosten, sowie zum Design mit Eignung zur vollautomatischen Massenfertigung, so ergeben sich Her-

ausforderungen durch die geringe Kombinationsmöglichkeit der Standardkomponenten und des optischen Übersprechens zwischen Lichtanregung und Lichtdetektion.

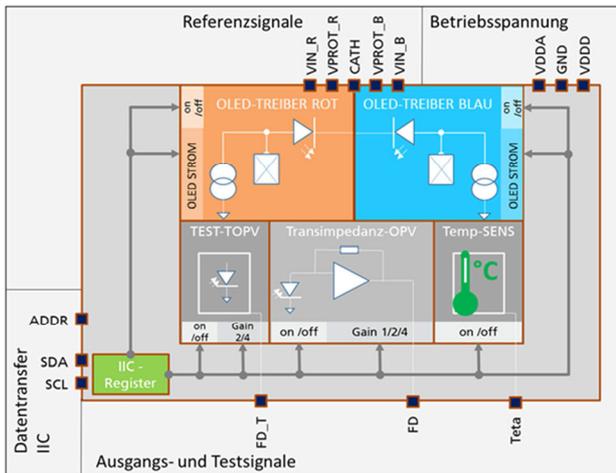


**Abbildung 2:** Aufbau eines Fluoreszenzsenors in Hybrid-Technologie (Sentronic GmbH).

In Anbetracht dieser Zielsetzung zeigen wir beispielhaft an einem Sauerstoffsensor, wie die Miniaturisierung der Kernkomponenten 1) Lichtanregung, 2) Fluoreszenz-Spot, 3) Lichtdetektion und 4) Auslese-Ansteuerung kombiniert in einem Sensorchip realisiert werden kann.

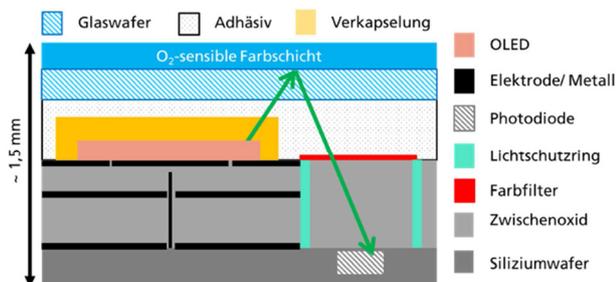
## Konzept

In den letzten Jahren hat sich die organische Leuchtdiode als Lichtquelle für hochwertige Displayanwendungen in Mobiltelefonen und Fernsehern etabliert.[1] Die Lebensdauer der OLEDs im sichtbaren Spektralbereich beträgt beispielsweise bei Bildschirmhelligkeit mehrere Millionen Stunden für rote OLEDs.[2] Ein Vorteil der organischen Halbleiter ist die direkte Integration auf CMOS-Wafern. Auf speziell präparierte Metallebenen im CMOS können die organischen Schichten abgeschieden und somit direkt mit den elektrischen Bauelementen im CMOS-Chip kontaktiert werden. Im Vergleich zur Integration von anorganischen LEDs oder zusätzlichen Photodioden, ist für die Integration der organischen Bauelemente keine Drahtbond- oder Flip-Chip Montage notwendig, weshalb auch die damit verbundenen Probleme der Positioniergenauigkeit, Ablösen von Bondverbindungen bei Temperaturschwankungen, Vibrations- und Stoßempfindlichkeit oder Erhöhung der Bauhöhe vermieden werden. Für die Realisierung des Fluoreszenzsenors wurde eine 0,35 µm CMOS-Technologie verwendet um im Sensorchip funktionale Baugruppen wie Mikrokontroller, OLED-Ansteuerung, Photodioden mit verschiedenen Verstärkerstufen zur Auslese und Kommunikationsschnittstellen zur externen Ansteuerung zu integrieren (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Schematische Übersicht der elektrischen Baugruppen im Sensorchip.

Nach der Herstellung des CMOS auf 200mm-Wafern wurden Farbfilter mittels Lithographie über den Photodioden strukturiert aufgebracht und abschließend rote und blaue OLEDs auf dem Wafer integriert. Die blaue OLED dient hierbei zur Anregung des Sauerstoffsensiblen Farbstoffs und die rote OLED als Referenzlichtquelle zur Bestimmung von Systemlaufzeiten des CMOS bzw. der angebrachten Lichtleiter. Um die organischen Schichten vor äußeren Einflüssen zu schützen und eine stabile Grenzfläche zu ermöglichen, wurde abschließend ein Glaswafer auf die Oberfläche des OLED-CMOS Sensors mittels dünner vollflächiger Kleberschicht aufgebracht. Ein Querschnitt des gesamten Bauelements ist in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4:** Querschnitt des OLED-Fluoreszenzsenors mit den wichtigsten Komponenten: CMOS-Wafer, OLED, Glaswafer mit O<sub>2</sub>-sensibler Farbschicht.

## Demonstrator

Nach der Vereinzelung der CMOS-OLED-Wafer und der anschließenden Aufbau und Verbindungstechnik kann der Fluoreszenzsensor über ein USB-Kabel an die dazu angepasste Steuersoftware angeschlossen werden. Je nach Anwendungsszenario kann die Aufnahme bzw. das PCB-Layout angepasst werden, um den Sensor möglichst effizient in bereits bestehende Geräte oder Messapparaturen zu integrieren. Eine Ausführungsform des Fluoreszenzsenors ist in Abbildung 5 dargestellt.

Zur Demonstration des Sensorkonzeptes standen zwei Farbstoffe zur Verfügung. Ein kommerzieller Messpunkt (eingebetteter Farbstoff zwischen Adhäsivschicht und schwarzem Lichtblocker) und eine Polystyrol-Trägerschicht mit integrierten Farbstoffmolekülen. Beide Messpunkte benutzen Platin-Porphyrin Farbstoffe, welche sich durch die blaue OLED mit einer Hauptemissionswellenlänge von 450nm optisch anregen lassen und die im roten Spektralbereich über 650nm eine sauerstoffabhängige Photolumineszenz emittieren.



**Abbildung 5:** OLED-Fluoreszenzsensor vollständig aufgebaut und zur externen Kontrolleinheit angeschlossen. Die Sauerstoffsensible Farbschicht wird in die Reagenzgläser über ein Adhäsiv an der Glaswand befestigt.

Der Fluoreszenzsensor kann die blaue Lichtquelle zwischen 100 Hz bis zu 40 kHz gepulst steuern, wobei die Signalform variabel ist und für die hier diskutierten Messungen mit einem Sinus- und Rechtecksignal evaluiert wurde. Das Anregungslicht dringt durch den Glaswafer und Beobachtungsfenster zum Messpunkt und wird dort vom Farbstoff absorbiert. Die Abklingzeiten der beiden Farbstoffe variieren je nach Sauerstoffgehalt zwischen 70-10  $\mu$ s.

