Chip-basierter Biosensor

Kooperation: HS FU, AA und ILM UL

Dr. A. Kovacs
Prof. Dr. U. Mescheder
M.Sc. A. Ivanov

3. Aalener Photoniktag, Hochschule Furtwangen, 21. 10. 2011

Überblick

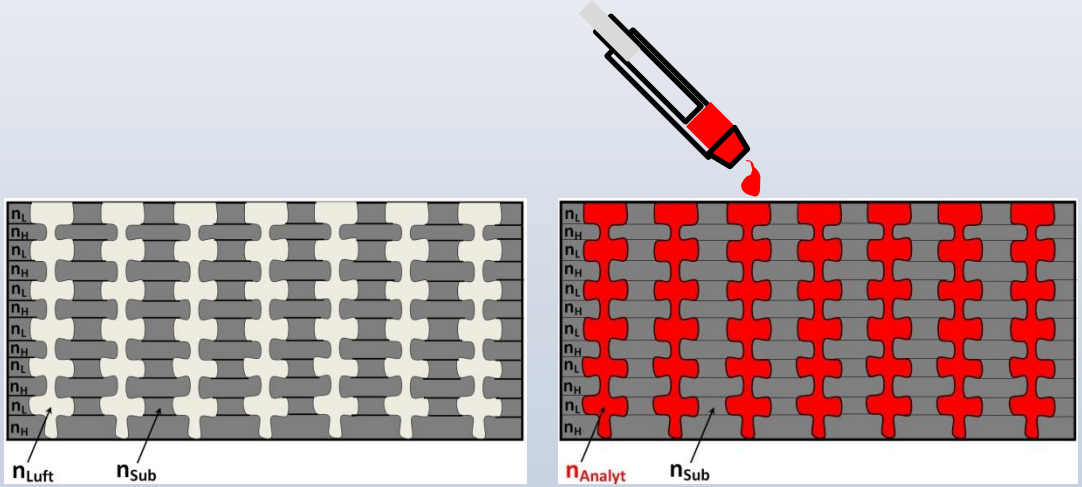
- Grundkonzept
- Einstellung der Peaklage
- Oberflächenstabilisierung
- Validierung der optischen Multischichten
- Optimierung des optischen Gesamtsystems
- Weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

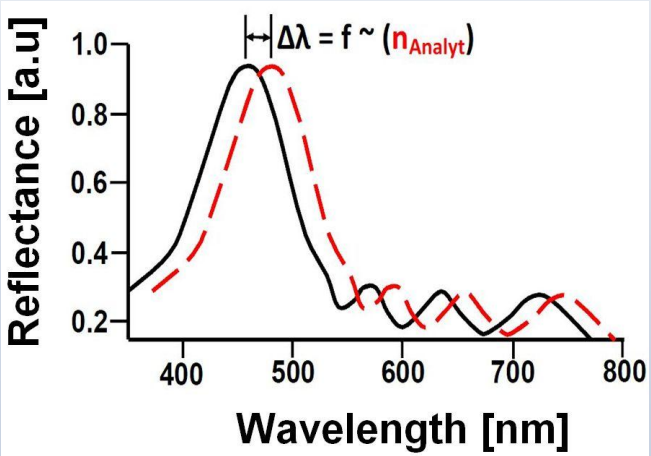
Grundkonzept

PHOTON^n

- Poröses Silizium:
  - Multilayer-Strukturen als optische Filterschicht
  - Schwammartige Struktur mit großer innerer Oberfläche und Porosität
- Benetzung und Immobilisierung durch Oberflächenbehandlung oder -beschichtung

Brechungsindex-Modulation der porösen Schichten durch Porenfüllung von Analyten





$n_{eff} \sim f\,(n_{sub}; n_{Luft}; n_{Analyt})$

Grundstruktur: **D**istributed **B**ragg **R**eflector (DBR)

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Überblick

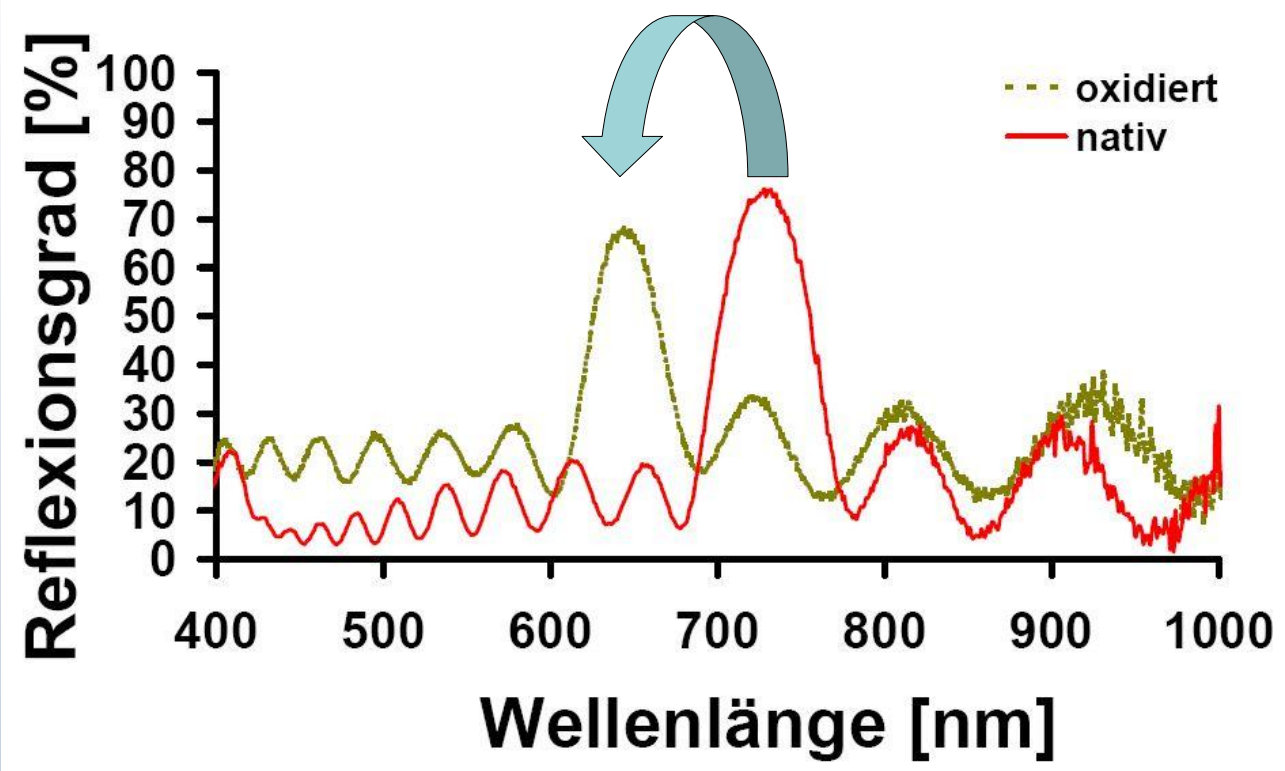
- Grundkonzept
- **Einstellung der Peaklage**
- Oberflächenstabilisierung
- Validierung der optischen Multischichten
- Optimierung des optischen Gesamtsystems
- Weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Einstellung der Peaklage

PHOTON^n

Einstellung der Peaklage ist zweistufig:

- Herstellung der porösen optischen Schicht (native Schicht)
- Oberflächenstabilisierung (oxidierte Schicht)



Vergleich des Reflektionsgrades für native und oxidierte poröse Multischichten

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY ®

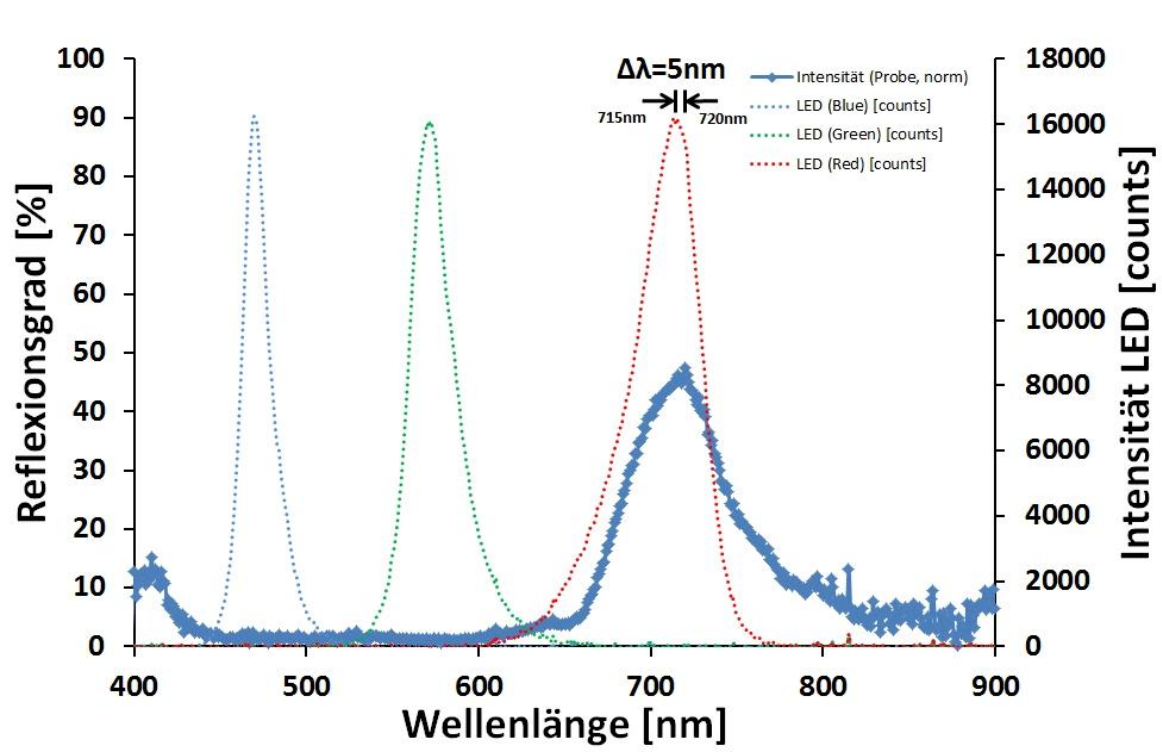
Einstellung der Peaklage

PHOTON^n

- Bildungsrate und Anodisierungszeit definieren die einzelnen Schichtdicken
- Porosität und Füllungsgrad definieren den effektiven Brechungsindex

$$n_H d_H = n_L d_L = {}^{\lambda}/_{4}$$

Peak: 720nm



HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Überblick

- Grundkonzept
- Einstellung der Peaklage
- **Oberflächenstabilisierung**
- Validierung der optischen Multischichten
- Optimierung des optischen Gesamtsystems
- Weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Oberflächenstabilisierung

Untersuchungsbedingungen:

- Natürliche Oxidation:
  - Trockene Umgebung
  - Feuchte Umgebung
- Thermische Oxidation:
  - Trockene Oxidation

Thermische Oxidation:

- stabilisiert die Oberfläche
- verbessert bedeutend die Benetzung
- verbessert die Langzeitstabilität

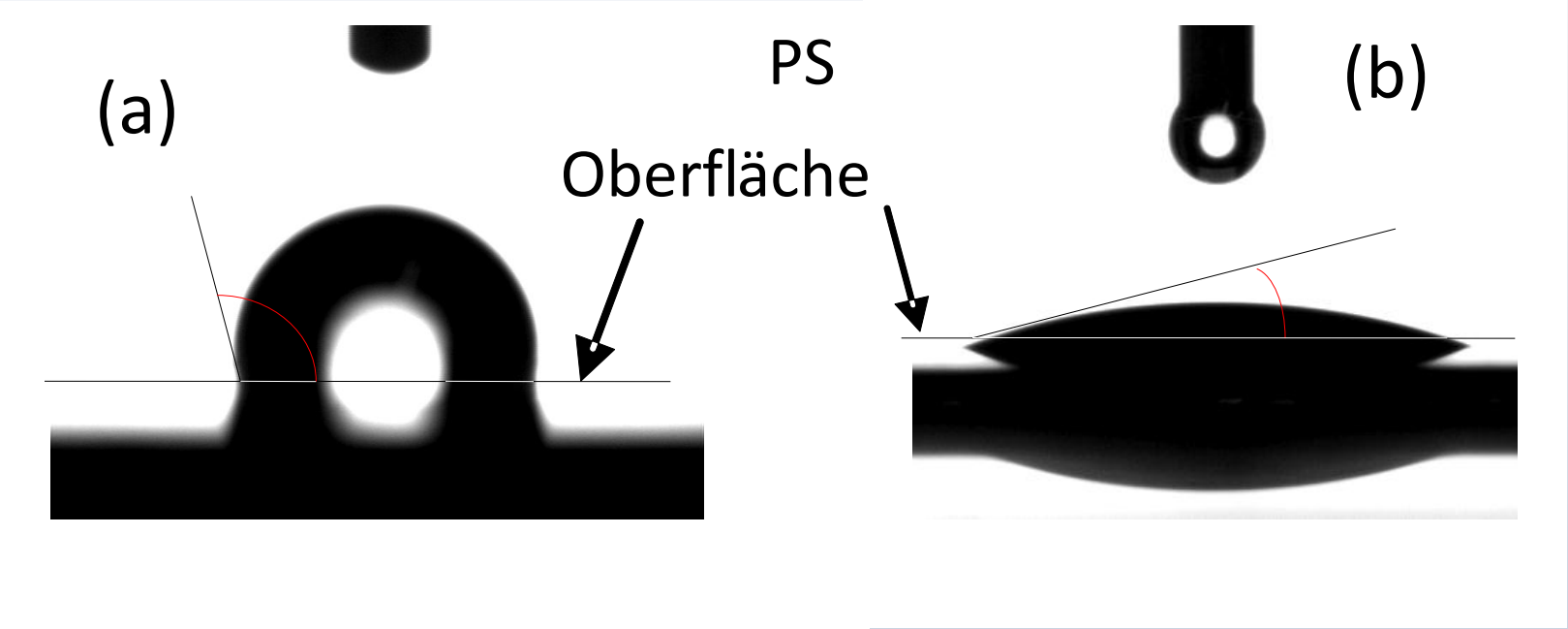
Oberflächenstabilisierung

PHOTON^n

Native PS Schicht
hydrophob

Thermische
Oxidation

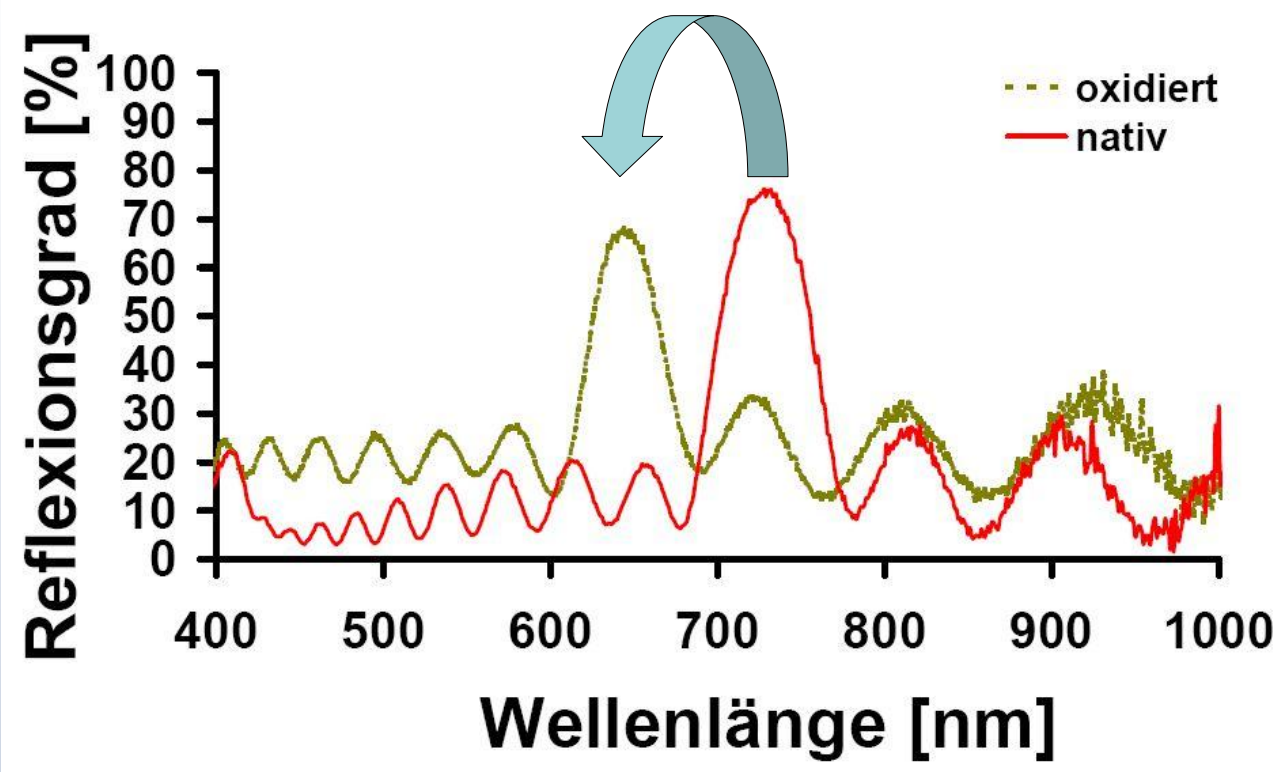
Oxidierte PS Schicht
hydrophil



HOCHSCHULE
FURTWANGEN
UNIVERSITY

Oberflächenstabilisierung

PHOTON^n



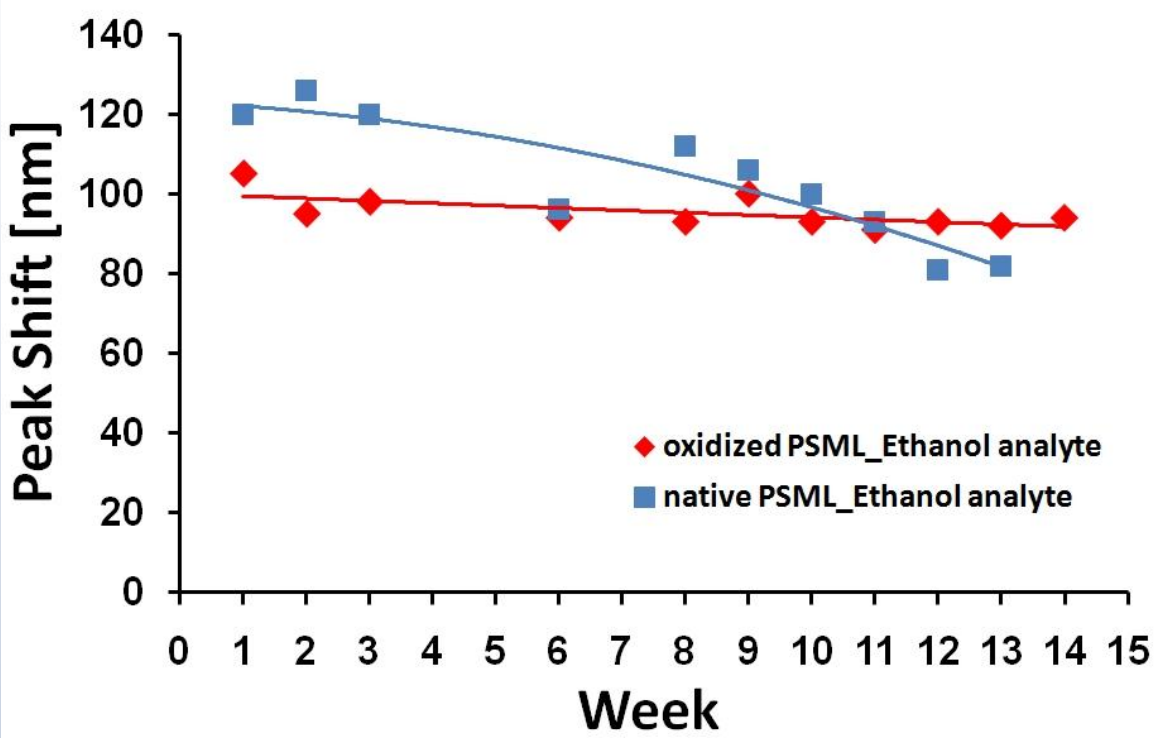
Vergleich des Reflektionsgrades für native und oxidierte poröse Multischichten

Oberflächenstabilisierung

PHOTON^n

Langzeituntersuchung

- Messung: mit Ethanol
- Lagerung: ohne Ethanol



Peak Verschiebung eines DBR optischen Filters in Abhängigkeit von der Zeit mit Ethanol Belastung

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

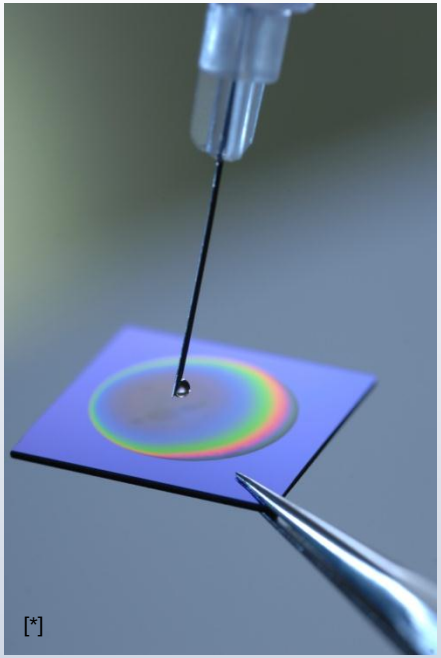
Überblick

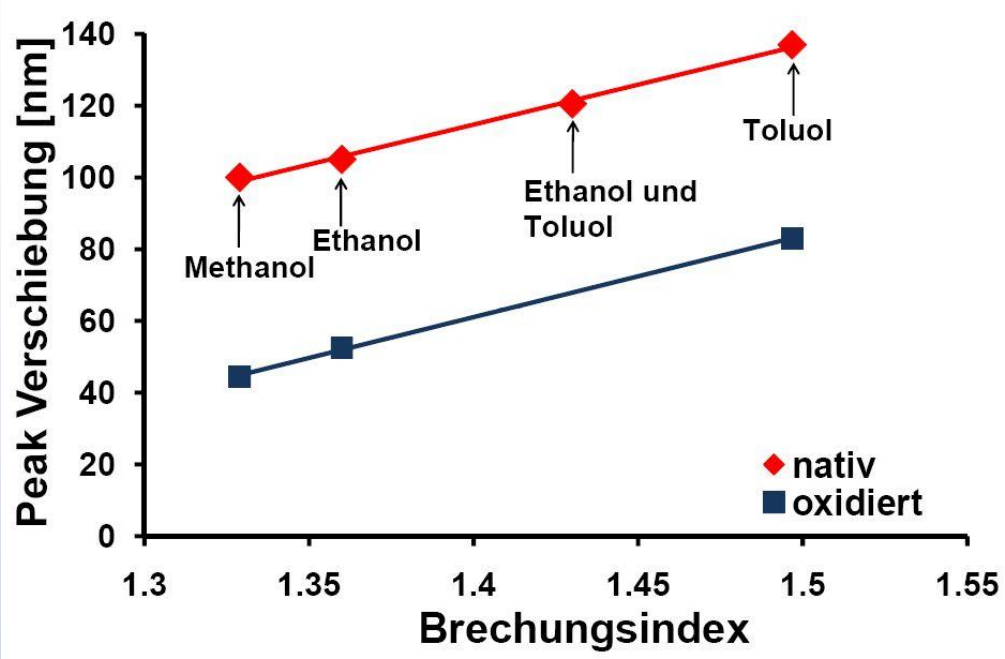
- Grundkonzept
- Einstellung der Peaklage
- Oberflächenstabilisierung
- **Validierung der optischen Multischichten**
- Optimierung des optischen Gesamtsystems
- Weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Funktionstest

PHOTON^n

- Organische Lösungen





Wellenlängenverschiebung der nativen und oxidierten porösen Multischichten (DBRs) für unterschiedliche organische Lösungen.

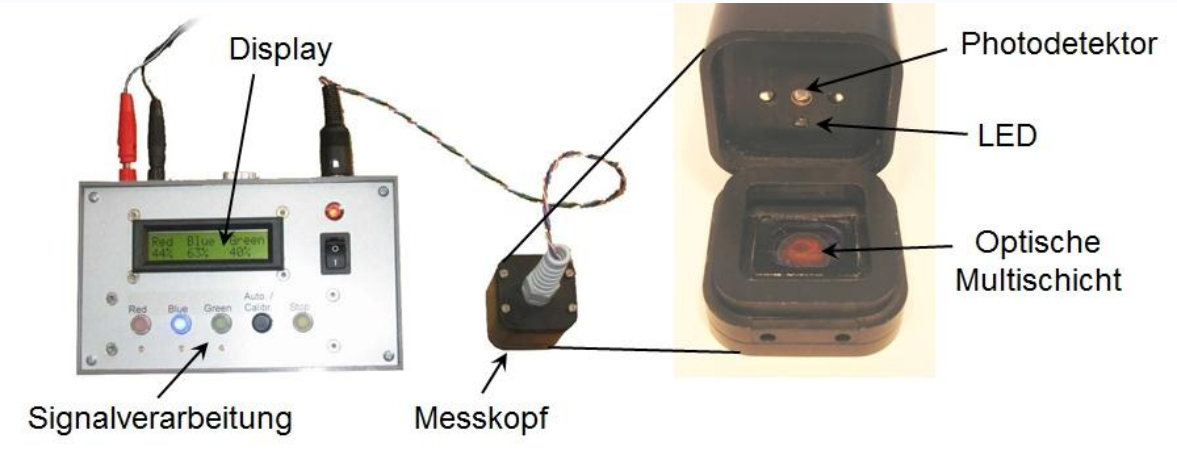
[*] Foto: Bernd Müller

Überblick

- Grundkonzept
- Einstellung der Peaklage
- Oberflächenstabilisierung
- Validierung der optischen Multischichten
- **Optimierung des optischen Gesamtsystems**
- Weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Optimierung des optischen Gesamtsystems

PHOTON^n



$$S_{system} = \frac{\delta n}{\delta A} \cdot \frac{\delta \lambda}{\delta n} \cdot \frac{\delta I_{meas}}{\delta \lambda}$$

$\delta n/\delta A$ ist die Veränderung des Brechungsindex, die durch die Änderung der Analytkonzentration (A) verursacht wird

$\delta \lambda/\delta n$ ist die Rotverschiebung des Spektrums verursacht durch die Brechungsindexänderung

$\delta I_{meas}/\delta \lambda$ ist die Veränderung der relativen Reflektionsintensität für die einzelnen LEDs verursacht durch die Rotverschiebung

$$I_{meas} = \int_0^\infty I_{LightSoure}(\lambda) \cdot R_{PSML}(\lambda) \cdot D(\lambda) d\lambda$$

Optimierung des optischen Gesamtsystems

PHOTON^n

Systemkomponenten:

- Lichtquelle: LED

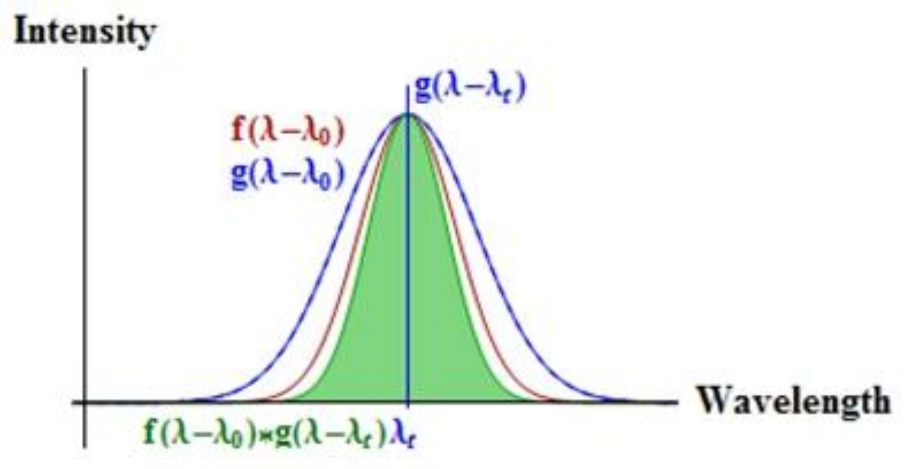
$$I_{LightSoure}(\lambda) = \frac{1}{\sigma_{Light}\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\lambda-\lambda_{Light}}{\sigma_{Light}}\right)^2\right)$$

- Multischicht: DBR mit p-Substrat

$$R_{PSML}(\lambda) = \frac{1}{\sigma_{PSML}\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\lambda-\lambda_{PSML}}{\sigma_{PSML}}\right)^2\right)$$

- Detektor

$$D(\lambda) = 1$$



Auswahl der Systemkomponenten abhängig von sensorischen Effekten
(Änderung des Brechungsindizes durch Analyt)

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Optimierung des optischen Gesamtsystems

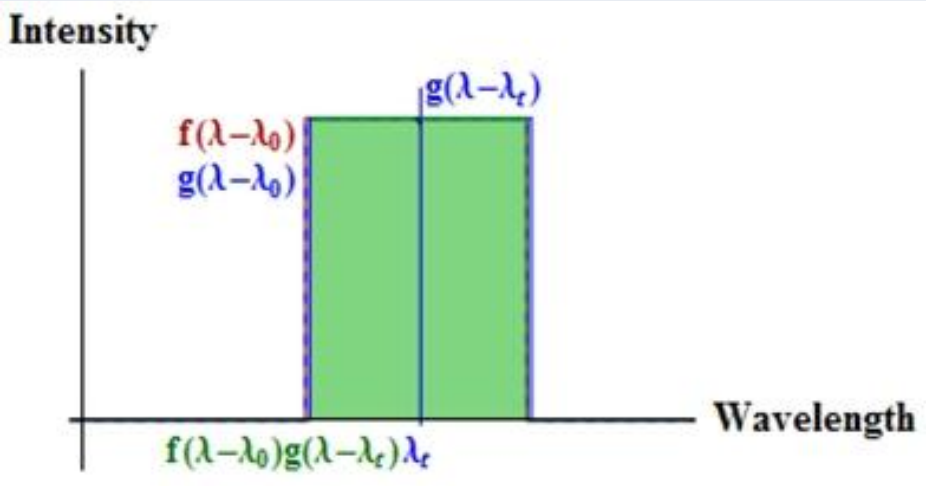
PHOTON^n

Systemkomponenten:

- Lichtquelle: rechteckförmig
- Multischicht: DBR mit p^{++}-Substrat
- Detektor

$$R_{PSML}(\lambda) = \begin{cases} 0 \ \ if \left(\lambda < \lambda_0 - \frac{\lambda_{wPSML}}{2}\right) \ or \left(\lambda > \lambda_0 + \frac{\lambda_{wPSML}}{2}\right) \\ 0.5 \ \ if \left(\lambda = \lambda_0 - \frac{\lambda_{wPSML}}{2}\right) \ or \left(\lambda = \lambda_0 + \frac{\lambda_{wPSML}}{2}\right) \\ 1 \ \ if \left(\lambda > \lambda_0 - \frac{\lambda_{wPSML}}{2}\right) \ and \left(\lambda < \lambda_0 + \frac{\lambda_{wPSML}}{2}\right) \end{cases}$$

$$D(\lambda) = 1$$



Auswahl der Systemkomponenten abhängig von sensorischen Effekten
(Änderung des Brechungsindizes durch Analyt)

Überblick

- Grundkonzept
- Einstellung der Peaklage
- Oberflächenstabilisierung
- Validierung der optischen Multischichten
- Optimierung des optischen Gesamtsystems
- **Weiteres Vorgehen**
- Zusammenfassung

Weiteres Vorgehen

- Einstellung der Porengröße (FU)
- Validierung des optischen Systems an Biosubstanzen (FU, ILM UL)
- Brechungsindex für poröse Schichten in p^+, p^{++} Substrat (FU)

Zusammenfassung

- Einstellung der Peaklage der optischen Multischichten wurde untersucht
- Oberflächenstabilisierung des poröses Silizium und Langzeitstabilität wurden untersucht
- Validierung der optischen Multischichten am ILM ULM wurde durchgeführt
- Eigenschaften des optischen Sensorsystems wurden bestimmt

Literatur

PHOTON^n

Eigene projektrelevante Veröffentlichungen:

- A. Kovacs, P. Jonnalagadda, X.Y. Meng, U. Mescheder: Entwicklung und Charakterisierung von optischen Multischichten aus porösem Silizium für biosensorische Anwendungen, Mikrosystemtechnik-Kongress 2009, pp. 333-336, 12.-14. Oktober 2009 Berlin
- A. Kovacs, P. Jonnalagadda, X. Y. Meng, U. Mescheder: Characterization of porous silicon based optical sensor system for biosensor applications, The 8th Annual IEEE Conference on Sensors, IEEE SENSORS 2009 Conference, pp. 21-26, 25-28 October 2009, Christchurch, New Zealand
- U. M. Mescheder, P. Jonnalagadda, A. Kovacs, X. Meng: Optischer Biosensor mittels selbstorganisierter nanostrukturierter Multilayerschichten, GMM-Fachbericht, Mikro-Nano-Integration Workshop, 3.-4. März 2010, Erfurt, Seite 105-110
- A. Kovacs, U. Mescheder, P. Jonnalagadda und X. Meng: Optisches Messsystem für biosensorische Anwendungen, 15. ITG-/GMA-Fachtagung "Sensoren und Messsysteme 2010", 18-20.05.2010, Nürnberg, Germany
- A. Kovacs, P. Jonnalagadda, X. Y. Meng, U. Mescheder: Optoelectrical detection system using porous silicon based optical multilayers, IEEE SENSORS Journal, Vol. 11, No. 10, October 2011, pp. 2413-2420
- A. Kovacs, U. Mescheder: Transport in nanostructured porous silicon layers, Eurosensors 2011, Eurosensors 2011, September 4-7 2011, Athens, Greece
- A. Kovacs, U. Mescheder: Transport Mechanisms in Nanostructured Porous Silicon Layers for Sensor and Filter Applications, Sensors and Actuators, to be published

Literatur (Auswahl):

[1] S. Chan, P. M.Fauchet, Y.Li and L. J. Rothberg, “Nanoscale Microcavities for Biomedical Sensor Application”, In Micro and Nanotech. for Biomedical and Environmental Appl., Proc. of SPIE Vol. 3912, pp 23-34, 2000.

[2] C.Mazzoleni, L.Pavesi, “Application to optical components of dielectric porous silicon layers”, Appl. Phys. Lett 67(20), pp 2983-2985, 1995.

[3] M.Ghulinyan, C.J.Oton, Z.Gaburro, P.Bettotti, L.Pavesi, “Porous silicon free-standing coupled microcavities”, Appl. Phys. Letters, Volume20, pp 1550-1552, 2003.

[4] V.Torres-Costa, R.J. Martin-Palma, J.M.Martinez-Durat, “Optical characterization of porous silicon films and multilayer filters”, Appl. Phys.A79, pp 1919-1923, 2004.

[5] V. Torres-Costa, F. Agullo-Rueda, R.J.Martin-Palms, J.M.Martinez-Duart, “Porous silicon optical devices for sensing applications” Optical materials 27, pp 1084-1087, 2005.

[6] A.Loni, L.T.Canham, M.G.Berger, R.Arens-Fischer, H.Munder, H.Luth, H.F. Arrand, T.M.Benson,“Porous silicon multilayer optical waveguides” , Thin solid films 276 (1996), pp 143-146.

[7] J.Volk, M.Fried, A.L. Toth, I.Barsony, “The ideal vehicle for optical model development: Porous silicon multilayers”, Thin Solid Films 455-456 (2004) , pp 535-539.

[8] Young-You Kim, KI-Won Lee, Sugie Shim, Shin-HHO Yang and Seon-Hwa Park, “Photoluminescent Region in a Porous Silicon Layer” Journal of the Korean Physical Society, Vol. 43, No. 1, July 2003, pp 170-173.

[9] Andreas Janshoff, Keiki-Pua S.Dancil, Claudia Steinem, Douglas P.Greiner, Victor S.-Y. Lin, Christian Gurtner, Kianoush Motesharei, Michael j.Sailor, and M.Reza Ghadiri, “Macroporous p-type Silicon Fabry-Perot Layers. Fabrication, Characterization, and Application in Biosensing” Journal of American Chemical Society.1998, 120, pp 12108-12116.

[10] Danilo R.Huanca, Francisco J. Ramirez-Fernandez, Walter J. Salcedo, “ Porous silicon optical cavity structure applied to high sensitivity organicsolvent sensor” Microelectronics Journal 39 (2008) 499-506.

[11] Andrea Edit Pap, Krisztian Kordas, Jouka Vähäkangas, Antti Uusimäki, Seppo Lappävuori, Laurent Pilon, Sandor Szatmari, “Optical properties of porous silicon. Part III: comparision of experimental and theoretical results” A.E. pap et al. / optical materials 28 (2006), pp 506-513

[13] L.Pavesi, V.Mulloni, “All porous silicon microcavities: growth and physics”, Journal of Luminescence 80 (1999), pp 43-52.

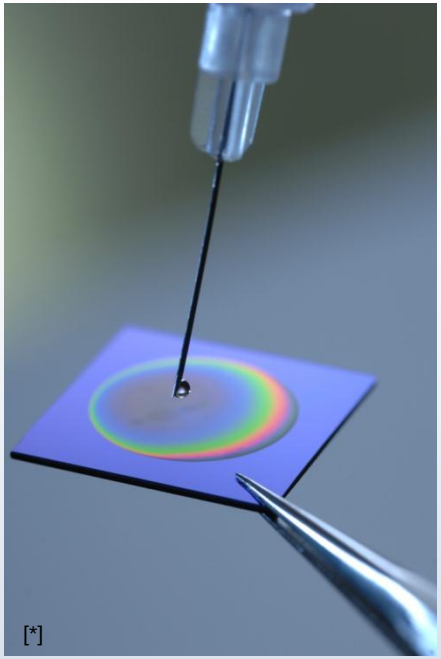
[14] Huimin Ouyang and Philippe M.Fauchet, “Biosensing using porous silicon Photonic Bandgap Structures”, SPIE Optics East 2005, 23 October *2005*, Boston, MA, USA.

[15] M.S.Salem, M.J.Sailor, K.Fukami, T.Sakka and Y.H.Ogata, “Sensitivity of porous silicon rugate filters for chemical vapor detection”, Journal of Applied Physics 103, 083516 (2008).

[16] M.S.Salem, M.J.Sailor, T.Sakka and Y.H.Ogata, “Electrochemical preparation of a rugate filter in silicon and its deviation from the ideal structure”, Journal of Applied Physics 101, 06353 (2007).

[17] S. Ilyas, T. Böcking, K. Kilian, P. J. Reece, J. Gooding, K. Gaus and M. Gal, “ Porous silicon based narrow line-width rugate filter”, Optical Materials 29, pp. 619-622, 2007

[18] H. Ouyang and P. M. Fauchet, “Biosensing using Porous Silicon Photonic Bandgap Structures, Photonic crystals and Photonic Crystal fibers for sensing applications, in Photonic crystas and Photonic crystal fibers for Sensing Applications,Proceedings of SPIE, pp.600508 1-15, 2005



Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Prof. Dr. Ulrich Mescheder
Tel.: +(49) 7723 920 2232
Email: mes@hs-furtwangen.de

Dr. Andras Kovacs
Tel.: +(49) 7723 920 2516
Email: kov@hs-furtwangen.de

[*] Foto: Bernd Müller

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY