Chip-basierter Biosensor

Dr. A. Kovacs
Prof. Dr. U. Mescheder
P. Jonnalagadda
X. Y. Meng

Kooperation: HS FU, AA und ILM UL

2. Aalener Photoniktag, Hochschule Furtwangen, 15. 04. 2010

Überblick

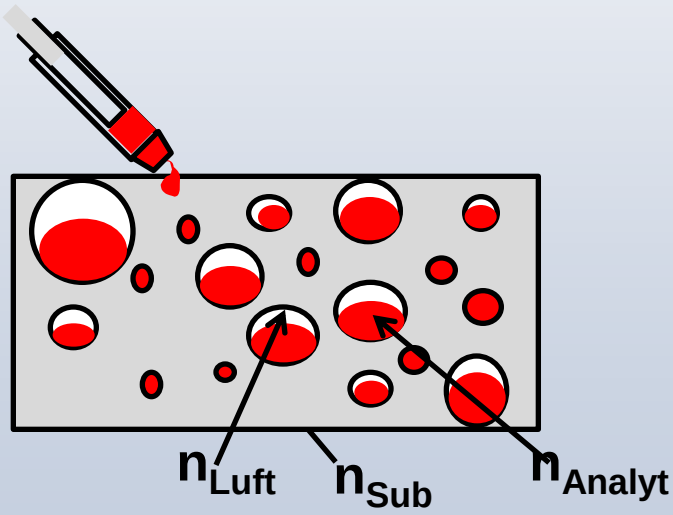
- Grundkonzept
- Simulation der Multischichten
- Eigenschaften der Multischichten
- Optische Charakterisierung
- Funktionstest
- Optisches Gesamtsystem
- Zeitplan und weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Grundkonzept

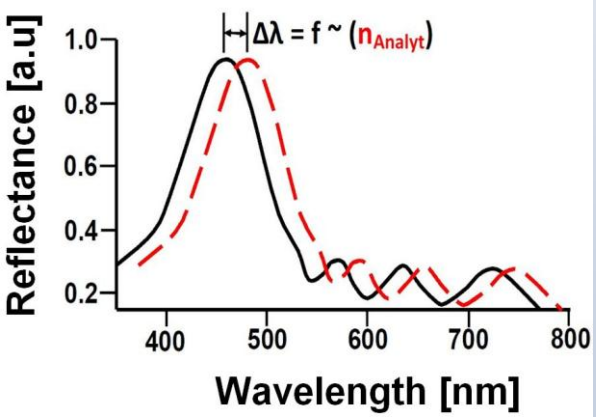
PHOTON^n

- 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:
Distributed
Bragg
Reflector
(DBR)

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

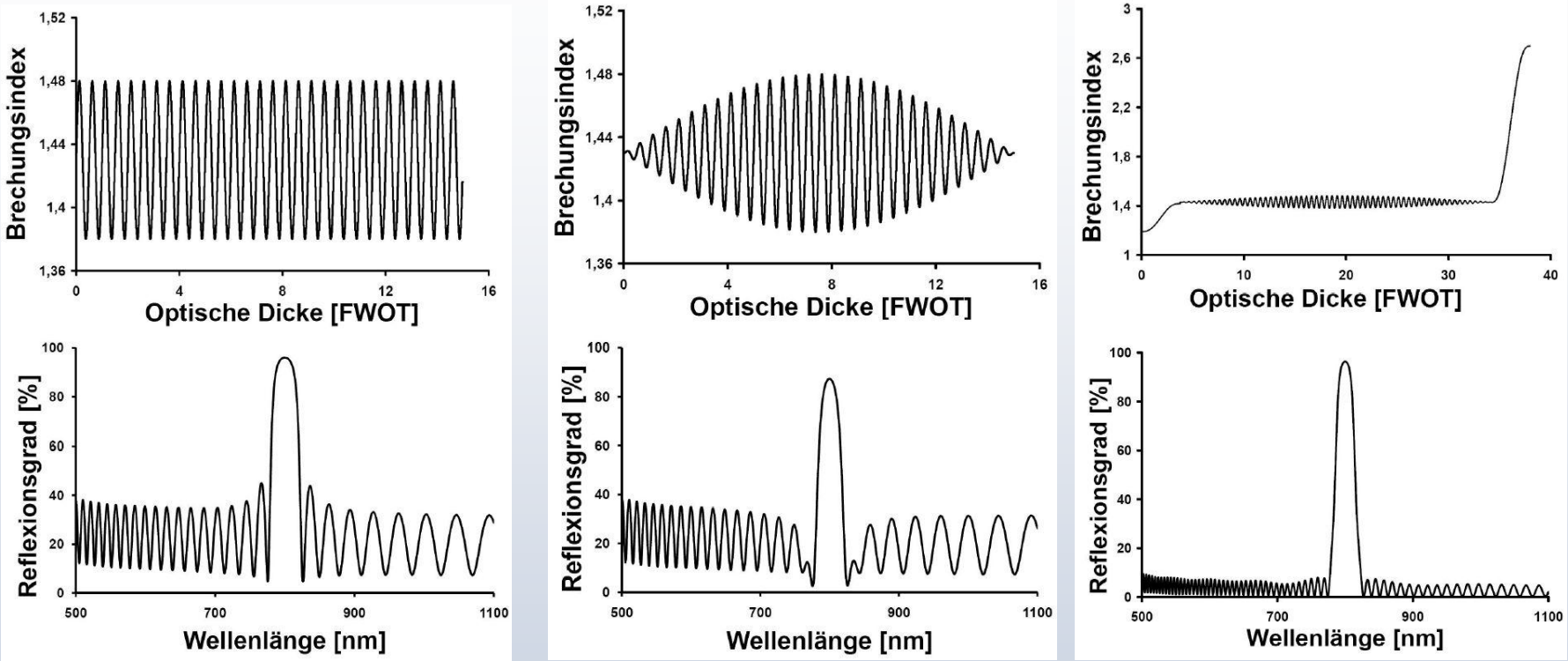
Überblick

- Grundkonzept
- **Simulation der Multischichten**
- Eigenschaften der Multischichten
- Optische Charakterisierung
- Funktionstest
- Optisches Gesamtsystem
- Zeitplan und weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Simulation der Multischichten

PHOTON^n

Rugate Filter | Apodisierung | Index Anpassung



oben: Brechungsindex (FWOT:Full Wave Optical Thickness), unten: simulierter Reflektionsgrad in %
a) Rugate Filter, b) Rugate Filter mit Apodisierung, c) Rugate Filter mit Apodisierung und and Index Anpassung

Apodizierung reduziert die Nebenmaxima,
Index Anpassung ünterdrück die Welligkeit außerhalb des Stopbandes

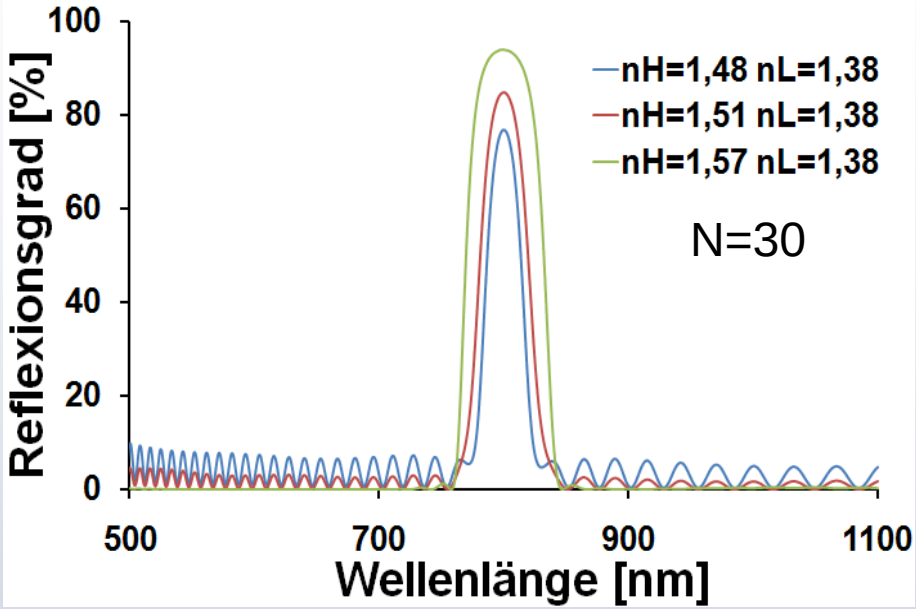
HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Einfluss der Herstellungsparameter

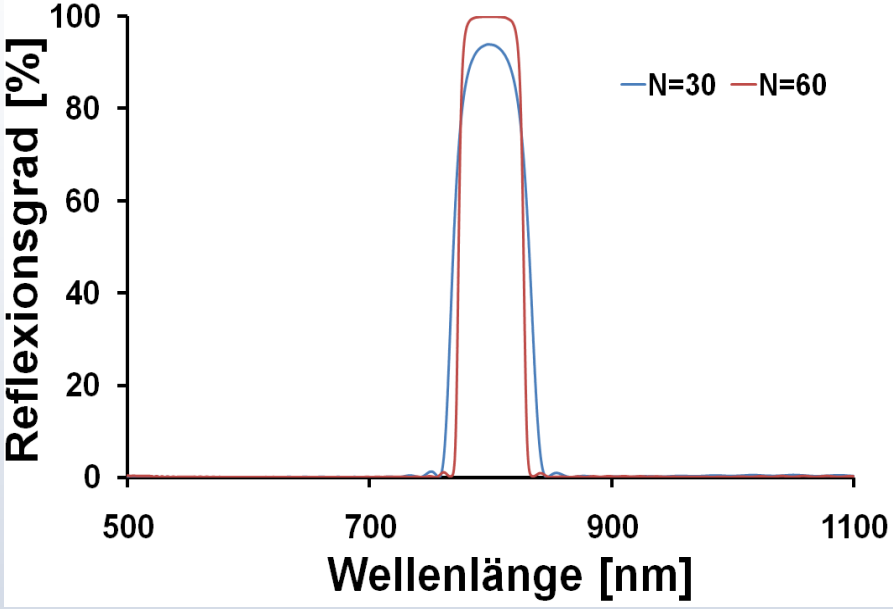
PHOTON^n

Rugate Filter mit Apodizierung und Indexanpassung

Änderung des Brechungsindex (n_H/n_L)



Änderung der Schichtzahl (N)



Erhöhung des Brechungsindexgradienten führt zur Erhöhung der Spaltbreite

Erhöhung der Schichtzahl führt zur definierten Spaltbreite

Optische Charakteristik einfach durch Stromdichte und Zeit/Schicht einstellbar!

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

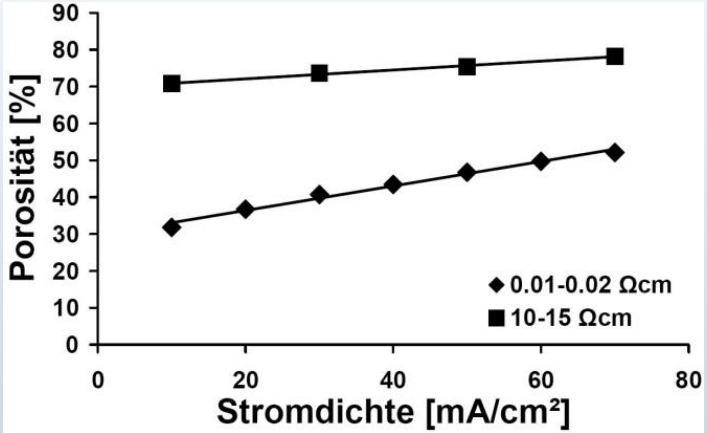
Überblick

- Grundkonzept
- Simulation der Multischichten
- **Eigenschaften der Multischichten**
- Optische Charakterisierung
- Funktionstest
- Optisches Gesamtsystem
- Zeitplan und weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Eigenschaften der Multischichten

PHOTON^n

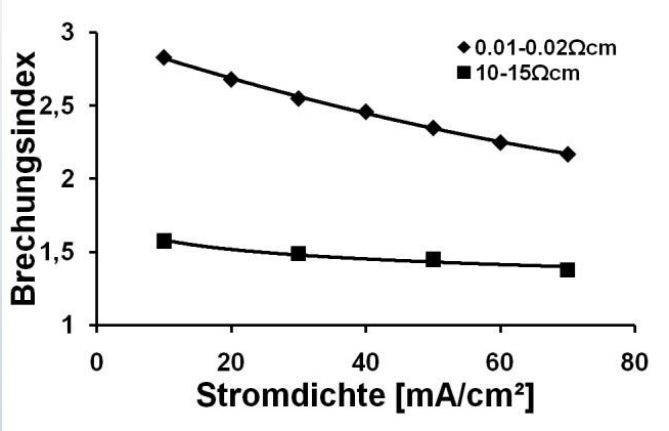
- Stromdichten und Zeiten definieren die einzelnen Schichten
- Porosität und Füllungsgrad definieren den effektiven Brechungsindex



Effektiv-Medien-Theorie

$$0 = \sum_{i=0}^{n} f_i \cdot \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{eff}}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_{eff}}$$

$$n_{eff} = \sqrt{\varepsilon_{eff}}$$



Die Funktion der Porosität (links) und des Brechungsindexes (rechts) in der Abhängigkeit von der Stromdichte für poröse Schichten in p^- und p^+ Substrat.

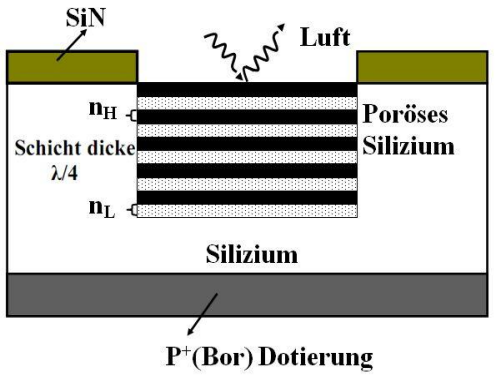
HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

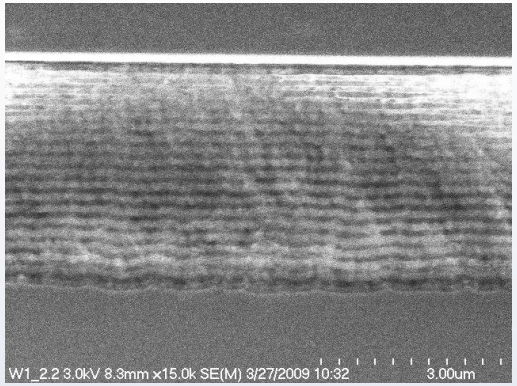
Eigenschaften der Multischichten

PHOTON^n

DBR:

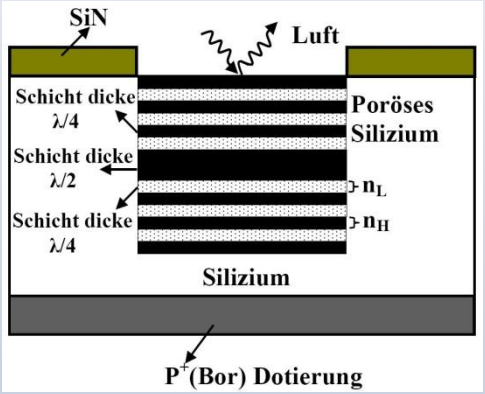
- p-Si 10-20Ωcm
- j_L:j_H = 70mA/cm² : 20mA/cm²
- Perioden: 16
- Zahl der Schichten: 32
- Elektrolyt: 30Gew%HF mit Ethanol

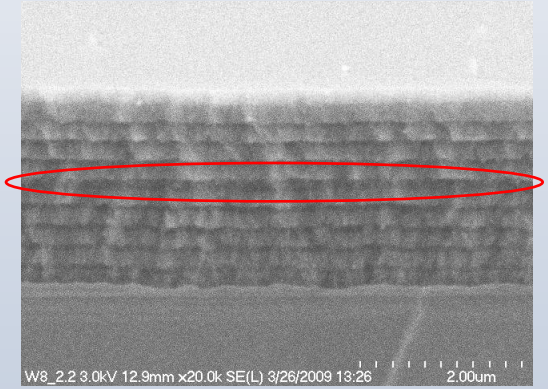




Doppel DBR mit Mikrokavität:

- p-Si 10-20Ωcm
- j_L: j_H = 70mA/cm²: 20mA/cm²
- Elektrolyt: 30Gew% HF mit Ethanol
- Perioden: 10
- Zahl der Schichten: 20
- Schichtaufbau: HLHLHLHLH(LL)HLHLHLHLH
  L: hoch porös, H: schwach porös





HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

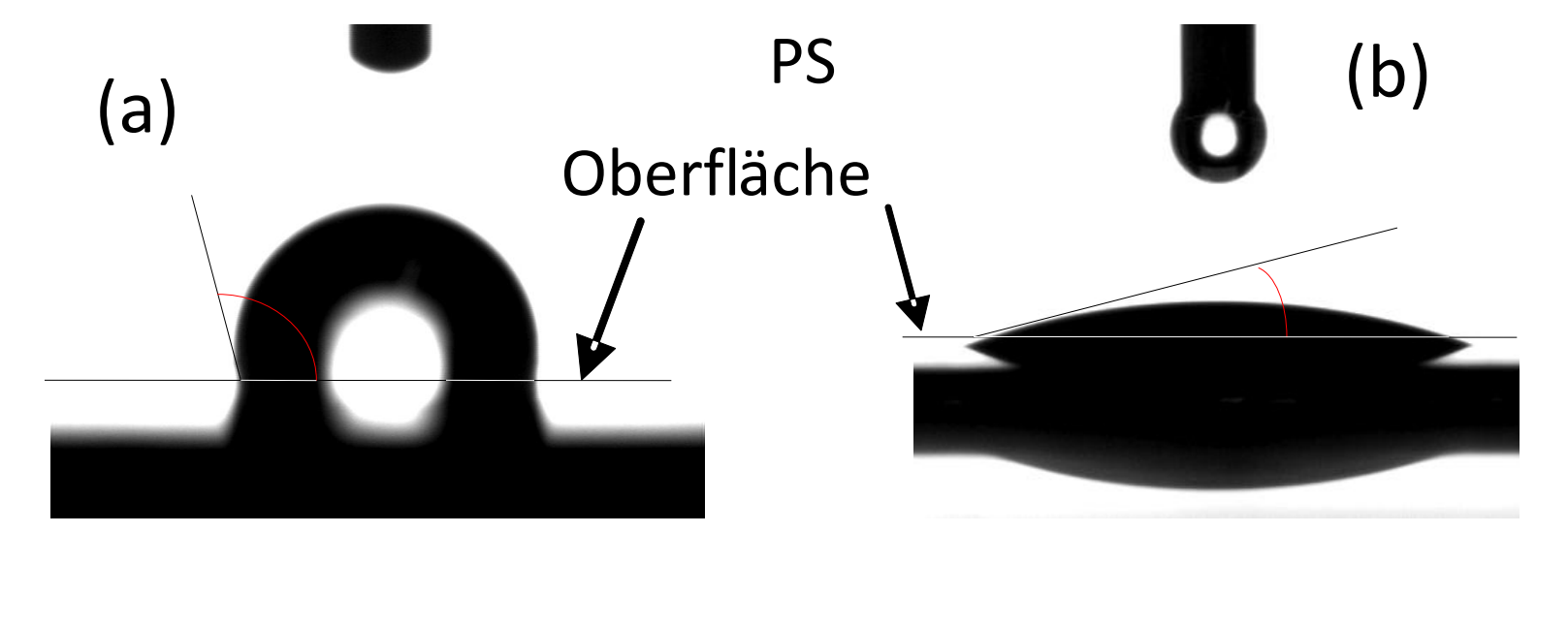
Eigenschaften der Multischichten

PHOTON^n

Native PS Schicht
hydrophob

Thermische
Oxidation

Oxidierte PS Schicht
hydrophil



Thermische Oxidation:
- stabilisiert die Oberfläche
- verbessert bedeutend die Benetzung
- verbessert die Langzeitstabilität

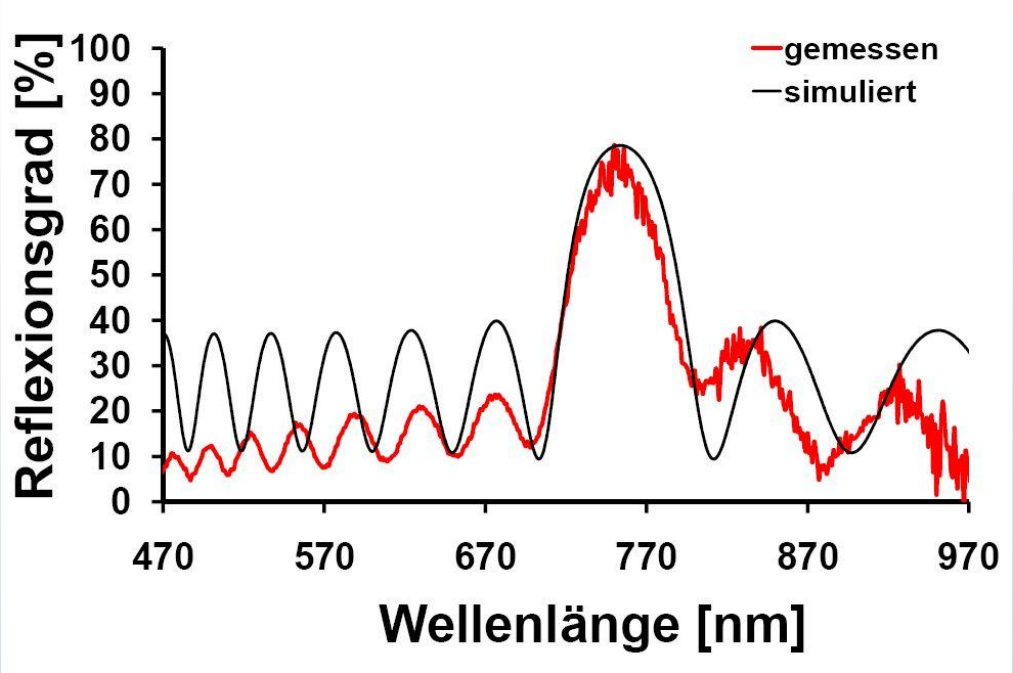
HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Überblick

- Grundkonzept
- Simulation der Multischichten
- Eigenschaften der Multischichten
- **Optische Charakterisierung**
- Funktionstest
- Optisches Gesamtsystem
- Zeitplan und weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Optische Charakterisierung

PHOTON^n



Gemessenes und simuliertes Reflektionsspektrum von porösen Multischichten mit d_H=127nm, d_L=136nm, n_L=1,38, n_H=1,48 und Schichtzahl=20

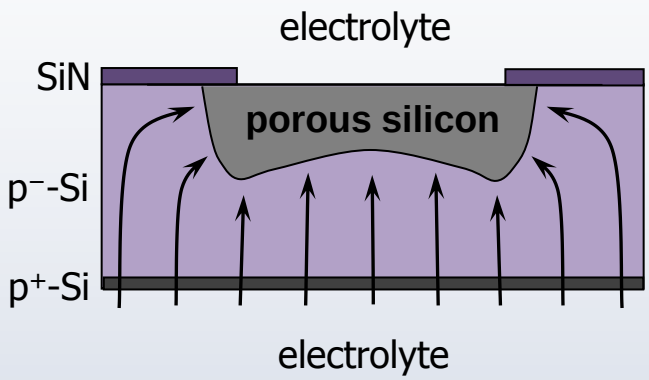
HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

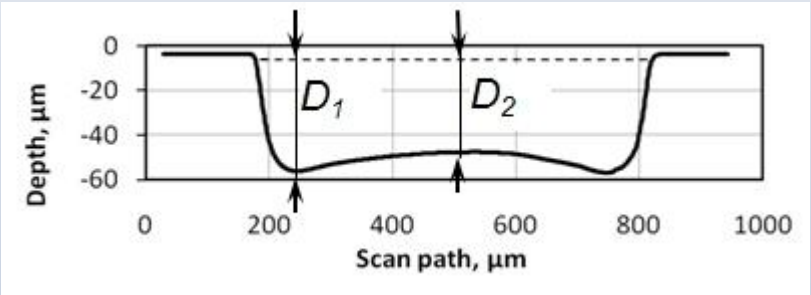
Optische Charakterisierung

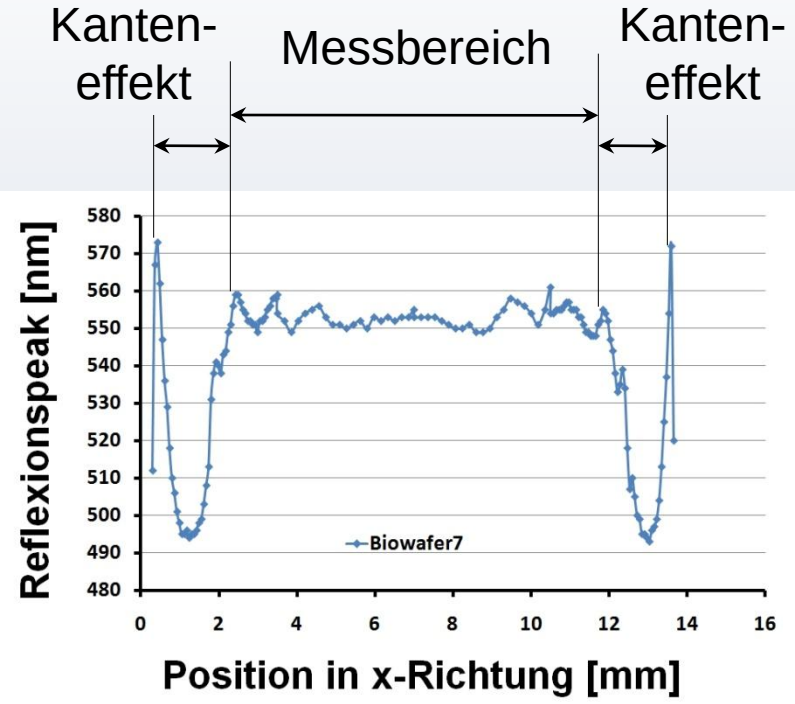
PHOTON^n

Hochauflösende optische Charakterisierung (AA)

Kanteneffekt:







$$EEF = \frac{D_1}{D_2} > 1$$

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

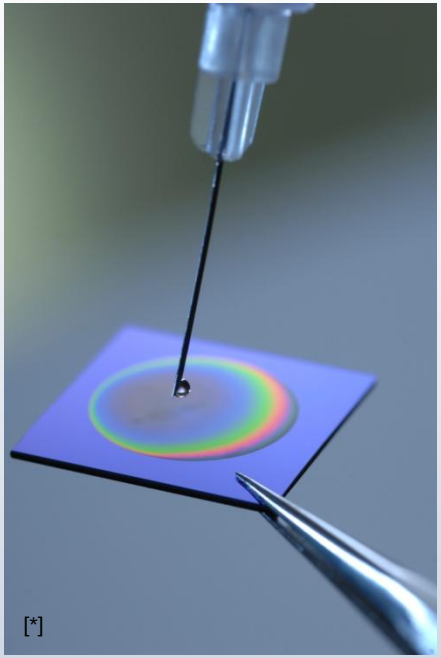
Überblick

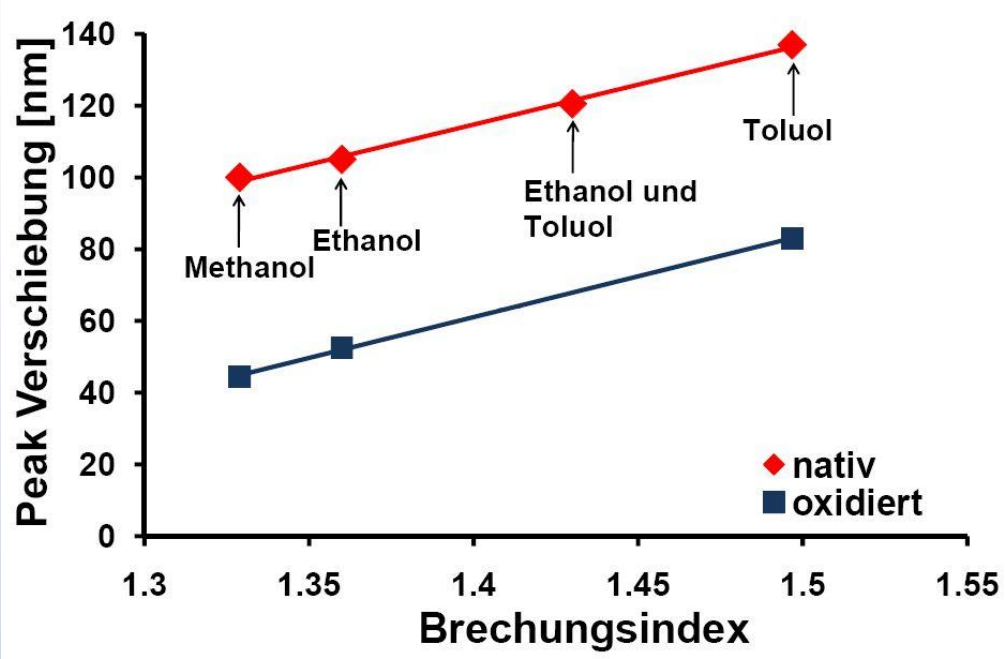
- Grundkonzept
- Simulation der Multischichten
- Eigenschaften der Multischichten
- Optische Charakterisierung
- **Funktionstest**
- Optisches Gesamtsystem
- Zeitplan und weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Funktionstest

PHOTON^n

- Organische Lösungen





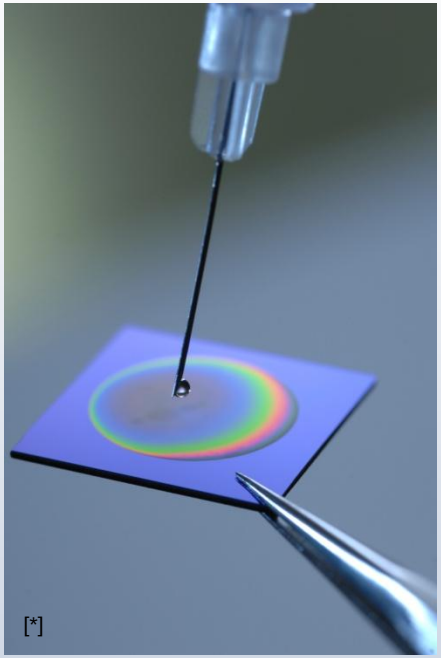
Wellenlängenverschiebung der nativen und oxidierten porösen Multischichten (DBRs) für unterschiedliche organische Lösungen.

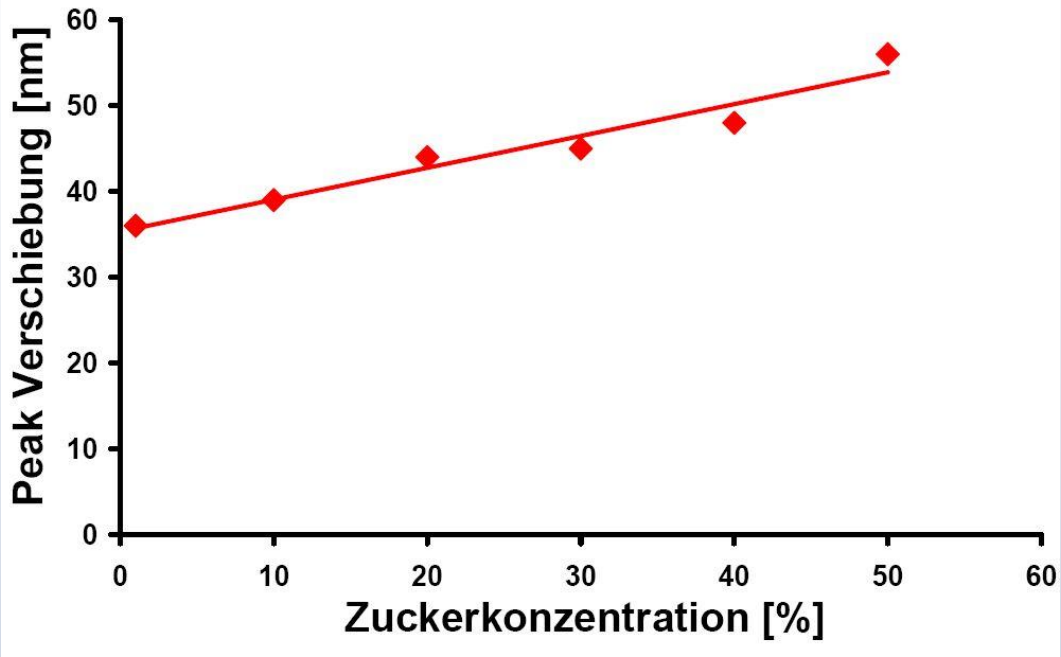
[*] Foto: Bernd Müller

Funktionstest

PHOTON^n

- Zuckerlösung





Wellenlängenverschiebung der oxidierten porösen Multischicht (DBR) für wässrige Lösung als Funktion der Zuckerkonzentration.

[*] Foto: Bernd Müller

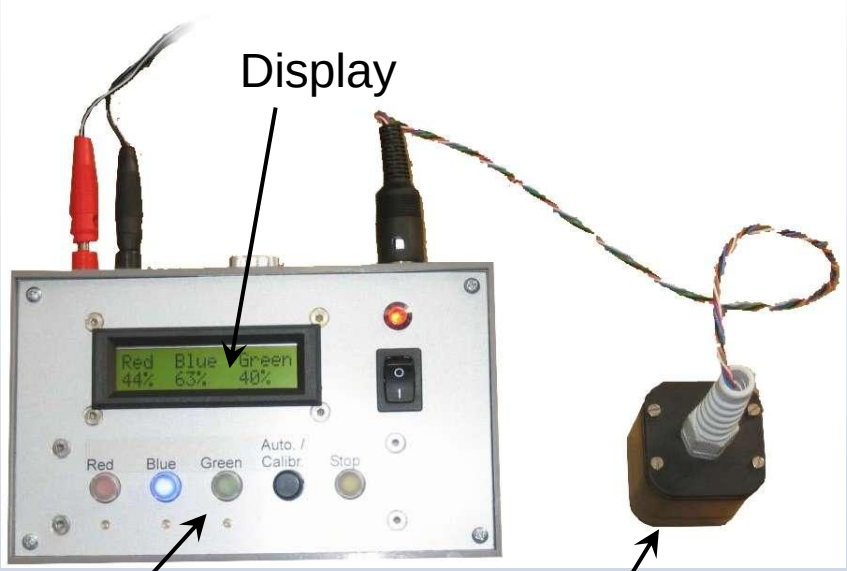
Überblick

- Grundkonzept
- Simulation der Multischichten
- Eigenschaften der Multischichten
- Optische Charakterisierung
- Funktionstest
- **Optisches Gesamtsystem**
- Zeitplan und weiteres Vorgehen
- Zusammenfassung

Optisches Gesamtsystem

PHOTON^n

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



- Kostengünstige Messmethode
- Echtzeitmessung
- Einzel- und kontinuierliche Messung
- Pulsbetrieb

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Funktionstest für Gasphase

PHOTON^n

Sensorprinzip grundsätzlich auf für Gasphase nutzbar:

Kapillarische Kondensation:

$r<r_k$ findet kapillarische Kondensation statt

$$r_k = -\frac{2\gamma M}{\rho RT \ln\left(\frac{P}{P_o}\right)}$$

r_k ..Kelvin Radius
γ...Oberflächenspannung
M..Molekulargewicht
T....Dichte des Dampfmoleküls
P....Dampfdruck
P_o ..Sättigungsdruck von Ethanol

r_k für Ethanol=17nm

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY ®

Überblick

- Grundkonzept
- Simulation der Multischichten
- Eigenschaften der Multischichten
- Optische Charakterisierung
- Funktionstest
- Optisches Gesamtsystem
- **Zeitplan und weiteres Vorgehen**
- **Zusammenfassung**

Zeitplan und Arbeitspakete

PHOTON^{n}

	Titel…	MM…	Meilensteine (date)
Monate 1-6:	*Design des Biosensors erreicht*	*3MM FU*	*Charakterisierte Sensorgrundstruktur Sensor-Readiness (12)*
*Monate 7-12**	*Technologieentwicklung DBR, erreicht*	*6MM FU*	
Monate 13-15	*Charakterisierung DBR in Bearbeitung*	*3MM AA*	
Monate 16-18	*Chip-Realisierung erreicht*	*3MM FU*	*Chip-Sensor: Test-Readiness (21)*
Monate 19-21	*Gesamtintegration erreicht*	*3MM FU*	
Monate 21-24	*Validierung des Biosensors an Referenzsubstanz in Vorbereitung*	*3MM FU, ILM UL*	*Sensorsystem validiert in Referenzanwendungen (24)*

*Verzögerter Beginn: Sommer 2008, seit 1.12.08 mit doppelter Kapazität

HOCHSCHULE FURTWANGEN UNIVERSITY

Weiteres Vorgehen

- Charakterisierung DBR
  FU und AA
- Validierung des optischen Systems an Biosubstanzen
  FU, ILM UL

Zusammenfassung

- Poröses Silizium wurde erfolgreich als optische Multischicht eingesetzt
- Eigenschaften des poröses Silizium wurden bestimmt
- Die Eigenschaften der optischen Multischichten wurden mit Macleod Simulationsprogramm analysiert
- DBR und doppel DBR mit Mikrokavität wurden aus porösen Schichten hergestellt
- Die spektralen Eigenschaften der Multischichten wurden gemessen
- Funktionalität der Multischichten wurde nachgewiesen
- Optisches Sensorsystem wurde aufgebaut und getestet
- Eigenschaften des Sensorsystem wurden bestimmt

Literatur

PHOTON^n

Eingereichte 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 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 Nanotechnology for Biomedical and Environmental Applications, Proceedings 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