

Polarisationsselektive InP MOEMS Filter mit Photonischen Kristallen

Thomas Kusserow*, Ricardo Zamora*, Matthias Wulf*, Ugur Akcakoca**, René Marklein**, Bernd Witzigmann**, Hartmut Hillmer*

*Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik (INA) und CINSaT, Universität Kassel

**Theorie der Elektrotechnik und Photonik (CEP) und CINSaT, Universität Kassel

<mailto:kusserow@ina.-uni-kassel.de>

Polarisationsselektive Filterelbauelemente basierend auf freihängenden InP Membranen und einer symmetriebrechenden periodischen Struktur werden vorgestellt. Theoretische Modellrechnungen, experimentelle Untersuchungen des Herstellungsprozesses und die Charakterisierung der Ergebnisse wurden durchgeführt und werden diskutiert.

1 Einführung

Optische MEMS Bauelemente bestehend aus freihängenden Indium Phosphid (InP) Membranen können aufgrund des hohen Brechungsindexkontrastes zu Luft (ca. 3,2:1) für hocheffiziente und aktiverbare Filter (Abbildung 1) eingesetzt werden [1]. Eine monolithische Integration mit Detektoren oder laseraktiven Komponenten ist hierbei ein weiterer Vorteil für Anwendungen im Nahinfrarotbereich.

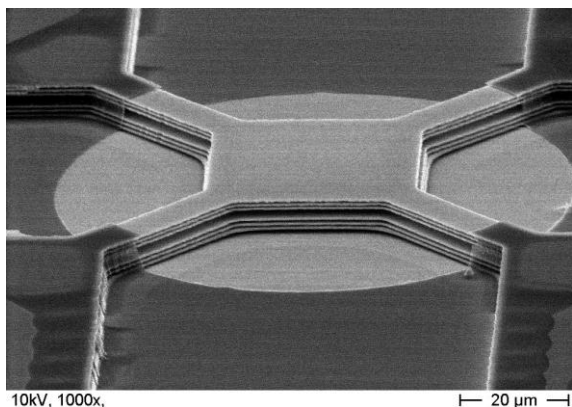


Abb. 1: Fabry-Pérot MEMS Filter bestehend aus InP/Luftspalt-DBR Spiegeln und Kavität (Luft).

Wir stellen die Entwicklung eines polarisationsselektiven Filterelements vor, das auf einer InP Einzelmembran basiert und zukünftig als Erweiterung eines Fabry-Pérot Filter eingesetzt wird. Der hierbei verwendete optische Effekt ist die Resonanz geführter Moden in einer hochbrechenden Schicht, die durch eine periodische Strukturierung mit symmetriebrechenden Eigenschaften eine deutliche Polarisationsabhängigkeit zeigt [2,3].

2 Theorie und Simulation

Die grundlegenden Eigenschaften einer Strukturierung mit Photonischen Kristallen (PhC), mit einem quadratischen Gitter und elliptischen Basiselementen wurde ermittelt. Die Güte der Resonanzen ist hierbei vom Füllfaktor der Gitterstruktur abhängig,

die spektrale Position wird zusätzlich durch die Gitterkonstante bestimmt [4,5]. Für den Entwurf eines polarisationsselektiven Filterelements wurde ein Viertel einer Einheitszelle mit periodischen Randbedingungen mit Hilfe der 3D FEM (Lumi3) berechnet. Durch Variation von Strukturparametern konnte eine Optimierung des Polarisationsfilters erreicht werden, wie in Abbildung 2 im markierten Bereich zu sehen ist.

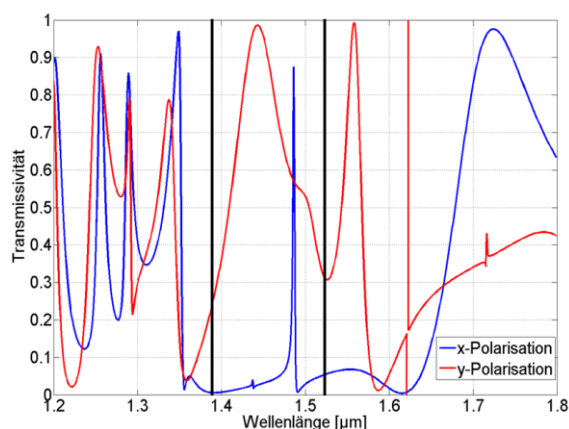


Abb. 2: Ergebnis der 3D FEM Simulationen für Photonische Kristalle mit elliptischen Elementen.

3 Experimentelle Untersuchung

Für die Herstellung der berechneten nanophotonischen Strukturen auf eine InP Membran wurde eine Kombination von direkt abtragender, fokussierter Ionenstrahl-(FIB)-Lithographie eines Hartmaskenmaterials und anschließendem reaktiven Ionenätzen (RIE) verwendet. Dieser Ansatz verbindet die Vorteile des FIB Prozesses (hohe Auflösung, keine Photolacke nötig, präzise Ausrichtung möglich) mit der hohen Geschwindigkeit eines RIE Vorgangs [6]. Die Strukturierung wird in einen MEMS Prozessablauf integriert, der die InP Membran mit Hilfe selektive Unterätzung und einer Kritisches-Punkt-Trocknung erzeugt. Entscheidend für die Qualität der Photonischen Kristalle ist vor allem die Wahl des Materials der Hartmaske. Wir ver-

wenden hierfür SiO_2 , das in einer PECVD bei $300\text{ }^\circ\text{C}$ abgeschieden wird, da eine Untersuchung von mehreren Metallen einen unerwünschten Textureffekt aufzeigte. Weiterhin wurden Untersuchungen zur Tiefätzung der Strukturen in das Halbleitermaterial und die Auswirkung der Photonischen Kristalle auf mechanische Verspannungen in einer freihängenden InP Struktur untersucht, um die hochqualitative Herstellung eines Polarisationsfilters zu ermöglichen.

4 Ergebnisse und Charakterisierung

Ergebnisse des beschriebenen Herstellungsprozesses sind in Abbildung 3 anhand einer polarisationsselektiven InP Membran mit Photonischen Kristallen zu sehen. Die Formtreue der elliptischen Elemente ist sehr hoch, die Seitenwände sind glatt und zeigen einen Winkel von 87° .

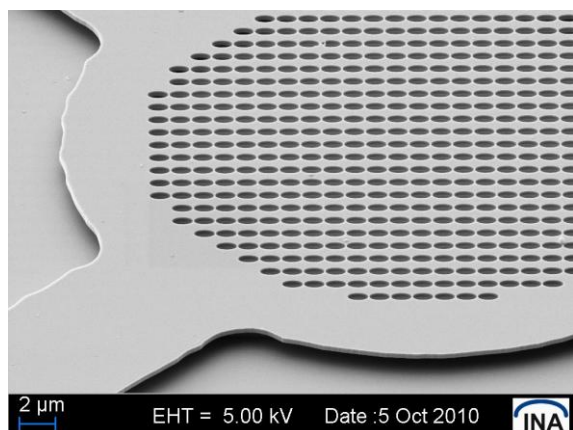


Abb. 3: Mit FIB und RIE hergestellte InP Einzelmembran mit PhC Struktur und Polarisationsselektivität.

Die polarisationsoptischen Eigenschaften wurden anhand von Reflexionsspektren charakterisiert. Der verwendete Messaufbau beinhaltet sowohl faser- wie auch freistrahloptische Komponenten und kann so an verschiedene Problemstellungen angepasst werden. In Abbildung 4 ist die Polarisationsselektivität eines Filters zu sehen, der in Transmission die X-Komponente unterdrückt.

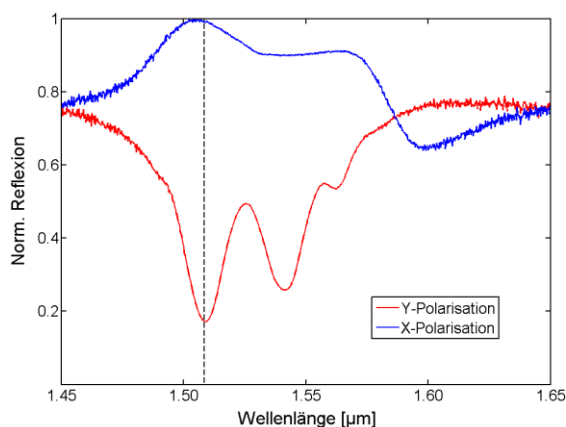


Abb. 4: Optische Charakterisierung der Polarisationsselektivität einer gefertigten PhC Einzelmembran.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Photonische Kristalle mit elliptischen Basiselementen bieten die Möglichkeit polarisationsselektive optische Elemente in InP Membranen herzustellen. Theoretische Untersuchungen und die experimentelle Umsetzung wurden vorgestellt. Die optische Charakterisierung der Proben zeigt die deutliche Unterdrückung einer Polarisationskomponente.

Abweichungen, die zwischen den berechneten und den gemessenen Spektren bestehen werden momentan untersucht, um die weiteren Entwurfsarbeiten zu optimieren. Die strukturierte Einzelmembran ist für die Integration mit einem InP/Luftspalt Fabry-Pérot Filter vorgesehen, der somit spektral schmalbandig, durchstimmbare und polarisationsselektiv sein wird.

6 Danksagung

Wir danken der DFG für die finanzielle Förderung der beschriebenen Arbeiten im SPP 1337 „Aktive Mikrooptik“. I. Kommallein, D. Gutermuth, J. Krumpholz, F. Messow und V. Daneker danken wir für technische Unterstützung und hilfreiche Diskussionen.

Literatur

- [1] Hasse, A., Irmer, S., Daleiden, J., Dharmarasu, N., Hansmann, S. and Hillmer, H.: "Wide continuous tuning range of 221 nm by InP/air-gap vertical-cavity filters." *Electronics Letters*, **42** (17), 974 (2006)
- [2] Boutami, S., Bakir, B. B., Leclercq, J. L., Hattori, H., Rojo-Romero, P., Letartre, X., Seassal, C., Garrigues, M. and Viktorovitch, P.: "Broadband and compact 2-D photonic crystal reflectors with controllable polarization dependence." *IEEE Phot. Technol. Lett.*, **18** (7), 835–837 (2006)
- [3] Kilic, O., Fan, S. and Solgaard, O.: "Analysis of guided resonance-based polarization beam splitting in photonic crystal slabs." *J. Opt. Soc. of America A*, **25** (11), 2680–92 (2008)
- [4] Fan, S. and Joannopoulos, J. D.: "Analysis of guided resonances in photonic crystal slabs." *Physical Review B*, **65** (23), 235112 (2002)
- [5] Kupec, J., Akçakoca, U., and Witzigmann, B.: "Frequency domain analysis of guided resonances and polarization selectivity in photonic crystal membranes." *J. Opt. Soc. of America B*, **28**, 69 (2010)
- [6] Zamora, R., Kusserow, T., Wulf, M., Kanwar, K., Witzigmann, B. and Hillmer, H.: "Structuring of 2D Photonic Crystal on InP Membranes as Polarizing Element for Optical MEMS Based Sensor Systems," *IEEE Proceedings of the INSS 2010*, 179-182 (2010)