

Durchstimmbare Fabry-Perot Filter auf der Basis von InP/Luft DBR-Spiegeln

Thomas Kusserow, Nethaji Dharmarasu, Sören Irmer und Hartmut Hillmer
Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik (INA) und Center for Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology (CINsaT), Universität Kassel, D-34132 Kassel
Tel +49-561-8044459, Fax +49-561-8044488, Email kusserow@ina.uni-kassel.de

Tetsuji Nakamura, Tetsuo Hayakawa and Balasubramanian Vengatesan
NanoTech Laboratory, Canare Electric Co. Ltd, 2888-1 Rikka, Kumabari,
Nagakute-cho, Aichi-ken, 480-1101 Japan

Wir stellen Filter in MOEMS Technologie vor, die aus zwei InP/Luftspalt DBR-Spiegeln bestehen, welche eine $\lambda/2$ oder λ Kavität einschließen. Durch den hohen Brechungsindexkontrast von 1:3.2 zwischen Luft und InP ergibt sich an den DBR-Spiegeln schon nach 2.5 Perioden eine Reflektivität von $>99.5\%$. Die Kavitätswellenlänge wird durch elektrostatische Aktuation der Spiegel durchgestimmt. Die Filter bieten zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten in den Gebieten Meß-, Laser- und Informationstechnik.

Stichwörter: InP, Luftspalt DBR, Durchstimmbare Filter, Photonische Kristalle, Gradientenverspannung

I. EINLEITUNG

Durchstimmbare Fabry-Perot Filter aus dem Bereich der Mikro-Opto-Elektro-Mechanischen Systeme (MOEMS) können in der Optischen Nachrichtentechnik als kanal-selektierende Elemente in DWDM Systemen sowie in der NIR-Spektroskopie und für vertikal emittierende Laser eingesetzt werden [1]. Durch die Skalierung der Strukturen in den Mikrometerbereich können nicht nur kleinste Kavitätslängen und parallele Prozessierung (auch als Arrays) ausgenutzt werden, das Verhältnis der physikalischen Kräfte bietet hier auch die Möglichkeit, Strukturen mit geringem Aufwand elektrostatisch zu aktuieren, bei gleichzeitig geringem mechanischem Verschleiß [2].

1. AUFBAU UND HERSTELLUNG DER FILTER

Um einen möglichst großen Durchstimmbereich sowie eine hohe Finesse, die für die Filtercharakteristik entscheidend ist, zu erreichen, werden als Spiegel Braggreflektoren (DBR), bestehend aus InP und Luftspalten, verwendet. Aufgrund des hohen Brechungsindexkontrastes von 1:3.2 bei 1550 nm ergeben sich für Spiegel mit mehr als 2.5 Perioden große Stopbandbreiten und Reflektivitäten von $>99.5\%$.

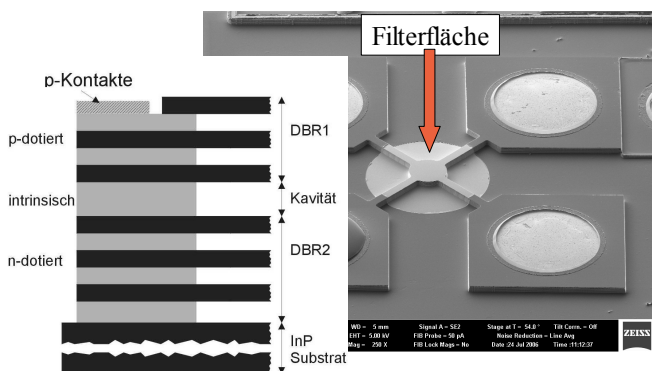


Abbildung 1: Schichtaufbau und Struktur der durchstimmbaren Filter.

Die Schichtfolge in Abb. 1 (links) wird epitaktisch gewachsen (MOCVD), wobei die schwarzen Schichten die InP Membranen zeigen und die grauen Bereiche GaInAs Schichten darstellen. Die Strukturen bestehen aus einer runden Filterfläche, die mit vier Verbindungsbrücken an Halteblöcken befestigt ist, die zusätzlich zur elektrischen Kontaktierung dienen. Bei unterschiedlicher Dotierung des oberen und unteren Spiegels kann durch Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung die Kavitätslänge und somit die Filterwellenlänge elektrostatisch durchgestimmt werden.

Zur Herstellung der Filterstrukturen wird die Form vertikal mittels Reaktivem Ionenätzen definiert und nachfolgend die GaInAs Opferschicht im Bereich der Filterfläche und der Verbindungsbrücken durch selektives naßchemisches Ätzen entfernt. Die verbleibende Flüssigkeit wird durch Trocknung oberhalb des kritischen Punkts aus den Membranzwischenräumen entfernt, um eine Zerstörung des Filters durch Kapillarkräfte zu vermeiden.

Besonderes Augenmerk muß bei den freihängenden Schichten auf die Schichtverspannung gelegt werden, um Verformungen der Membranen, die den Filter unbrauchbar

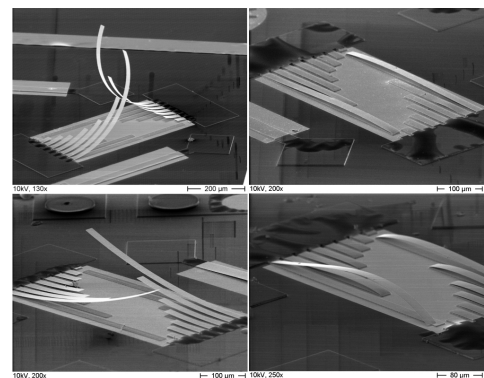


Abbildung 2: Auswirkung von kompressiver (links) und tensiler (rechts) Gradientenverspannung auf freihängende Teststrukturen (Cantilever).

machen würden, zu vermeiden. Da auch bei gitterangepasstem Wachstum Gradientenverspannung (Abb. 2) aufgrund von Arsenverschleppung zwischen GaInAs und InP Schichten nicht vollständig vermieden werden kann, muß dieser mit Hilfe von Kompensationsschichten entgegengewirkt werden [3]. Die Abhängigkeit der Gradientenverspannung von der Dicke dieser Schicht wurde in einer Reihe von Experimenten untersucht und ist in Abb. 3 dargestellt [4].

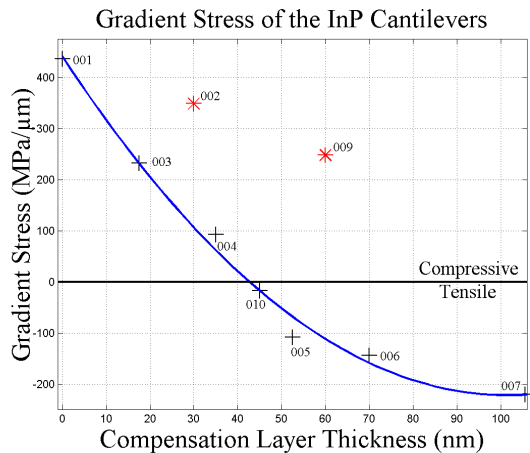


Abbildung 3: Abhängigkeit der Gradientenverspannung von der Dicke der Kompensationsschicht (blau). Durch Wahl einer geeigneten Schichtdicke können sowohl komprimierte als auch druck- oder zugverspannte Schichten hergestellt werden.

III. ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Mit den beschriebenen Methoden wurden Fabry-Perot Filterstrukturen für den Wellenlängenbereich um 1550 nm hergestellt, die aus zwei DBR-Spiegeln mit je 2.5 Perioden InP/Luft bestehen, welche eine $\lambda/2$ -Kavität einschließen. Die optischen und elektrischen Eigenschaften der Filter wurden in Bezug auf das Durchstimmverhalten charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen einen Durchstimmbereich von 142 nm (Abb. 4, links) bei einer sehr geringen Aktuonionsspannung von nur 3.2 V [5] sowie für eine weiterentwickelte Filterstruktur einen sehr weiten Durchstimmbereich von 221 nm (Abb. 4, rechts) bei einer Aktuonionsspannung von 28 V [6].

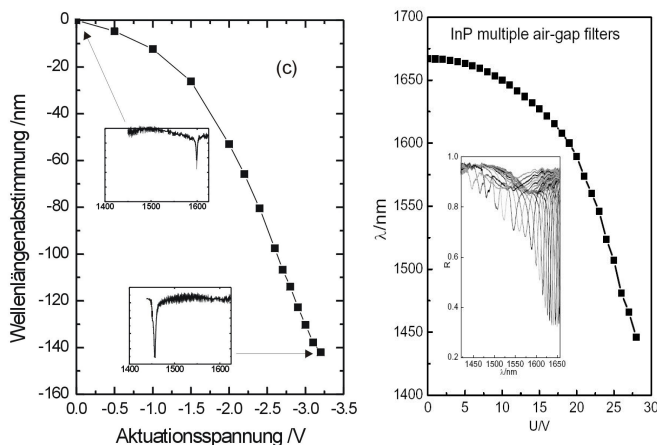


Abbildung 4: Durchstimmcharakteristik (nach [5,6]) für Filter mit sehr geringer Aktuonionsspannung von 3.2 V über einen Bereich von 142 nm (links) und für einen sehr großen Durchstimmbereich von 221 nm bei 28 V angelegter Spannung (rechts).

Um die Möglichkeiten der durchstimmbaren Filter zu erweitern, werden die Filterflächen mit nanooptischen Strukturen versehen. Diese ermöglichen auf den Polarisationszustand, die Strahlform oder die Unterdrückung bestimmter Moden Einfluß zu nehmen [7]. Beispiele hierfür sind in Form von Photonischen Kristallen und Zonenplatten in Abb. 5 dargestellt. Da für solche Strukturen die Form und Stabilität der Membranen von entscheidender Bedeutung sind, stellen solche Erweiterungen auch neue und größere Herausforderungen an die Prozeßtechnologie.

Weiterentwicklungen der Fabry-Perot Filter sind auch durch die Integration von Photodetektoren oder aktiven Medien vorgesehen, so daß solche Bauelemente auch weiterhin interessante Möglichkeiten in einem weiten Feld der Optik bieten.

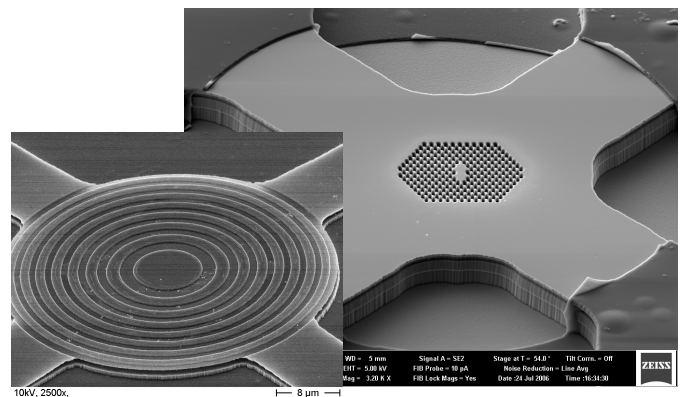


Abbildung 5: Strukturierung der Filterflächen mit diffraktiven optischen Elementen (links) oder Photonischen Kristallen (rechts).

DANKSAGUNG

Für die finanzielle Förderung danken wir der DFG (HI 763). Für die Mitarbeit und Unterstützung danken wir M.Bartels, J. Daleiden, S.Ferwana, D.Gutermuth, A.Hasse, C.Prott, I.Kommallein, F.Römer, J.Sonksen, M.Strassner, A.Tarraf, I.Wensch, M.Wulf.

LITERATUR

- [1] C. Prott, F. Römer, E. Ataro, J. Daleiden, S. Irmer, A. Tarraf, H. Hillmer: "Modeling of Ultra-Widely Tunable Vertical Cavity Air-Gap Filters and VCSELs", *IEEE J. of Select. Topics in Quantum Electron.*, 9, 918 (2003)
- [2] E. Ataro, C. Prott, F. Römer, and H. Hillmer: "Tailored scaling: a possibility to improve the performance of ultra-wide continuously tunable photonic devices." *Applied Physics, B*, 79, 87 (2004)
- [3] M. Strassner, J. Daleiden, N. Chitica, D. Keiper, B. Stalnacke, S. Greek, K. Hjort: "III-V semiconductor material for tunable Fabry-Perot filters for coarse and dense WDM systems." *Sensors and Actuators A* 85 (2000) pp. 249-255
- [4] T. Kusserow, N. Dharmarasu, H. Hillmer, T. Nakamura, T. Hayakawa and B. Vengatesan: "Tailored Stress in InP/GaInAs Layers for InP/air-gap DBR-Filters with Photonic Crystals" *Proceedings Optical MEMS* pp.88-89, (2006)
- [5] S. Irmer, J. Daleiden, V. Rangelov, C. Prott, F. Römer, M. Strassner, A. Tarraf, H. Hillmer: "Ultra low biased widely continuously tunable Fabry-Pérot Filter." *IEEE Phot. Technol. Lett.* 15, (2003), pp. 434-436
- [6] A. Hasse, S. Irmer, J. Daleiden, N. Dharmarasu, S. Hansmann and H. Hillmer: "Wide continuous tuning range of 221 nm by InP/air-gap vertical-cavity filters." *Electron. Lett.* 42, 974 (2006)
- [7] S. Boutami, B. Ben Bakir, J.-L. Leclercq, X. Letartre, P. Rojo-Romeo, M. Garrigues, I. Sagnes, L. Legratiet, and M. Strassner: "Highly selective and compact tunable MOEMS photonic crystal Fabry-Perot filter." *Optics Express*, Vol. 14, No. 8, (2006), pp. 3129-3137