

Planare Optik und Mikrofluidik für lab-on-a-chip-Systeme

Matthias Gruber, Christian Bonerz

Juniorprofessur für Optische Mikrosysteme, FernUniversität in Hagen

<mailto:Matthias.Gruber@fernuni-hagen.de>

Ein planarer Integrationsansatz für lab-on-a-chip-Systeme wird vorgeschlagen und experimentell demonstriert. Er basiert auf mikrofluidischer Aktorik mittels akustischer Oberflächenwellen und planar-integrierter Freiraumoptik.

1 Einführung

Miniaturisierung und Automatisierung sind in jüngerer Zeit auch für die Biowissenschaften immer wichtiger geworden. Der Trend geht dahin, biochemische Prozessabläufe möglichst vollständig auf einer standardisierten mikrotechnologischen Plattform zu integrieren und zu parallelisieren, das Schlagwort lautet dabei "lab-on-a-chip" (LOC) [1]. Da man es fast immer mit flüssigen Reagenzien bzw. mit Proben in flüssiger Umgebung (Lösungen, Suspensionen) zu tun hat, sind mikrofluidische Funktionalitäten bei LOCs essentiell. Das gleiche gilt für optische Funktionalitäten, denn darauf basieren neben den Beobachtungs- auch viele Analyse- und Nachweisverfahren. Nachfolgend wird eine planare Integrationsplattform für diese beiden Funktionalitäten vorgeschlagen. Zur Demonstration des Prinzips stellen wir einfache LOC-Module vor, die einen in sich geschlossenen Strömungskanal mit einer planaren, auf Ultraschall basierenden Mikropumpe sowie speziell angepasste mikrooptische Systeme zur Realisierung mikroskopischer Beleuchtungsschemata (Hellfeld, Dunkelfeld) enthalten.

2 Mikrofluidische Aktorik mit Ultraschall

Ein eleganter mikrofluidischer Antriebsmechanismus basiert auf einem speziellen Typ von Ultraschallwellen, sog. surface acoustic waves (SAW). Dabei handelt es sich um Eigenschwingungen von Festkörpern, die auf den oberflächennahen Bereich begrenzt sind (die charakteristische Eindringtiefe liegt in der Größenordnung der SAW-Wellenlänge). Besonders gut geeignet sind SAW vom Rayleigh-Typ, bei denen, ähnlich wie bei Wasserwellen, Auslenkungen orthogonal und tangential zur Oberfläche erfolgen. Rayleigh-Wellen können sehr einfach auf piezoelektrischen Kristallen (hier: LiNbO_3 in 128° y-Orientierung) mit Hilfe von ineinander greifenden Elektrodenkämmen (sog. Interdigital-Transducern, IDT) erzeugt werden. Legt man an diese eine RF-Spannung mit der Resonanzfrequenz $f = v_{\text{SAW}} / \lambda_{\text{SAW}}$ des IDT an, dann werden Kristallschwingungen angeregt und zwei gegenläufige SAW abgestrahlt (vgl. Abb. 1).

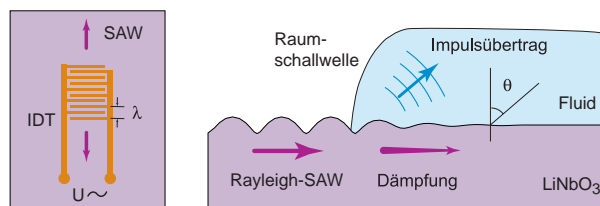


Abb. 1 Anregung von SAW mittels IDT und Prinzip der mikrofluidischen Aktorik mittel Rayleigh-SAW.

Der mikrofluidische Antriebsmechanismus [2] ist in Abb. 1 rechts dargestellt. Er erfordert die akustische Kopplung des Fluids an die Oberflächenwelle, am einfachsten geht dies durch direkten physischen Kontakt. Die SAW regt dann im Fluid eine Körperschallwelle (BAW) an und wird dadurch stark gedämpft. Die Ausbreitungsrichtung der BAW ist durch das Brechungsgesetz festgelegt,

$$\sin \theta = \frac{v_{\text{Fluid}}}{v_{\text{SAW}}} \quad (1)$$

in welches die beiden Ausbreitungsgeschwindigkeiten eingehen, wobei typischerweise $v_{\text{SAW}} \gg v_{\text{Fluid}}$ gilt. Durch den Schalldruck der BAW wird nun Impuls auf das Fluid übertragen, was zum Mischen oder Pumpen ausgenutzt werden kann; dabei kommt man völlig ohne bewegliche Teile wie Ventile aus, das Prinzip ist einfach und betriebssicher.

3 Planare LOC-Integrationsplattform

Wegen seiner Kompatibilität mit planaren Fertigungsmethoden eignet sich der obige Antriebsmechanismus hervorragend für die vorgeschlagene planare LOC-Integrationsplattform; Abb. 2 zeigt deren Grundschemata, hier mit einer fluidischen, einer elektronischen und einer optischen Schicht;

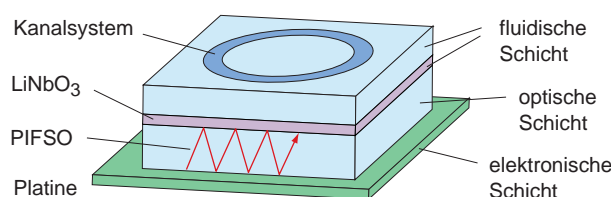


Abb. 2 Grundschemata der LOC-Integrationsplattform.

letztere basiert auf dem Konzept der planar-integrierten Freiraumoptik (PIFSO) [3], bei dem optische Systeme in ein transparentes Substrat "hingefaltet" werden.

4 Faser-beleuchteter LOC-Demonstrator

Der Entwurf eines ersten experimentellen Demonstrators [4] des o.g. Plattformkonzepts ist in Abb. 3 skizziert. Das Modul enthält einen Torusartigen Strömungskanal, eine SAW-Pumpe und eine optische Schicht; deren Funktion ist die homogene Ausleuchtung des Strömungskanals für mikroskopische Hellfeld-Beobachtungen, dabei wird Licht von einer externen Weißlichtquelle über Kunststofffasern (POF) zugeführt und über Spiegel und Diffusoren in den Kanal gelenkt.

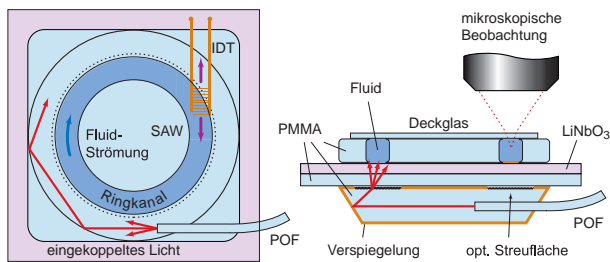


Abb. 3 Schema des experimentellen LOC-Demonstrators mit Lichteinkopplung per POF.

5 LED-beleuchteter LOC-Demonstrator

In einem zweiten Schritt wurde der experimentelle Demonstrator um eine elektronische Platine erweitert (Abb. 4). Auf dieser befinden sich superhelle weiße LEDs samt Ansteuerung (wahlweise cw oder gepulst) als Ersatz für die Lichtzufuhr über POFs. Außerdem enthält sie eine geregelte Widerstandsheizung für den Strömungskanal.

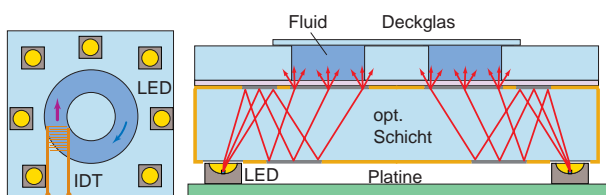


Abb. 4 Schema des LED-basierten LOC-Demonstrators mit zusätzlicher elektronischer Schicht.

6 Herstellung

Bei der Herstellung der Demonstratoren kamen planare und feinmechanische Verfahren zum Einsatz. Die IDT-Elektroden wurden lithographisch von einer Maske kopiert und durch thermisches Aufdampfen und Lift-off in eine dünne Al-Struktur überführt (Abb. 5). Die PIFS-Systeme und der Strömungskanal wurden in PMMA gedreht/gefräst. Anschließend wurden die einzelnen Schichten aufeinander justiert und verklebt. Abb. 6 zeigt beide Demonstrator-Varianten im fertigen Zustand vor der Befüllung des Strömungskanals.

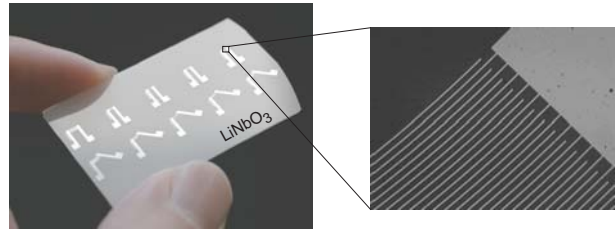


Abb. 5 Lithographisch gefertigte IDTs aus Aluminium.

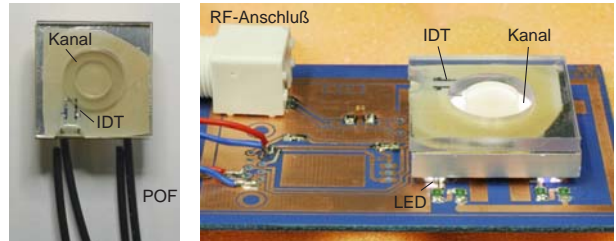


Abb. 6 Fertige experimentelle Demonstratoren, links die Variante mit POFs, rechts die mit LEDs.

7 Experimente

Für einen ersten Strömungstest wurde der Kanal mit einer Suspension aus Wasser und zerriebener Asche befüllt, die Mikropumpe eingeschaltet und die Bewegung des Fluids beobachtet. Wie man an den Momentaufnahmen von Abb. 7 sehen kann, stellte sich das für Rohrströmungen typische parabolische Geschwindigkeitsprofil ein.

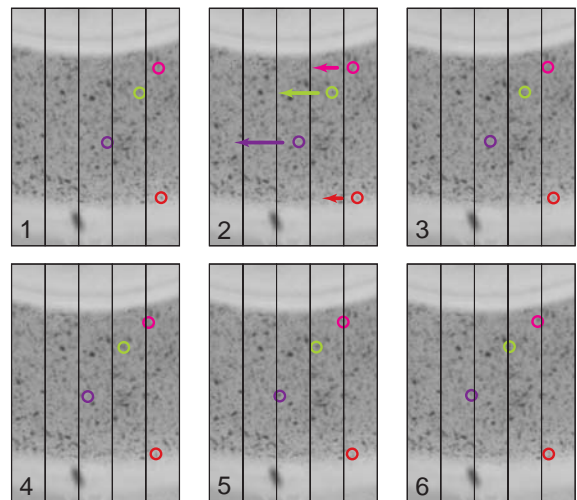


Abb. 7 Momentaufnahmen eines strömenden Fluids.

Literatur

- [1] R. Zengerle et al., *Proc. Micro Systems Technology Congress 2007*, ISBN 978-3-8007-3061-2 (2007) 449.
- [2] A. Wixforth: *Superlattices and Microstructures* **33** (2004) 389.
- [3] J. Jahns, K.-H. Brenner (eds.): *Microoptics – From Technology to Applications*, pp. 225-252, 2004, Springer.
- [4] M. Gruber et al., *Proc. SPIE* **6589** (2007) 65890E1.