



Mikrofluidik und integrierte Optik für die Raumfahrt

Henk Leeuwis
Dominique Bouwes

Das A und O in der Raumfahrt ist die Reduzierung von Volumen, Gewicht und Energie. Aus diesem Grund wächst das Interesse an der Mikro- und Nanotechnologie, wobei die Bereiche Mikrofluidik und integrierte Optik an Bedeutung gewinnen. Wichtige Anwendungen sind Lab-on-a-Chip-Systeme für wissenschaftliche Experimente und das Monitoring von Astronauten sowie optische Chips für die Signalverarbeitung bei der Telekommunikation.

Integrierte Optik für die Signalverarbeitung

Von besonderem Interesse sind planare Lichtwellenleiter (flache Glasfaserkabel auf einem Chip) und die damit verbundenen Möglichkeiten. Abbildung 1 illustriert die Basisgeometrie. Die Realisierung erfolgt mittels CMOS-kompatibler Technologien, bekannt durch die Mikroelektronik, wodurch bei großen Stückzahlen kostengünstig produziert werden kann. Dies gilt für zwei unterschiedliche Basisgeometrien: zum einen für die linke Geometrie mit dem quadratischen Kern, die von der Form her nahezu identisch mit einem runden, optischen Standard-Wellenleiter und dadurch für Telekommunikationsanwendungen geeignet ist. Die zweite, rechts abgebildete Geometrie mit dem flachen Kern eignet sich für Sensor- und Detektionsanwendungen, die auf der Wechselwirkung zwischen Lichtwellenleiter und Flüssigkeit oder Gas basieren. Das Besondere an dieser Technologie ist, dass durch die Anwendung von Siliziumnitrid (SiN) ein großer Brechungsindexunterschied zwischen Kern und Mantel realisiert werden kann. Dadurch bleibt der Übergang auch in kurzen Kurven spiegelnd und somit das Licht innerhalb der Struktur. Die planaren Lichtwellenleiter aus SiN können im Gegensatz zu Standard-Glasfasern aus Si-

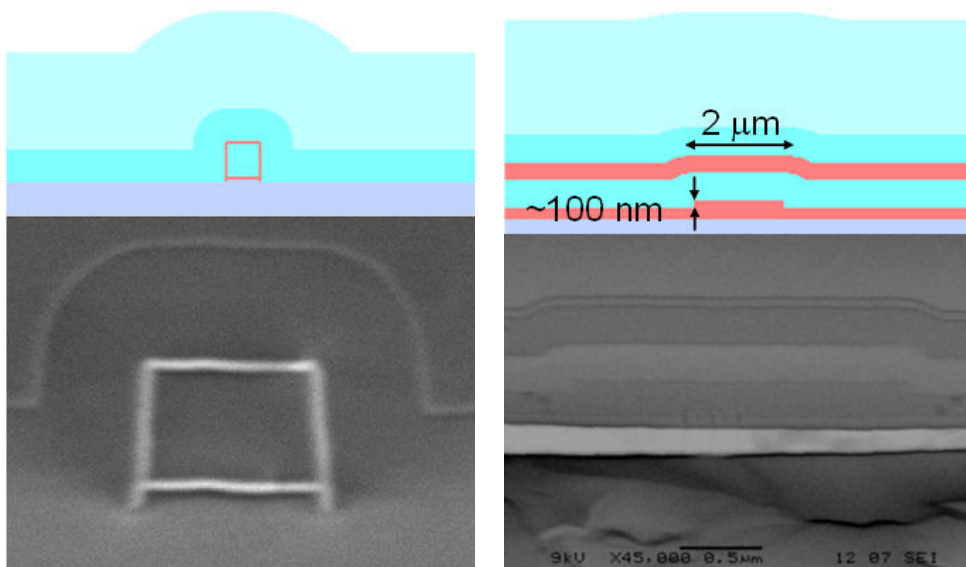


Abbildung 1: Querschnitt eines planaren Lichtwellenleiters; oben schematisch, unten eine REM-Aufnahme. Bei den roten beziehungsweise hellgrauen schematischen Bereichen handelt es sich um circa 100 nm Siliziumnitrid (SiN), das in Siliziumdioxid (SiO₂) eingebettet ist. Quelle: XIO Photonics bv.

liziumpoxid (SiO) kürzere Kurven überwinden, was für die Integration vieler Funktionen auf einem Chip notwendig ist.

Abbildung 2 zeigt einen so genannten Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM), der auf Mikroringresonatoren (MRR) basiert. Der Ringresonator als optisches Gegenstück zum

Transistor kann optische Energie, die zur Resonanzfrequenz passt, speichern und wieder abgeben. Das bedeutet, dass eine spezielle Wellenlänge von einem einkommenden Lichtspektrum (I_{in}) nach I_{drop} transportiert wird, während eine andere Frequenz direkt durchgeht ($I_{through}$). In diesem System kann eine definierte Frequenz nach Belieben zu unterschiedlichen Ausgängen/Verbindungen geleitet werden, bei-

spielsweise Internetverbindungen („fiber-to-the-home“). Die dargestellten Ringe haben einen Durchmesser von 50 µm, wodurch ein „Photonic LSI (Large Scale Integration) System-on-a-Chip“ realisiert wird.

Die Raumfahrt verspricht sich viel von dieser Technologie. An Bord von Telekommunikationssatelliten wurden bis jetzt alle Funktionen durch spezielle

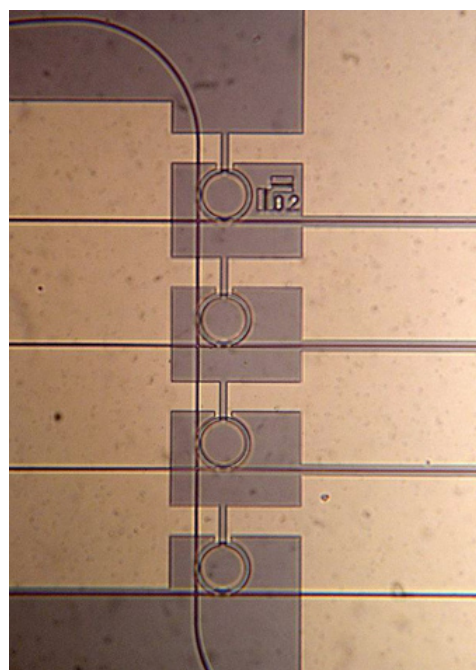


Abbildung 2: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM). Quelle: Lionix BV.



hochfrequente Mikroelektronik verwirklicht. Die stetig wachsende Nachfrage nach schnelleren Datenraten und höheren Bandbreiten macht die Anwendung von optischen Datenprozessen interessant.

Miniaturisierte Analysesysteme (Lab-on-a-Chip)

Mit Hilfe der Mikro- und Nanotechnologie lassen sich allerlei miniaturisierte Strukturen und Funktionen verwirklichen, wie zum Beispiel Kapillaren, Kanäle, Mixer, Filter, Ventile, Pumpen, Detektoren und Sensoren. Damit sind komplette analytische Systeme realisierbar, die kompakt und schnell sind sowie automatisiert werden können. Abbildung 3 gibt die Basisidee wieder. Der große Vorteil der Lab-on-a-Chip-Technologie ist, dass sie zeitraubende und teure Laborprozesse einspart und schnelle Diagnostik, Detektion von Bakterien in Lebensmitteln oder Wasser sowie unterschiedliche Analysen im Umweltbereich möglich macht. Diese Entwicklungen werden stark durch die Nachfrage aus der Raumfahrtindustrie gefördert. Die Anwendungsgebiete sind ganz unterschiedlich; sie reichen von der Detektion von Pathogenen über das Monitoring von Astronauten bis hin zu Systemen, die lebende Organismen auf dem Mars finden sollen.

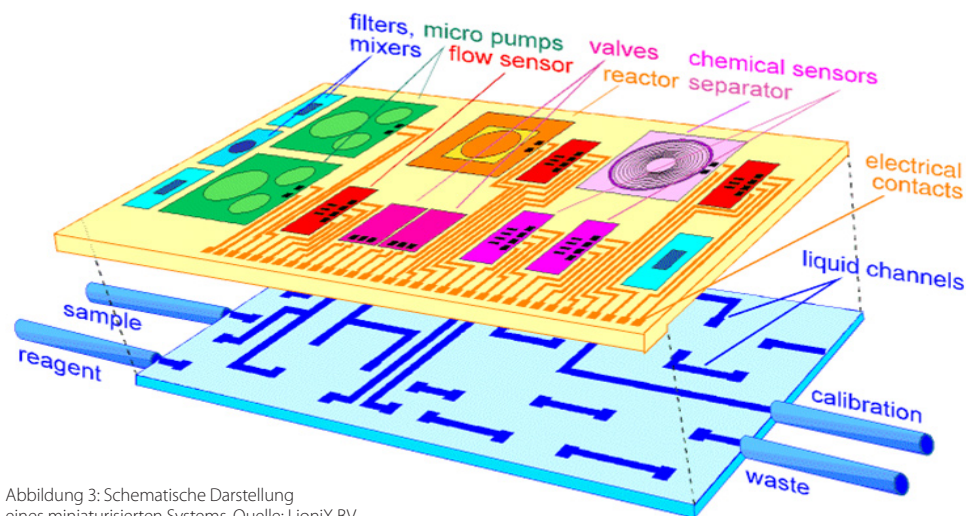


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines miniaturisierten Systems. Quelle: LioniX BV.

2016 plant die Europäische Weltraumorganisation ESA die Mission ExoMars, bei der zum ersten Mal ein Detektionssystem für Biomoleküle mitreist, welches auf der Lab-on-a-Chip-Technologie, Vertiefungsrichtung Life Sciences, beruht. Die Herausforderung besteht darin, mit Unterstützung der Mikro- und Nanotechnologie zu miniaturisieren und zu automatisieren. Ein Beispiel hierfür ist der Life Marker Chip

(LMC), basierend auf einem optischen Chip, eingebettet in ein mikrofluidisches System in Form eines Mikroarrays. In einem einzigen Analysedurchlauf ist hier eine große Zahl an potenziellen Treffern zur Erkennung von definierten Biomolekülen möglich. In Abbildung 4 ist das Herz des LMC-Systems dargestellt.

Das Mikroarray besteht aus einem optischen Substrat mit zahlreichen Antikörpern, die auf unterschiedliche Biomoleküle ansprechen (links vom Mikroarray eine schematische Darstellung der darunter liegenden Lichtwellenleiter). Spricht ein Antikörper auf ein Biomolekül an, so wird der Spot durch Fluoreszenz sichtbar. Das Halbleiterlaserlicht wird mittels einer planaren Lichtwellenleiterstruktur gezielt über die einzelnen Mikroarrayzeilen, die mit den Antikörpern versehen sind, verteilt. Ein Chip, ähnlich wie er in Videokameras eingesetzt wird, liest das Signal aus. Dank der planaren Lichtwellenleitertechnologie wird die Detektion optimiert und zum anderen komprimiert, wodurch kompakte Systeme möglich werden. Herausfordernd sind Größe und Gewicht der einzelnen Einheiten: Kleiner als ein Päckchen Zigaretten und leichter als 150 Gramm sind hier die Vorgaben.

LioniX BV, Enschede (NL)
www.lionixbv.nl

iX-factory GmbH, Dortmund
www.ix-factory.de

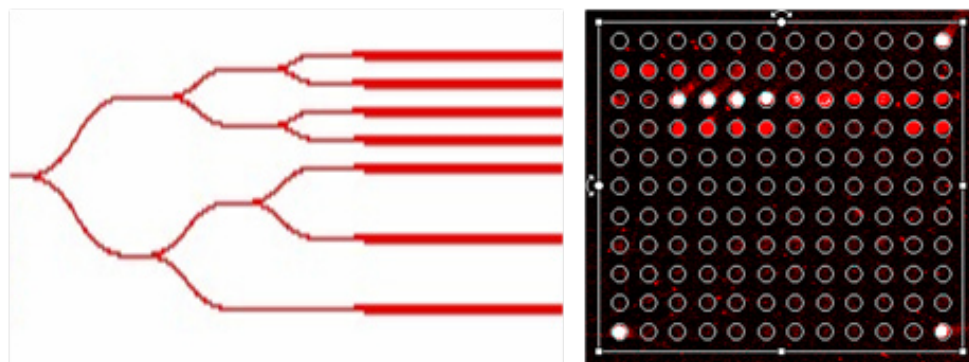
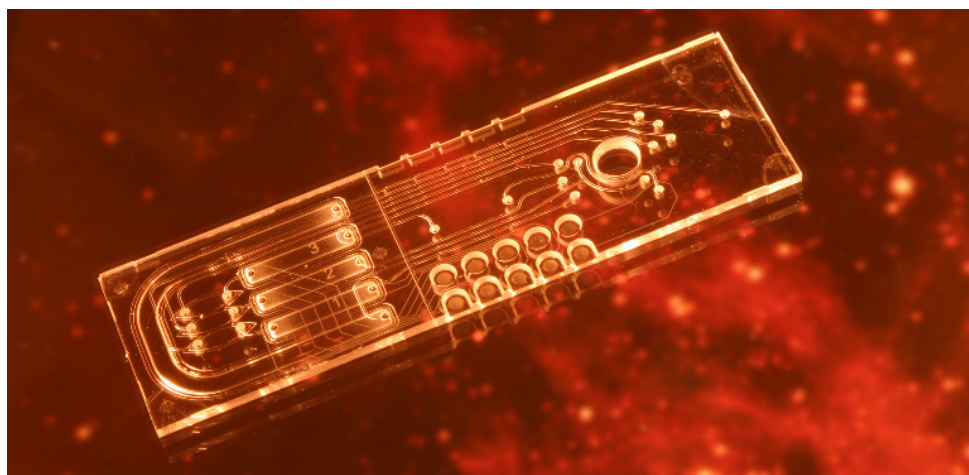


Abbildung 4: Life Marker Chip – mikrofluidisches Modul (oben) und Darstellung des Mikroarrays mit Fluoreszenz-Detektion (unten). Der Durchmesser des Detektionsspots beträgt 100 µm. Quelle: LioniX BV.