

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	93 (2002)
<b>Heft:</b>	11
<b>Artikel:</b>	SiON-Wellenleiter
<b>Autor:</b>	Bona, Gian-Luca / Germann, Roland / Offrein, Bert Jan
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-855422">https://doi.org/10.5169/seals-855422</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SiON-Wellenleiter

## Wellenleiter mit hohem Brechungsindexkontrast und planare, integrierte optische Bauelemente

Der schnell expandierende Markt für optische Kommunikation verlangt nach photonischen Bauteilen mit immer grösserer Funktionalität und Komplexität, welche zudem zuverlässig und kostengünstig hergestellt werden können. Von den verschiedenen technischen Konzepten für die Herstellung solcher Komponenten zeichnen sich vor allem die auf planaren Wellenleiterbasierenden Technologien durch ihre hohe Leistungsfähigkeit aus. In diesem Beitrag wird eine einmodige optische Wellenleitertechnologie vorgestellt, bei der das Wellenleiterkonzept auf einer Siliziumoxinitrid(SiON)-Kernschicht sowie Siliziumdioxid-Mantelschichten basiert und mit herkömmlichen Methoden zur Chipherstellung realisiert werden kann.

Die nachfolgend beschriebene neuartige, planare optische Wellenleitertechnologie mit hohem Brechungsindexkontrast beruht auf einer Kernschicht aus Siliziumoxinitrid und Mantelschichten aus Siliziumoxid.

Dank der starken Führung des optischen Wellenfeldes und den daraus resultierenden kleinen Krümmungsradien ist die Herstellung von optischen Filterfunktionen

*Gian-Luca Bona, Roland Germann,  
Bert Jan Offrein*

mit grösserer Funktionalität möglich, wie sie in Datennetzen mit hohen Übertragungsraten benötigt werden. Als Beispiele werden sowohl ein rekonfigurierbares Filter zur Glättung des Spektrums eines optischen Verstärkers als auch ein adaptiver Dispersionsskompensator vorgestellt.

### Der heutige Stand der Technik

Die Datenübertragungskapazität in optischen Kommunikationssystemen hat in den vergangenen Jahren enorm zugenommen, um die Nachfrage im rasch expandierenden Telekommunikationsbereich zu befriedigen. Kommerzielle Zeitmultiplexsysteme erlauben bereits Datenraten von bis zu 10 Gb/s, und Systeme mit Datenraten von 40 Gb/s befinden sich an der Schwelle zur Kommerzialisierung [1].

Die Übertragungskapazität einer Glasfaser lässt sich auch durch den Einsatz von Wellenlängenmultiplex (WDM<sup>1</sup>) erhöhen.

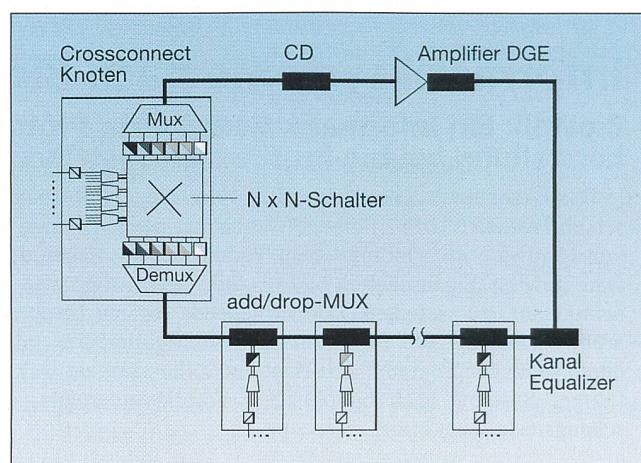
Dabei werden auf einer Faser bis zu 40 Kanäle unterschiedlicher Wellenlänge im infraroten Spektralbereich von 1550 nm übertragen. Das verwendete Wellenlängenfenster ist durch die Verfügbarkeit von Erbium-dotierten Glasfaserverstärkern gegeben. Die Signalverstärkung erfolgt optisch und ermöglicht Transparenz für unterschiedliche Bitraten und Datenformate. Solche WDM-Übertragungssysteme kommen vor allem in Weitverkehrsnetzen (WAN<sup>2</sup>) zum Einsatz, werden aber zunehmend auch in Städtenetzen (MAN<sup>3</sup>) und firmeninternen, lokalen Netzen (CPN<sup>4</sup>) verwendet [2]. Dabei werden, ausgehend von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, immer häufiger Ringstrukturen [3] verwendet (siehe Bild 1).

Die Entwicklung tendiert hin zu stark vernetzten, optisch transparenten Netzwerken<sup>5</sup>. Der Fortschritt zu mehr Komplexität wird dabei durch die Verfügbarkeit der notwendigen optischen Bauteile in grosser Stückzahl und zu niedrigen Preisen bestimmt. Für WDM-Systeme benötigt man neben den aktiven Bauteilen wie Laser und Empfänger auch eine Vielzahl passiver Bauelemente. Dazu gehören WDM-Multiplexer und -Demultiplexer, welche alle Wellenlängen eines WDM-Signals auf einer Glasfaser nach der Wellenlänge sortiert auf verschiedene Fasern aufteilen und umgekehrt, sowie so genannte WDM-Add/Drop-Filter, die eine einzelne oder mehrere Wellenlängen aus einem WDM-Datenstrom entfernen oder einfügen können.

Für grosse Übertragungsstrecken oder höhere Datenraten sind weitere Bauteile wie optische Verstärker, welche allerdings eine nicht uniforme spektrale Verstärkung aufweisen, und entsprechend auch Filter zur Verstärkungsglättung (GE<sup>6</sup>) notwendig. Um flexibel auf Fluktuationen in der Netzauslastung reagieren zu können, müssen Gain-Equalizer dynamisch rekonfigurierbar sein (DGE<sup>7</sup>). Werden optische Signale über Glasfasern übertragen, treten sowohl chromatische Dispersion wie auch Polarisationsdispersion (PMD<sup>8</sup>) auf, welche bei niedrigen Datenraten durch den Einsatz von Spezialfasern passiv kompensiert werden können. Bei WDM-Übertragung über längere Strecken mit 10 Gb/s oder sogar 40 Gb/s müssen jedoch aktive Kompensationssysteme eingesetzt werden.

Bild 1 Ein einfaches WDM-Netz für Übertragung über lange Distanzen

Nebst den Grundfunktionen wie opto-elektronische Umwandlung und WDM-(De)multiplexen sind zusätzliche Funktionen wie optische Verstärkung (Amplifier) und deren Glättung (DGE) sowie die Kompensation von chromatischer Dispersion (CD) und Polarisationsmodendispersion notwendig. Die WDM-Add/Drop-Multiplexer haben entweder fixe oder rekonfigurierbare Wellenlängen.



Zur Herstellung der benötigten optischen Komponenten existiert heute eine Vielzahl von Technologien. Aktive Bauteile wie Laser, Detektoren, Hochgeschwindigkeitsmodulatoren oder elektro-optische Pulsregeneratoren werden aus III/V-Halbleitern hergestellt. Für passive Bauelemente werden verschiedenste Technologien verwendet. Dazu gehören der aufwändige und teure dreidimensionale Aufbau der Bauteile aus optischen Einzelkomponenten wie Linsen, Prismen und Gittern, oder planare, zweidimensionale Wellenleitertechnologien, basierend auf Materialien wie Gläsern, polymeren Halbleitern oder  $\text{LiNbO}_3$ <sup>9</sup>. Die Herstellung von planaren Lichtwellenleiterschaltkreisen aus dotiertem Siliziumdioxid auf Siliziumsubstraten ist hierfür besonders Erfolg versprechend, weil sie auf bewährte Methoden zur Herstellung von elektronischen Chips zurückgreift und somit den Weg zur kostengünstigen Massenfabrikation eröffnet. Erste, auf dieser Technologie beruhende Bauteile sind heute in grösseren Stückzahlen kommerziell erhältlich. Dazu gehören WDM-Multiplexer und -Demultiplexer mit hervorragenden optischen Leistungsdaten.

Durch Dotierung mit Germanium, Phosphor oder Titan erhält man für die Kernschicht einen im Vergleich zu den Mantelschichten höheren Brechungsindex. Rechteckige oder quadratische Kanalstrukturen mit sehr guten optischen Eigenschaften können so hergestellt werden. Aufgrund der guten Übereinstimmung zwischen der Grösse der optischen Moden der Wellenleiter und der einmodigen Standardfaser lassen sich sehr geringe Kopplungsverluste erzielen. Dazu wird das flache Spaltende der Faser aktiv auf die Wellenleiterfacette<sup>10</sup> ausgerichtet und die Faser mit einem transparenten Epoxyleim fixiert.

Der so genannte Indexkontrast  $\Delta = (n_{\text{Kern}} - n_{\text{Mantel}})/n_{\text{Kern}}$  ist der relative Unterschied zwischen den Brechungsindizes von Kern- und Mantelschichten und ist ein wichtiger Parameter zur Kontrolle verschiedener optischer Eigenschaften des Wellenleiters. In der konventionellen Technologie, welche an einmodige Standardfasern angepasst ist, liegen typische Werte für  $\Delta$  bei 0,3%. Der Kontrast kann durch das Dotierungsverhältnis beeinflusst werden und bestimmt die Grösse des Modenfeldes sowie den kleinsten möglichen Krümmungsradius eines Wellenleiters, bei dem noch keine optischen Strahlungsverluste auftreten. Bei einem  $\Delta$  von 0,3% sind Krümmungsradien bis etwa 20 mm möglich, was die Anwendbarkeit und Skalierbarkeit dieser Technologie stark einschränkt. Für komplexe optische Funktio-

nalitäten und hohe Integrationsdichten ist deshalb eine Technologie mit deutlich höherem Indexkontrast und damit kleinerem Krümmungsradius nötig.

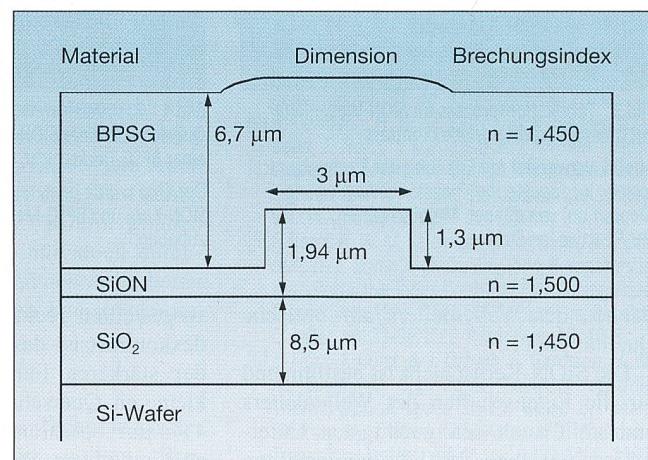
### SiON-Technologie für planare Wellenleiter

Dieser Beitrag beschreibt die Herstellung von Wellenleitern mit sehr viel höherem Indexkontrast unter Verwendung einer Kernschicht aus Siliziumoxinitrid (SiON) und Mantelschichten aus Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ). Dieses Materialsystem erlaubt eine grosse Flexibilität im Wellenleiterdesign. Das Verhältnis von Stickstoff zu Sauerstoff in der Kernschicht kann kontinuierlich verändert werden, und zwar über die gesamte Spanne im Brechungsindex von  $\text{SiO}_2$  mit 1,45 bis zu dem von Siliziumnitrid mit fast 2. Somit kann der Brechungsindexkontrast des Wellenleiters über den ganzen Bereich vom niedrigen Kontrast für faserangepasste Technologien bis hin zu sehr grossen Kontrasten, wie sie bei Halbleiterstrukturen auftreten, variiert werden. Nachfolgend wird die SiON-Technologie genauer beschrieben.

Bild 2 zeigt einen schematischen Querschnitt eines SiON-Wellenleiters mit hohem Indexkontrast sowie die Designparameter. Die SiON-Kernschicht ist umgeben von einer unteren Mantelschicht aus  $\text{SiO}_2$  und einer oberen aus Bor- und Phosphor-dotierten  $\text{SiO}_2$  (BPSG<sup>11</sup>). Die Verwendung eines SiON-Kerns mit 7 bis 8 mol% Stickstoff ermöglicht einen absoluten Indexkontrast von 0,05 bzw.  $\Delta = 3,3\%$ . Dies erlaubt einen minimalen Krümmungsradius von 0,55 mm mit weniger als 0,1 dB Verlust bei einem Krümmungswinkel von 90°. Der Krümmungsradius ist damit um mehr als einen Faktor 20 kleiner als in einer Standardtechnologie, was die Realisierung von erheblich kleineren optischen Strukturen ermöglicht.

**Bild 2 Schematischer Querschnitt des Wellenleiters und die Zielwerte der Designparameter**  
Alle Indizes entsprechen TE-polarisiertem Licht mit einer Wellenlänge von 1550 nm.

Bild 3 zeigt den ganzen Fabrikationsprozess für planare optische Wellenleiter auf SiON-Basis [4]. Die untere Mantelschicht wird in einer Dicke von 8,5  $\mu\text{m}$  durch thermische Oxidation eines 4-Zoll-Si-Substrates geformt (Bild 3a). Als Nächstes wird die SiON-Kernschicht mittels PECVD<sup>12</sup> abgeschieden (Bild 3b). Wegen der Verwendung von wasserstoffhaltigen Gasen im PECVD-Prozess enthalten die unbehandelten SiON-Schichten nach der Abscheidung einen beträchtlichen Anteil an Wasserstoff in der Form von N-H-Bindungen, welche in den Wellenleitern Absorptionsverluste bewirken. Deshalb werden die Schichten bei einer Temperatur von 1145 °C ausgeheilt. Das Wellenleitermuster wird mittels optischer Kontaktlithographie erzeugt und durch reaktives Ionätzen in die SiON-Schicht übertragen (Bild 3c). Der Ätzprozess ist anisotrop und erzeugt senkrechte Seitenwände, welche eine präzise Kontrolle und gute Reproduzierbarkeit der Geometrie und somit des effektiven lateralen Indexkontrastes des Wellenleiters ermöglichen. Nach Entfernen der Photoresistmaske wird die BPSG-Deckschicht durch PECVD abgeschieden (Bild 3d), gefolgt von einem Temperschritt zur Schichtkonsolidierung. Bild 4 zeigt einen Querschnitt durch einen geätzten SiON-Wellenleiter mit einer konsolidierten BPSG-Deckschicht. Resistive Heizelemente aus Chrom werden durch Sputtern oberhalb der Wellenleiterstruktur abgeschieden (Bild 3e). Die niederohmigen Kontakte zwischen den Heizelementen und den Bondpads werden ebenfalls durch Sputtern aus Aluminium hergestellt (Bild 3f). Durch Betreiben der Chromheizer lässt sich der Brechungsindex des Wellenleiters lokal über den so genannten thermooptischen Effekt verändern. Im letzten Fabrikationsschritt (Bild 3g) werden die einzelnen Bauteile mit einer herkömmlichen Wafersäge getrennt und die End-



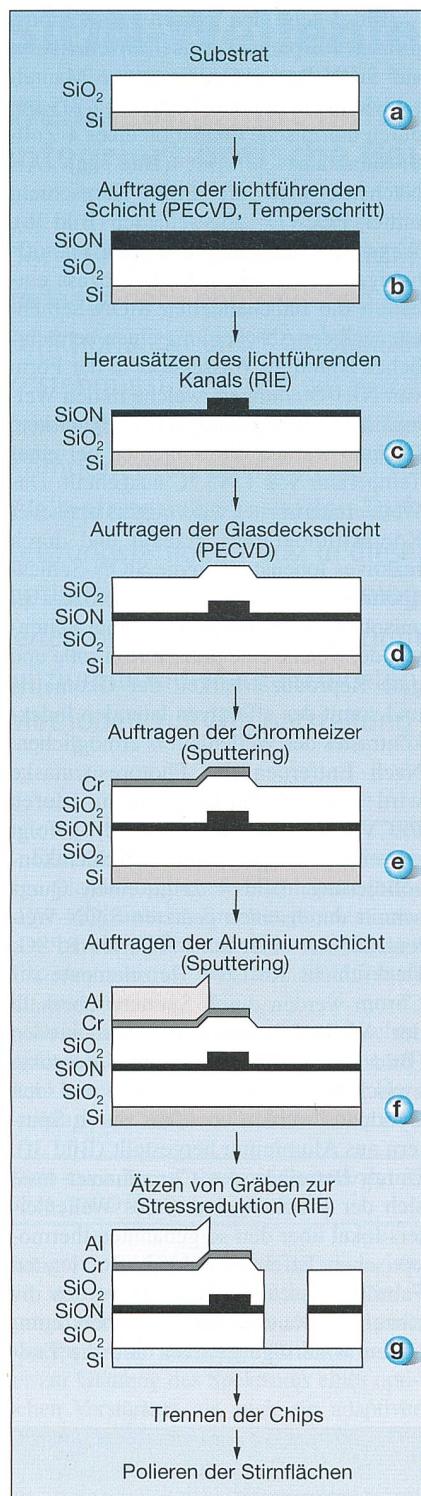


Bild 3 Fabrikationsprozess für SiON-Wellenleiter mit grossem Brechungsindexkontrast

Aus [4], verwendet mit Erlaubnis der Electrochemical Society, Inc.; Sputtering: Prozess zur Auftragung (Deposition) von dünnen Metallschichten; RIE: Reactive Ion Etching.

flächen des Wellenleiters auf optische Qualität poliert.

Die SiON-Kernschicht ist bestimmend für die Eigenschaften des Wellenleiters und stellt auch den wichtigsten Unterschied zwischen der hier vorgestellten

Technologie mit ihrem hohen Indexkontrast und den etablierten Wellenleitertechnologien mit niedrigerem Indexkontrast dar.

Eine quantitative Untersuchung des Wasserstoffeinbaus gelingt mittels Rutherforddrückstreuung (RBS<sup>13, 14</sup>). Ungetemperte SiON-Schichten enthalten etwa 16 ( $\pm 1$ ) mol% Wasserstoff. Nach dem Temperiern bei 1145 °C wird dieser Anteil auf 1 ( $\pm 1$ ) mol% bis an die Nachweisgrenze reduziert.

Optische Wellenleiter müssen unempfindlich gegenüber der Polarisierung des einfallenden Lichts sein. Die einzelnen Herstellungsschritte erzeugen mechanische Spannungen in den Schichten, welche zusammen mit der Geometrie zu optischer Doppelbrechung in den Wellenleitern führen. Durch sorgfältige Optimierung der Prozesse ist es gelungen, Werte für die optische Doppelbrechung von weniger als  $1 \times 10^{-4}$  zu erzielen, was für die geplanten Anwendungen ausreichend ist.

Die optischen Ausbreitungsverluste in SiON-Kanalwellenleitern wurden mit Ringresonatorstrukturen für Wellenlängen zwischen 1529 und 1580 nm gemessen [5] (Bild 5). Typische Verluste im Bereich der höheren Wellenlängen liegen bei 0,1 dB/cm, während zu kürzeren Wellenlängen hin die Verluste leicht ansteigen, was sich mit nicht vollständig eliminierten N-H-Verbindungen erklären lässt. Wie bereits beschrieben, lassen sich diese Verluste jedoch durch geeignete Temperierungen gänzlich vermeiden.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Kopplungsverlust zwischen einem optischen Wellenleiter und einer einmodigen Standardfaser mit einem Querschnitt von  $6 \times 6$  bis  $8 \times 8 \mu\text{m}^2$ . In der hier

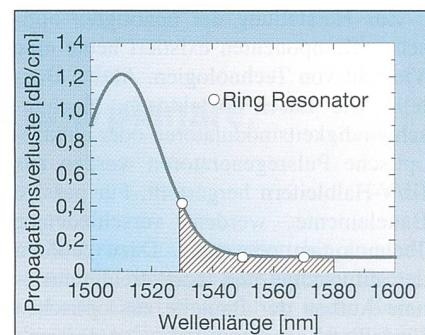


Bild 5 Resultate von wellenlängenabhängigen Verlustmessungen der SiON-Wellenleiter, wie sie in Ringresonatorstrukturen gemessen werden

Kreise bezeichnen die Werte für einen fertigen Wellenleiterkanal bei drei Wellenlängen, welche aus Verlustmessungen für zweidimensionale Wellenleiter adaptiert wurden (ausgezogene Kurve als Orientierungshilfe).

daher etwa 4 dB pro Facette. Als leicht realisierbare Alternative mit noch kleineren Kopplungsverlusten kann man zwischen Wellenleiter und der einmodigen Standardfaser ein zusätzliches Faserstück mit kleinerem Kern verwenden, dessen Kerndurchmesser gut an das Modenfeld des Wellenleiters angepasst ist. Dabei wird das Licht zunächst mit einem kleinen Kopplungsverlust vom Wellenleiter in die Faser mit einem angepassten Kerndurchmesser von 3,5  $\mu\text{m}$  geleitet. Der Übergang auf die einmodige Standardfaser mit einem Kerndurchmesser von 9  $\mu\text{m}$  erfolgt dann durch einen Spleiss. Insgesamt lässt sich mit dieser Methode ein Kopplungsverlust von 0,5 dB pro Facette erzielen<sup>15</sup>.

## Dynamischer Gain-Equalizer (DGE)

Mit dem oben beschriebenen Verfahren wurden die verschiedensten optischen Komponenten für Kommunikationsanwendungen mit Wellenlängen um 1550 nm hergestellt [6–9]. Im Folgenden wird das optische FIR-Filterkonzept (FIR<sup>16</sup>) am Beispiel eines dynamisch rekonfigurierbaren Gain-Equalizer-Filters [8] beschrieben. Die Notwendigkeit solcher Komponenten für Hochleistungsnetzwerke wurde schon in der Einführung angedeutet. Das adaptive FIR-Filter besteht aus kaskadierten variablen Richtkopplern und Verzögerungsleitungen [10]. Die Grundeinheit bildet ein asymmetrisches Interferometer. Die Verzögerungsleitung bestimmt den freien Spektralbereich (FSR<sup>17</sup>) der Interferometer-Antwort und lässt sich mit einer harmonischen Funktion beschreiben. Ihre Amplitude kann durch entsprechendes Abstimmen der Kopplerarme verändert werden. Wird eine grosse Zahl solcher Stufen kaskadiert, so resultiert eine Fourier-Reihe als spektrale Antwort. Der grösste harmo-

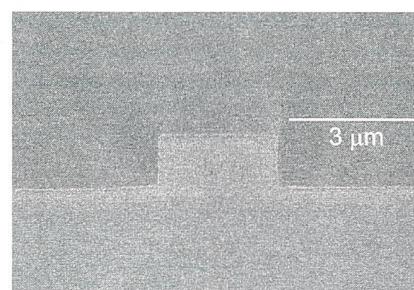


Bild 4 Rasterelektronen-Mikroskopbild des Querschnitts einer SiON-Wellenleiterstruktur mit einer BPSG-Deckschicht

Der Chip wurde geätzt, um die Grenze zwischen SiON-Kern und BPSG-Mantelschichten hervorzuheben.

vorgestellten Technologie mit hohem Indexkontrast ist das Modenfeld aufgrund der stärkeren Führung auf einen viel kleineren Querschnitt von nur  $3 \times 3$  bis  $4 \times 4 \mu\text{m}^2$  beschränkt. Die Koppelverluste an einmodigen Standardfasern betragen

nische Beitrag hat eine Periodizität von  $FSR/N$ , wobei  $N$  die Anzahl Stufen ist. Je mehr Stufen verwendet werden, desto grösser ist die Möglichkeit, ein beliebiges Verstärkungsspektrum zu kompensieren.

Dazu wird im Folgenden ein dynamischer Gain-Equalizer mit sieben Stufen und einem freien Spektralbereich von 40 nm vorgestellt. Mit diesem FIR-Filter siebter Ordnung kann das nicht uniform verstärkte spontane Emissionsspektrum eines EDFA<sup>18</sup> bis auf eine Welligkeit von weniger als 0,5 dB geglättet werden. Der DGE weist eine Fläche von lediglich  $32 \times 4 \text{ mm}^2$  auf. Um ein möglichst kompaktes Design zu erhalten, wurde ein gefaltetes Layout verwendet, bei dem die Faltung durch einen asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometer mit einer Wellenleiterkreuzung entsteht. Bild 6a zeigt das Layout des Bauteils. Die thermo-optischen Heizelemente auf dem DGE können einzeln über die elektrischen Kontaktleitungen angesteuert werden. Vier Fasern, je zwei für Ein- und Ausgänge, werden in einem Siliziumblock in V-förmige Nuten in einem Abstand von  $250 \mu\text{m}$  fixiert und aktiv auf die Wellenleiter ausgerichtet<sup>15</sup>. Für das gezeigte Bauteil wurden Einfügeverluste von weniger als 3,5 dB gemessen.

Die gewünschte Spektralantwort dieses Filters siebter Ordnung wird durch die Kontrolle der elektrischen Leistung der Heizelemente erzielt. Dazu kann über ein elektronisches Subsystem via PC jedes Heizelement individuell angesteuert und die DGE-Filterantwort optimiert werden.

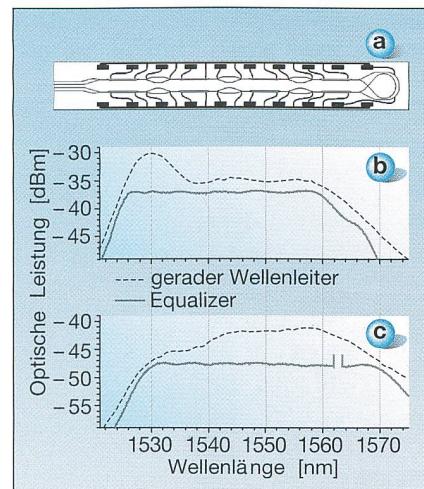


Bild 6 DGE-Struktur

a: Layout. Die Chipgröße beträgt  $32 \times 4 \text{ mm}^2$ , und es werden die optischen Wellenleiter und die elektrischen Leiter gezeigt. b und c: Geglättete EDFA-Spektren für unterschiedliche Belastungen des gleichen EDFA. Die ausgezogene Kurve zeigt das geglättete Spektrum eines Breitband-EDFA nach Durchlaufen des DGEs, die gestrichelte Kurve die EDFA-Verstärkungskurve nach einem geraden Wellenleiter.

Die ausgezogene Kurve in Bild 6b zeigt das EDFA-Spektrum nach dem Durchlaufen eines 7-stufigen DGE, der für eine möglichst glatte Verstärkung optimiert wurde. Das geglättete Spektrum weist eine Welligkeit von weniger als 0,4 dB in einem 35-nm-breiten Wellenlängenbereich auf. Zum Vergleich ist gestrichelt das verstärkte Spektrum der spontanen Emission eines Breitband-EDFA dargestellt.

Anschliessend wurde bei 1563 nm ein starkes Störsignal an den Eingang des EDFA angelegt, was eine ausgeprägte Veränderung des Ausgangsspektrums des EDFA (gestrichelte Kurve in Bild 6c) bewirkte. Der nachgeschaltete DGE wurde daraufhin neu optimiert, und am DGE-Ausgang entstand wieder ein geglättetes Spektrum mit einer Welligkeit von weniger als 0,5 dB über einen Bereich von 37 nm (ausgezogene Linie in Bild 6c). Diese beiden Beispiele zeigen deutlich, dass der DGE sehr unterschiedliche Ausgangssignale im Verstärkungsspektrum eines EDFA glätten kann.

### Abstimmbarer chromatischer Dispersionskompensator

Eine zweite wichtige Filterklasse stellen die so genannten IIR-Filter<sup>19</sup> dar. Sie werden durch Kaskadierung von kurzen, kreisförmigen Wellenleiterstrukturen, so genannten Ringresonatoren, entlang eines geraden Wellenleiters aufgebaut [11]. Solche Strukturen können nur in einer Wellenleitertechnologie mit hohem Indexkontrast hergestellt werden, weil die Periodizität der Filtercharakteristik sonst zu klein ist.

«Beliebige» spektrale phasen- und damit wellenlängenabhängige Signalverzögerungen können synthetisiert werden, wenn die einzelnen Resonanzkurven durch thermo-optische Heizelemente gegeneinander verschoben werden. Durch Kaskadieren von vier Wellenleiterringen entlang eines geraden Wellenleiters (Bild 7a) konnte ein breit durchstimmbarer Kompensator mit einer FSR von 50 GHz und einer linearen nutzbaren Bandbreite von etwa 25 GHz realisiert werden. In Bild 7b ist eine typische Filtercharakteristik über die dreifache FSR ersichtlich. Sowohl positive wie auch negative Dispersionswerte, zwischen  $-450 \text{ ps/nm}$  und  $+450 \text{ ps/nm}$ , können durch Optimieren der individuell durchstimmbaren Koppler und des variierbaren optischen Pfads auf den Kreisstrukturen erreicht werden.

### Schlussbemerkungen

Die hier vorgestellte Technologie der SiON-Wellenleiter mit hohem Bre-

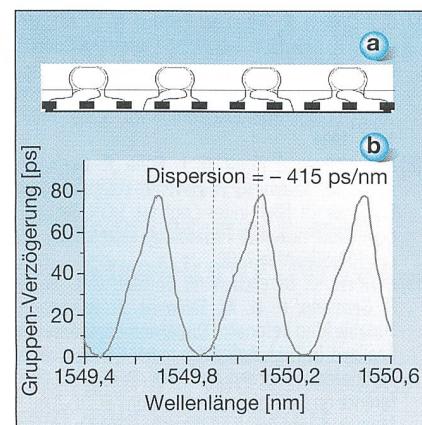


Bild 7 a: DC-Chip-Layout, bestehend aus vier Ringresonatoren mit 50 GHz FSR. b: Gemessene Dispersionsskurve mit einer Steigung von  $-415 \text{ ps/nm}$  über etwa 25 GHz des FSRs. Die vertikalen Balken bezeichnen den nutzbaren Spektralbereich.

chungsindexkontrast erlaubt sowohl die Herstellung von kompakten, integriert optischen, passiven Bauteilen als auch eine Vielzahl von rekonfigurierbaren optischen Komponenten mit erweiterter Funktionalität.

Somit steht der Weg für integrierte planare Lichtwellenleiter schaltkreise für Anwendungen im Bereich der Telekommunikationsnetzketten mit optischer Cross-Connect-Funktionalität offen. Der gewählte Brechungsindexkontrast stellt einen guten Kompromiss zwischen dem Wunsch nach hoher Integrationsdichte und niedrigen Einfügeverlusten dar. Dank den kleinen Krümmungsradien lassen sich komplexe Strukturen mit einer Vielzahl von optischen Grundbausteinen realisieren.

### Referenzen

- [1] R. Morgan: Options for High-Speed Transmission on Mixed-Grade Fiber Plant. *Lightwave*, pp. 140–148, August 2000.
- [2] G. E. Keiser: A Review of WDM Technology and Applications. *Optical Fiber Technology*, vol. 5, pp. 3–39, 1999.
- [3] G. L. Bona, W. E. Denzel, B. J. Offrein, R. Germann, H. W. M. Salemink, F. Horst: Wavelength Division Multiplexed Add/Drop Ring Technology in Corporate Backbone Networks. *Optical Engineering*, vol. 37, pp. 3218–3228, Dec. 1998.
- [4] R. Germann, H. W. M. Salemink, R. Beyeler, G. L. Bona, F. Horst, I. Massarek, B. J. Offrein: Silicon Oxynitride Layers for Optical Waveguide Applications. *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 147, no. 6, pp. 2237–2241, 2000.
- [5] F. Horst, H. W. M. Salemink, R. Germann, B. J. Offrein, G. L. Bona: High Quality Ring Resonators in High Refractive Index Contrast SiON Waveguides. *Proceedings, 1998 IEEE/LEOS Symposium, Benelux Chapter*, pp. 33–36, IEEE, Piscataway, NJ, 1998.
- [6] E. Flück, F. Horst, B. J. Offrein, R. Germann, H. W. M. Salemink, G. L. Bona: Compact Versatile Thermo-Optical Space Switch Based on Beam Steering by a Waveguide Array. *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 11, pp. 1399–1401, 1999.

- [7] B. J. Offrein, R. Germann, F. Horst, H. W. M. Salemk, R. Beyeler, G. L. Bona: Resonant Coupler Based Add-after-Drop Filter in SiON Technology for WDM Networks. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 5, pp. 1400-1406, 1999.
- [8] B. J. Offrein, F. Horst, G. L. Bona, R. Germann, H. W. M. Salemk, R. Beyeler: Adaptive Gain Equalizer in High-Index-Contrast SiON Technology. *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 12, pp. 504-506, May 2000.
- [9] F. Horst, C. Berendsen, R. Beyeler, G.-L. Bona, R. Germann, H. W. M. Salemk, D. Wiesmann: Tunable Ring Resonator Dispersion Compensators Realized in High-Refractive-Index Contrast SiON Technology, *Proceedings 26th European Conference on Optical Communication "ECOC 2000,"* Munich, Germany. Post Deadline Papers, paper 2.2, vde-Verlag, Berlin, Offenbach, 2000.
- [10] K. Jingui, M. Kawachi: Synthesis of Coherent Two-Port Lattice-Form Optical Delay-Line Circuit. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, pp. 73-82, 1995.
- [11] C. Madsen, J. Zhao: Optical Filter Design and Analysis: A Signal Processing Approach. John Wiley & Sons, New York, 1999.
- <sup>1</sup> WDM = Wavelength Division Multiplexing  
<sup>2</sup> WAN = Wide-Area Network  
<sup>3</sup> MAN = Metropolitan-Area Network  
<sup>4</sup> CPN = Customer-Premises Network  
<sup>5</sup> Der Datenstrom bleibt auch in den Netzwerknoten im optischen Bereich, und alle Schaltvorgänge finden optisch statt.  
<sup>6</sup> GE: Gain Equalizer  
<sup>7</sup> DGE: Dynamic Gain Equalizer  
<sup>8</sup> PMD: Polarization Mode Dispersion  
<sup>9</sup> LiNbO<sub>3</sub>: Lithiumniobat  
<sup>10</sup> Facette: Stirnfläche einer Wellenleiterkomponente oder einer Faser.  
<sup>11</sup> BPSG: Boron-Phosphorous Doped Silica Glass  
<sup>12</sup> PECVD: Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (plasmaunterstützte Technologie zur Abscheidung von beispielsweise Glas)
- <sup>13</sup> RBS: Rutherford Back Scattering  
<sup>14</sup> RBS/HFS-Messungen wurden im RBS/HFS-Labor des CAFI-Instituts, University of Applied Sciences, CH-2400 Le Locle, Schweiz, durchgeführt.  
<sup>15</sup> Die Faser-Chip-Kopplung mit in Silizium geätzten V-Nuten wurde durch die Optospeed SA, Zürich, Schweiz, durchgeführt.  
<sup>16</sup> FIR: Finite Impulse Response  
<sup>17</sup> FSR: Free Spectral Range  
<sup>18</sup> EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier (Erbium-dotierter Faserverstärker)  
<sup>19</sup> IIR: Infinite Impulse Response

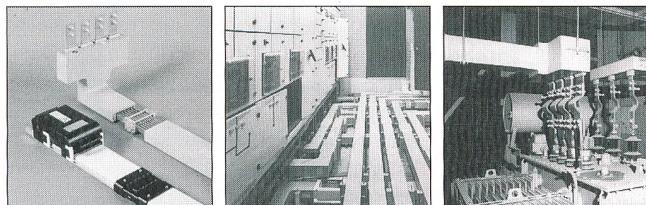
## Adressen der Autoren

- Dr. Gian-Luca Bona, IBM Research, Forschungslaboratorium Zürich, CH-8803 Rüschlikon, glb@zurich.ibm.com  
Dr. Roland Germann, IBM Research, Forschungslaboratorium Zürich, CH-8803 Rüschlikon, ger@zurich.ibm.com  
Dr. Bert Jan Offrein, IBM Research, Forschungslaboratorium Zürich, CH-8803 Rüschlikon, ofb@zurich.ibm.com

## Guides d'ondes SiON

### Des guides d'ondes à haut contraste d'indice de réfraction et composants optiques intégrés en technologie planar

L'expansion rapide du marché des communications optiques exige des composants photoniques présentant toujours plus de fonctionnalités et de complexité, et susceptibles d'être fabriqués fiablement et économiquement. Parmi les différents concepts techniques de fabrication de tels composants, on remarque surtout les technologies de guides d'ondes à base planar étant donné leurs hautes performances. L'article présente une technologie optique monomode de guide d'ondes dont le concept est basé sur une couche de nitre d'oxyde de silicium (SiON) et des couches de gaine en oxyde de silicium, et réalisable par des méthodes conventionnelles pour la fabrication de puces.



## LANZ HE Schienenverteiler zur Stromübertragung und -Verteilung

für Büro-, Gewerbe-, Zweck- und Industriebauten  
400 – 6'000 A/1'000 V AC/DC IP 54 und IP 68  
EN/IEC-normkonform Produktion ISO 9001

- Giessharzvergossen
- Mit Cu- oder Al-Leiter
- Wenig Spannungsverlust
- Hohe Kurzschlussfestigkeit
- Hohe mech. Festigkeit
- Beste thermische Eigenschaften
- Keine Kondensation  
Keine Korrosion
- Anschlussselemente + Abgangskästen nach Kundenwunsch
- Wartungsfrei
- Just-in-time lieferbar
- Preisgünstig

Profitieren Sie von der LANZ Kernkompetenz. Verlangen Sie Beratung, Offerte, rasche und preisgünstige Lieferung von **lanz oensingen ag ch-4702 oensingen südringstrasse 2 tel. ++41/62 388 21 21 fax ++41/62 388 24 24 e-mail: info@lanz.oens.com**

- LANZ HE Schienenverteiler interessieren mich. Senden Sie Unterlagen.  
 Können Sie mich besuchen? – Bitte telefonische Voranmeldung Name/Adresse/Tel.

**RAUSCHER & STOECKLIN AG**  
ELEKTROTECHNIK  
POSTFACH  
CH-4450 SISSACH  
Tel. +41 61 976 34 66  
Fax +41 61 976 34 22  
Internet: [www.raustoc.ch](http://www.raustoc.ch)  
E-Mail: [info@raustoc.ch](mailto:info@raustoc.ch)

**RAUSCHER**  
**STOECKLIN**

