

WERKSTOFFGRUNDLAGEN UND STRUKTURIERBARKEIT VON MATERIALIEN DER INTEGRIERTEN OPTIK

Dr. Herbert Krug und Prof. Dr. Helmut Schmidt, Saarbrücken

Über einen chemischen Syntheseprozess (Sol-Gel-Prozess) können organisch-anorganische Verbundwerkstoffe hergestellt werden, die eine Vielzahl von für die Integrierte Optik interessanten Eigenschaften aufweisen. Neben einfachem Processing besitzen diese Materialien sehr gute optische Eigenschaften und können mit optisch nichtlinearen Komponenten dotiert werden. Dieser Beitrag soll dazu dienen, diese Materialklasse und ihr Potential in der Integrierten Optik vorzustellen.

Materials for integrated optics – fundamentals and structuring: A chemical route to synthesize organic-inorganic composite materials for optical applications is presented (sol-gel process). Simple processing techniques, good optical properties and the use as matrix material for nonlinear optical materials give high potential for use in Integrated optics.

EINLEITUNG

Die Möglichkeit der Integration miniaturisierter optischer Bauelemente in Wellenleiterstrukturen zur Realisierung integriert optischer Schaltkreise (IOC: Integrated Optical Circuits) ist eng gekoppelt mit der Entwicklung neuer Materialien und Technologien. Die Herstellung von IOCs erfordert eine hochpräzise Strukturierung von dielektrischen bzw. metallischen Materialien, die kompatibel mit Mikrotechniken sind. Das breite Spektrum von Materialanforderungen, kombiniert mit einfachen und rationellen Processing-Techniken, ist mit einem speziellen Material nur schwer bzw. gar nicht abzudecken. Somit kommen fast nur Kombinationen verschiedener Materialien in Frage. Hinderlich für eine gezielte Materialentwicklung sind hier jedoch die geringen zu verarbeitenden Mengen und der daraus resultierende kleine Markt. Die chemische Materialsynthese über die Sol-Gel-Technik bietet die Möglichkeit, Materialien mit zahlreichen für die Anwendung in der Integrierten Optik interessanten Eigenschaften herzustellen. Neben der Möglichkeit, Mehrkomponentensysteme mit breit variierbarer Zusammensetzung zu synthetisieren, lassen sich durch einstellbare Eigenschaften der Zwischenprodukte (Sole) dicke Schichten mit einfachen Techniken (Siebdruck, Spinon, Tauchen) realisieren. Durch die Integration von organischen Anteilen können organisch-anorganische Komposite synthetisiert werden, die als passive bzw., mit verschiedenen

intrinsischen Funktionen ausgestattet, als aktive (Sensoren) oder als Matrixmaterial für nichtlinear optische Komponenten dienen können. Ein wichtiger Gesichtspunkt dieser Technik liegt in dem Umstand, daß sie auch zur Herstellung kleiner Mengen geeignet ist und damit dem vielfältigen Bedarf einer flexiblen, systemorientierten Werkstoffentwicklung Rechnung tragen kann. In diesem Artikel soll, nach Darstellung der heute verwendeten Materialien und Techniken, die über Sol-Gel-Techniken herstellbare, neue Klasse der organisch-anorganischen Kompositmaterialien und ihr Potential in der Integrierten Optik vorgestellt werden.

STAND DER TECHNIK

Die optische Verbindungstechnik beruht auf der Lichtleitung in (passiven) Wellenleitern, wobei diese Wellenleiter gleichzeitig aktive Aufgaben übernehmen können. Optische Wellenleiter auf IOCs können als planare Schicht (Schichtwellenleiter) oder als wellenleitender „Kanal“ (Streifenwellenleiter) ausgebildet werden. Der Brechungsindex dieses Wellenleiters muß größer als der seiner Umgebung sein, da sich nur in diesem Fall der Lichtstrahl quasi durch fortgesetzte Totalreflexion im Wellenleiter ausbreitet. Die Dimensionen eines solchen Wellenleiters (Querschnitt bzw. Schichtdicke) müssen mindestens in der Größenordnung einiger optischer Wellenlängen liegen. Der Übergang

des Brechungsindex vom Substrat zum Wellenleiter kann entweder abrupt („Stufenindex“) oder graduell („Gradientenindex“) erfolgen. Je nach Wellenleiterdicke und Brechzahl Differenz zwischen Wellenleiter und Umgebung können sich sehr verschiedene Lichtstrahlen (Moden) unter verschiedenen Reflexionswinkeln ausbreiten. Macht man die Wellenleiterdicke ausreichend dünn, so ist nur noch ein Strahl, der sogenannte Grundmodus (Monomode), ausbreitungsfähig. Monomode Streifenwellenleiter besitzen Querschnittsabmessungen von 2×2 bis $10 \times 10 \mu\text{m}^2$, Multimode-Streifenwellenleiter dagegen $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ und darüber. Für die Integrierte Optik geeignete Materialien müssen grundsätzlich die Anforderungen an die Formgebarkeit zu Wellenleitergeometrien und an die geringe Dämpfung bei der Arbeitswellenlänge erfüllen.

Materialien, die zur Zeit als Träger für die Herstellung von passiven bzw. aktiven Komponenten der integrierten Optik Verwendung finden, sind Glas, Silizium, Lithiumniobat (LiNbO_3), III-V-Halbleitermaterialien und organische Polymere. Rein passive Komponenten in Glas können über Ionenaustauschtechniken hergestellt werden. Dichteänderungen, mechanische Spannungen und unterschiedliche elektrische Polarisierbarkeit führen zu lokalen Brechungsindexänderungen im ionenausgetauschten Bereich. Silizium wird als optisch passives Trägermaterial eingesetzt, auf das Wellenleiter mit Mantel-, Kern- und Deckschicht über verschiedene Techniken wie Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD), oder Low Pressure Chemical Vapour Deposition (LPCVD) aufgebracht werden. Welche Technologie eingesetzt wird, richtet sich nach dem angestrebten Modenprofil und nach Kompatibilitätsgesichtspunkten, die bei der Integration berücksichtigt werden müssen. Der entscheidende Vorteil einer Integrierten Optik auf Silizium liegt jedoch in der Möglichkeit, optische Schaltkreise mit der integrierten Mikroelektronik in Silizium monolithisch auf einem gemeinsamen Substrat kombinieren zu können. Integrierte Photodioden bilden hier die Schnittstelle zwischen Optik und Elektronik. Des Weiteren kann über anisotrope naßchemische Ätzverfahren eine Faser-Chip-Kopplung erzielt bzw. die Mikromechanik



Netto-Zahler

Was kostet, was nützt uns die EG – diese Frage haben sich wohl auch die Bürger Dänemarks und Irlands gestellt, die kürzlich bei Volksbefragungen ihre Meinung zu Europa und den Verträgen von Maastricht äußerten. Wollten die Deutschen diese Rechnung aufmachen, könnte das Urteil möglicherweise ebenso vernichtend ausfallen, wie das der Dänen. Denn die Deutschen sind kräftige Netto-Zahler. 1976 überwiesen sie unterm Strich einen Betrag von 3,3 Milliarden Mark an die Brüsseler Kassen, im Jahr 1991 waren es mit netto 19 Milliarden Mark fast sechsmal soviel: 33 Milliarden Mark zahlten die Deutschen an den EG-Haushalt, 14 Milliarden Mark flossen als EG-Leistungen zurück. Diese simple Einnahmen-Ausgaben-Rechnung gibt aber nur ein unvollständiges Bild vom Nutzen der EG. Deutschland als größtes und wirtschaftlich stärkstes Mitglied der Zwölfergemeinschaft profitiert vor allem von den vielfältigen Handelsbeziehungen mit den EG-Partnern. Und das ist nicht unbedeutend, erwirtschaften die Deutschen doch ein Viertel ihres Sozialprodukts im Export.

für Sensoranwendungen integriert werden.

Bei LiNbO_3 kann durch Ausnutzung der hervorragenden elektro- und akustooptischen Eigenschaften des Materials die Lichtausbreitung aktiv gesteuert werden. Der große elektrooptische Koeffizient von LiNbO_3 erlaubt es, integriert optische Modulatoren und Schalter mit niedrigen Spannungen zu betreiben. Die guten piezoelektrischen und photoelastischen Eigenschaften dieses Materials erlauben die Anregung von akustischen Oberflächenwellen und somit die Konstruktion akustooptischer Bauelemente wie Bragg-Reflektoren, Polarisationsdreher und Wellenlängenfilter. Ebenso können nichtlineare Effekte zweiter Ordnung (zum Beispiel Frequenzverdopplung) mit hohem Wirkungsgrad erzielt werden. Optische Monomode-Wellenleiter können über lokale Eindiffusion von Titan, Protonenaustausch oder Ionenimplantation in das Substrat eingebaut werden. LiNbO_3 bietet daher gegenüber Glas und Silizium die Möglichkeit, passive und aktive Komponenten gemeinsam auf einem Substrat zu integrieren.

Die meisten Verbindungshalbleiter mit Komponenten aus den Gruppen III und V des Periodensystems besitzen eine Energiebandstruktur mit „direkter“ Bandlücke. Somit lassen sich nicht nur passive Wellenleiter, sondern auch elektrisch gepumpte, lichterzeugende und lichtdetektierende Bauteile kombinieren. Eine monolithische Integration kann durch Verbindung von optoelektronischen Komponenten (LED, Detektoren) mit einer elektronischen integrierten Schaltung (Treiber, Regler oder Verstärker) und dem Verteilen, Zusammenfügen, Filtern, Modulieren, Schalten und Verstärken der optischen Signale zu optoelektronisch integrierten Schaltkreisen (OEIC: Optoelectronic Integrated Circuits) auf einem einzigen Chip erfolgen. Die wichtigsten III-V-Halbleiter für die Integrierte Optik sind GaAs und InP mit den ternären (zum Beispiel $\text{Ga}_x\text{-Al}_{1-x}\text{As}$) und den speziellen quaternären (zum Beispiel $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$) Mischkristallsystemen. Diese werden epitaktisch auf einkristallinen GaAs- oder InP-Substraten über Flüssigphasenepitaxie, Molekularstrahlepitaxie und metallorganische Gasphasenepitaxie als Wellenleiter ausgebildet. Das relativ langsame Wachstum der Komplexität von OEICs auf III-V-Halbleit-

terbasis ist auf die schwierigen und kostenintensiven technologischen Prozesse zurückzuführen.

Organische, polymere Wellenleiter zeichnen sich durch geringe Produktionskosten und gute Photostrukturierbarkeit aus. Amorphe transparente Polymere wie Polymethylmethacrylat, substituierte Polysilane, Polyvinylacetat und Polycarbonat werden hier technisch erfolgreich eingesetzt. Dynamisch passive Komponenten wie Modulatoren und optische Schalter können durch Einbau von organischen Farbstoffmolekülen (Chromophore) wie Rhodamin 6 G oder Disperse Red erhalten werden. Diese können über physikalisches Mischen (Gast-Wirt-Lösung) bzw. über chemische Verknüpfung (Seiten-Ketten-Polymere) in das Matrixmaterial eingebaut werden. Die Chromophore werden bei Temperaturen in der Nähe der Glasatemperatur des Matrixmaterials über verschiedene Polungstechniken orientiert. Die so hergestellten Wellenleiter zeigen geringe optische Verluste und hohe nichtlineare optische Koeffizienten. Ein gravierender Nachteil dieser Materialien besteht in ihrer geringen thermischen Stabilität und der damit verbundenen Relaxation der ausgerichteten Chromophore, so daß der Polungsgrad mit der Zeit abnimmt und der nichtlineare Effekt vermindert wird.

Dieser kurze Überblick (ausführliche Abhandlung zum Beispiel in [1] und dort zitierter Literatur) zeigt, daß die Leistungsdaten von Bauelementen der Integrierten Optik direkt an die Leistungsfähigkeit der verwendeten Materialien gekoppelt sind und eine praktische Realisierung von den erforderlichen fertigungs- und prozeßtechnischen Schritten wesentlich beeinflusst wird. Einfache bzw. rationale Processing-Techniken wie Dotierung mit funktionellen Komponenten, Formgebung und Strukturierbarkeit sind neben Materialanforderungen, wie Brechzahlanpassung und geringe Dämpfung, Grundanforderungen für eine erfolgreiche kommerzielle Nutzung. Lassen sich in Glas bzw. auf Silizium überwiegend nur passive Komponenten integrieren, so sind beim Aufbau von passiv/aktiven Komponenten über LiNbO₃ und III-V-Halbleitermaterialien schwierige und kostenintensive Technologien anzuwenden. Organische Polymere bieten zwar den Vorteil einfacher Prozeßtechnik, die geringe

thermische Belastbarkeit und thermodynamisch bedingtes Relaxationsverhalten des Polymernetzwerkes bei Dotierung schränken jedoch dessen Einsatzmöglichkeiten stark ein. Im folgenden wird deshalb ein chemisches Syntheseverfahren (Sol-Gel-Verfahren) zur Herstellung anorganisch-organischer Verbundwerkstoffe dargestellt, welches sowohl die prozeßtechnischen Anforderungen erfüllt, als auch die Herstellung maßschneiderbarer Kompositmaterialien als interessante alternative Werkstoffe der Integrierten Optik ermöglicht.

SOL-GEL PROZESS ORGANISCH-ANORGANISCHER KOMPOSIT-MATERIALIEN

Der Sol-Gel Prozeß stellt einen Syntheseprozess dar, bei dem, ausgehend von Monomeren, Oligomeren oder Kolloiden über einen Polykondensationsschritt anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe durch Ausbildung eines anorganischen Netzwerkes hergestellt werden. Dies kann durch Verwendung von Alkoxiden der Elemente Si, Ti, Zr usw. erreicht werden, die bei Zugabe von Wasser zu Hydroxyden reagieren und spontan zu polymeren Einheiten kondensieren. Werden Metallalkoxide mit reaktiven organischen Gruppen verwendet (UV- bzw. thermisch vernetzbar), so können über diese organischen Netzwerkbildner bzw. organischen Netzwerkwandler Phasenseparationen vermieden und strukturierte organisch-anorganische Verbundwerkstoffe mit steuerbaren Eigenschaften hergestellt werden. Die Sol-Gel-Technik bietet somit die Möglichkeit des Aufbaus anorganischer Netzwerke, bei denen organische Komponenten molekular integriert sind [2...8].

Photostrukturierbare, über Sol-Gel-Prozesse hergestellte, organisch-anorganische Verbundwerkstoffe sind als dielektrische Materialien für die Mikroelektronik bereits beschrieben [9, 10]. Neben Eigenschaften wie niedrige Permeabilität, extrem niedrige Wasseraufnahme und hohe thermische Belastbarkeit müssen zur Entwicklung für optische Anwendungen zusätzlich Anforderungen wie geringe optische Dämpfung, Dotierbarkeit und Möglichkeit

der Brechzahlanpassung gewährleistet sein.

Ein Beispiel für die Synthese eines Materials, das viele Anforderungen erfüllt, wird im folgenden gezeigt. Diese Synthese erfolgt über den Sol-Gel-Prozeß. Als Ausgangsmaterialien werden Methacryloxypropyltrimethoxysilan, Methacrylsäure und Zircon-n-propoxid verwendet (eine detaillierte Beschreibung der Synthese ist in [11, 12] gegeben). Diese Stoffe sind kommerziell erhältlich und leicht zu reinigen. Die Silanverbindung dient dabei zum Aufbau eines anorganischen Netzwerkes, an das über Polymerisation der Methacrylgruppe mit der Methacrylsäure ein organisches Netzwerk gebildet wird. Die zweite anorganische Komponente (Zr) wird über Methacrylsäure als Komplexbildner an die organischen Ketten gebunden. Unter diesen Reaktionsbedingungen bilden sich ZrO₂-Cluster von etwa 5 nm Durchmesser aus [13]. Der Aufbau der anorganischen Phasen erfolgt während der Sol-Gel Synthese, die endgültige Polymerisation findet über einen photochemischen Prozeß statt. Eine schematische Darstellung der so erhaltenen Struktur zeigt Bild 1.

Die anorganische Zr-Komponente gewährleistet hohe mechanische Stabilität [2]. Darüber hinaus kann über deren Anteil der Brechungsindex des Systems variiert werden [13, 14]. Durch den organischen Anteil findet eine endgültige Verdichtung des Materials bei relativ niedrigen Temperaturen von 130 °C bei <5 Vol.% Schrumpfung statt.

Das Material ist vor der Härtung löslich und läßt sich durch den Gehalt des Lösungsmittels in seiner Viskosität in weiten Bereichen variieren, so daß über einfache Beschichtungstechniken wie Spin-on oder Dip-coating homogene Schichten < 5 µm erhalten werden können. Über Mehrfachbeschichtungen lassen sich auch Schichtdicken bis 100 µm erzielen. Diese Schichten zeigen nach Polymerisation gute Haftung und hohe optische Transparenz im sichtbaren und nahen Infrarotwellenlängenbereich. Mittels Prismenkopplung werden Dämpfungswerte < 1 dB/cm bei 632,8 nm gemessen [15]. Der Brechungsindex kann von 1,52 (8 Mol.-% Zr) auf 1,54 (30 Mol.-% Zr) erhöht werden, so daß Mantel und Deckschichten unterschiedlicher Brechzahlen mit annähernd gleichem Ausdehnungskoeffizienten aufgebaut werden können [13]. In

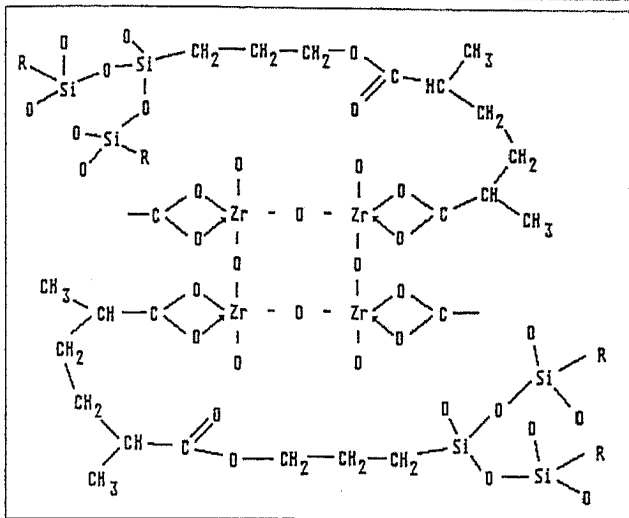


Bild 1. Modell der ZrO₂-Clusterbildung in einer organisch-anorganischen Matrix.

üblicher Weise läßt sich eine Vielzahl von Materialien herstellen, wobei sowohl die organischen als auch die anorganischen Komponenten in weiten Bereichen variiert werden können.

Neben der Möglichkeit, rein passive Komponenten für die integrierte Optik herzustellen, bietet diese Materialklasse darüber hinaus die Möglichkeit, durch Dotierung mit Chromophoren bzw. anorganischen Ionen aktive Komponenten herzustellen [16...18]. Ebenso können anorganische, optisch nichtlineare Komponenten wie Halbleitercluster und Lanthaniden integriert werden [19, 20]. Das anorganische Netzwerk dient in diesen Fällen als stabilisierendes Gerüst, so daß Relaxationsvorgänge vermieden werden. Komplizierte Mikrostrukturen können durch eine lokale Verknüpfung von -C=C- Doppelbindungen bei der Polymerisation über Laserdirektschreiben, Maskentechniken oder Prägetechniken erhalten werden [11, 12, 15, 21]. Die nichtpolymerisierten Bereiche bleiben löslich, so daß sie in einem Entwicklungsprozeß entfernt werden können.

Strukturierung organisch-anorganischer Komposite

Laserdirektschreiben

Die Polymerisation des organischen Netzwerkes kann nach verschiedenen Mechanismen (zum Beispiel je nach verwendetem Radikalstarter thermisch oder photochemisch) erfolgen. Photochemische Polymerisation besitzt gegenüber der thermischen Variante den Vorteil, daß dadurch die thermische Degradation des Materials vermieden wird.

Beim photoinduzierten Laserdirektschreiben kann prinzipiell zwischen zwei verschiedenen Techniken unterschieden werden:

- Das Substrat ist ortsfest, und der Strahl wird über die Oberfläche bewegt.
- Der Strahl ist ortsfest, und das Substrat wird bewegt.

Grundlegende Bausteine jeder Anlage sind ein Laser, eine fokussierende Optik, eine Ablenk- und/oder Verschiebeeinheit, ein Beobachtungs- und/oder Analysesystem. Durch reine Strahlablenkung können jedoch, bedingt durch die geringe Fokustiefe, lediglich Felder der Größenordnung $0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$ mit der notwendigen Positioniergenauigkeit bearbeitet werden. Ein ortsfester Laserstrahl bietet den Vorteil, daß bei relativ geringem technischem Aufwand große Flächen ($100 \times 100 \text{ mm}^2$ mit $0,1 \mu\text{m}$ Positioniergenauigkeit) zur Verfügung stehen, die Schreibgeschwindigkeit liegt bei 10 bis 20 mm/s. Brennweiten der finalen Fokussierungslinse $< 10 \text{ mm}$ erlauben Spotgrößen $< 10 \mu\text{m}$.

Die Strukturierung organisch-anorganischer Komposite durch Laserdirektschreiben ist bisher ein ausschließlich photoinduzierter Prozeß. Die organischen Komponenten werden durch Zugabe photosensitiver Radikalstarter polymerisiert. Die Entwicklung der Struktur erfolgt durch Auswaschen der nicht strukturierten Bereiche mittels verdünnter organischer Lösungsmittel oder Laugen. Danach erfolgt die Polykondensation des anorganischen Netzwerkes in einem post-bake-Prozeß durch Tempern bei 130°C .

Die Qualität der Strukturen hängt dabei von der Vorkondensations-

zeit, der Starterkonzentration, der Schreibgeschwindigkeit, der Laserintensität, dem verwendeten Entwickler und der thermischen Nachbehandlung ab [21]. Bild 2 zeigt einen mittels Direktlaserschreiben strukturierten, $30 \mu\text{m}$ breiten Streifenwellenleiter mit $10 \mu\text{m}$ Dicke. Charakteristisch ist die geringe Oberflächenrauigkeit, so daß durch geringe Oberflächenstreuung eine optische Dämpfung von $< 3 \text{ dB/cm}$ erhalten wird. Die vorhandenen Staubpartikel, die ebenfalls zur Streuung beitragen, können durch verbesserte Reinraumbedingungen eliminiert werden. Bild 3 zeigt das 3dimensionale Profil dieses Streifenwellenleiters.

Prägen

Integriert optische Komponenten wie Gitterkoppler und Streifenwellenleiter können über Prägetechniken hergestellt werden. In der Literatur werden Prägetechniken für organische und organometallische Komponenten in Lösung beschrieben [22]. Zur Herstellung von Gitterkopplern in einen planaren Wellenleiter wird in den deformierbaren Gelfilm, der über Tauchtechniken hergestellt wird, ein Stempel eingedrückt. Nach Entlastung wird der geprägte Gelfilm bei etwa 500°C verdichtet, und es können Gitter mit 1200 bis 3600 Linien/mm hergestellt werden. Ein gravierender Nachteil bei der Entwicklung rein anorganischer Schichten besteht jedoch in deren hoher Schrumpfung bei der nachfolgenden Wärmebehandlung, so daß Schichtdicken von 200 nm nicht überschritten werden können. Diese Schrumpfung hat ebenfalls zur Folge, daß die erhaltene Struktur keine exakte Replika des verwendeten Stempels darstellt, so daß ein „near-net shaping“ nicht möglich ist. Dieses Problem kann durch Verwendung der organisch-anorganischen Kompositmaterialien umgangen werden [11, 15, 21]. Durch den organischen Anteil sind diese Materialien im Gel-Zustand flexibel, und das Prägen kann bei niedrigen Drücken erfolgen, so daß eine Adhäsion zwischen Stempel und Material vermieden und die zu prägende Struktur fehlerfrei übertragen wird. Mit diesem Verfahren können Liniengitter mit 2400 Linien/mm hergestellt werden, Bild 4. Bild 5 verdeutlicht die hohe Kantensteilheit, die bei dieser Prägetechnik erhalten wird. Hier wurde zur Strukturierung ein „Raumfilter“ aus quadrati-

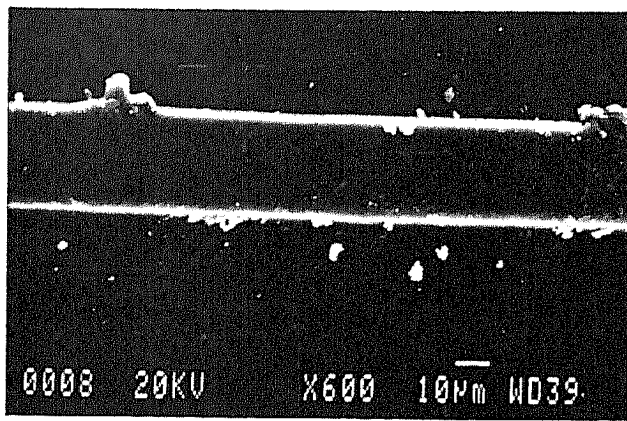


Bild 2. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines mittels Laserdirekt-schreibens strukturierten Streifenwellenleiters.

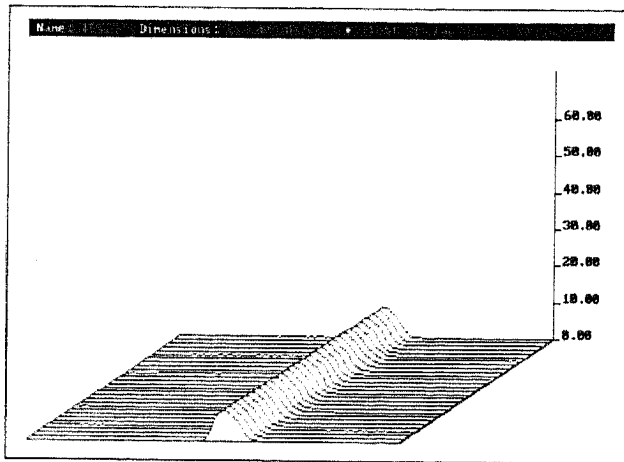


Bild 3. Oberflächenprofil des Streifenwellenleiters aus Bild 2 (Angaben in µm).

schen Strukturen übertragen. Strukturhöhen von 3 µm sind leicht herzustellen, prinzipiell sind durch die geringe Schrumpfung und das so mögliche „near-net shaping“ bei größeren Filmdicken Strukturhöhen > 10 µm übertragbar.

ZUSAMMENFASSUNG

Über den Sol-Gel Prozeß ist es möglich, organisch-anorganische Verbundwerkstoffe mit einer Vielzahl von interessanten Eigenschaften für integriert optische Anwendungen herzustellen. Diese Materialien zeichnen sich durch einfache Verarbeitung, geringe optische Dämp-

fung und die Möglichkeit der Brechzahl-anpassung aus. Des weiteren können sie durch hervorragende thermomechanische Stabilität als Matrix für NLO (Nichtlineare Optik)-Materialien verwendet werden. Durch Photopolymerisation können über Laserdirektschreiben oder Maskentechnik Mikrostrukturen und somit passive und aktive Komponenten für die Integrierte Optik hergestellt werden.

Literatur

- [1] W. Sohler, R. Volk: Integrierte Optik-Potential für mittelständische Hersteller und Anwender von Mikrosystemen. Band 7 der Reihe „Technologiestudien und Marktprognosen zur Mikrosystemtechnik“ VDI/VDE Technologiezentrum, 1990.
- [2] H. Schmidt: Inorganic-organic composites by sol-gel techniques. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 171 (1990), S. 3.
- [3] H. Schmidt: Chemistry of material preparation by sol-gel process. J. Non-Cryst. Solids 100 (1988), S. 51.
- [4] H. Schmidt, H. Wolter: ORMOCERs and applications. J. Non-Cryst. Solids 121 (1990), S. 428.
- [5] G. Philipp, H. Schmidt: New materials for contact lenses prepared from Si- and Ti-alkoxides by the sol-gel process. J. Non-Cryst. Solids 63 (1984), S. 283.
- [6] H. Schmidt: Organic modification of glass structure. New glasses or new polymers. J. Non-Cryst. Solids 112 (1989), S. 419.
- [7] D. W. Schaefer, J. E. Mark, D. McCarthy, L. Jian, C. C. Sun, B. Farago: Structure of microphase-separated silicat siloxane moleculare composites. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 171 (1990), S. 57.
- [8] R. H. Glaser, G. D. Wilkes: Structure property behaviour of polydimethylsiloxane and poly (tetramethylene oxide) modified TEOS based sol-gel materials. Polym. Bull. 19 (1988), S. 51.

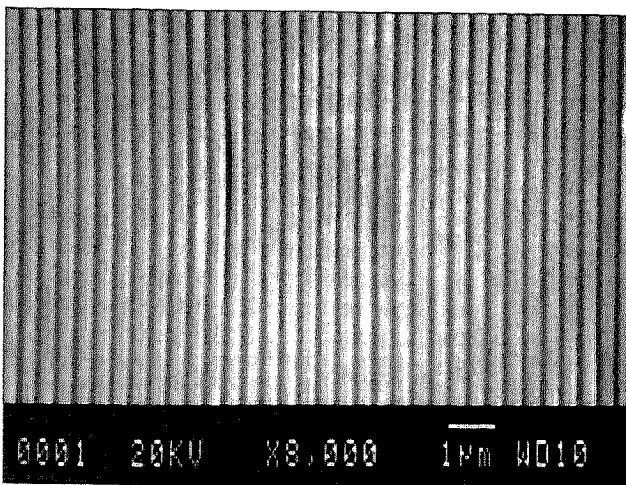


Bild 4. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines geprägten Liniengitters mit 2400 Linien/mm.

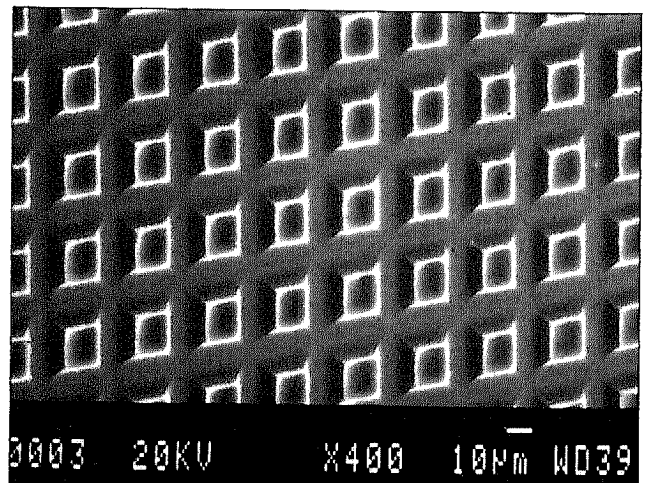


Bild 5. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines geprägten „Raumfilters“ mit 3 µm Kantenhöhe.

- [9] H. Schmidt, M. Popall, J. Schulz: Inorganic-organic composites (ORMOCERs) for microelektronic packaging. Proceedings Second International Symposium on New Glass, The Association of New Glass Industrie, Tokio (1989), S. 134.
- [10] M. Popall, H. Meyer, H. Schmidt, J. Schulz: Inorganic-organic composites (ORMOCERs) as structured layers for microelectronics. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 180 (1990), S. 995.
- [11] H. Schmidt, H. Krug, N. Merl: Embossing of ORMOCERs. Proceedings Topical Meeting on Intelligent Glasses Venezia, 1991.
- [12] H. Schmidt, H. Krug, R. Kasemann, F. Tiefensee: Development of optical waveguides by sol-gel techniques for laser patterning. SPIE 1590 (1991), S. 36.
- [13] H. Krug, F. Tiefensee, H. Schmidt: Organic-inorganic composite materials: optical properties of laser patterned and protective coated strip-waveguides (in Vorbereitung).
- [14] B. Lintner, N. Arfsten, H. Dislich: A first look at the optical properties. J. Non-Cryst. Solids 100, S. 378.
- [15] H. Krug, N. Merl, H. Schmidt: Fine patterning of thin sol-gel films. J. Non-Cryst Solids (im Druck).
- [16] R. Reisfeld: Transparent glass ceramics doped by Cr(III) and codoped bei Cr(III) and Nd(III) as potential materials for tunable lasers. 54th Annual Meeting of Israel Chem Soc. Rehovot, Israel (1989).
- [17] H. Schmidt, M. Popall: Inorganic-organic composites for optical application. SPIE 1328 (1990), S. 194.
- [18] J. Dire, F. Babonneau, C. Sanchez, S. Livage: Sol-gel synthesis of siloxane-oxide hybrid coatings with luminescent properties. J. Materials chem (akzeptiert).
- [19] L. Spanhel, E. Arpac, H. Schmidt: Semiconductor clusters in the sol-gel process: synthesis and properties of novel CdS nanocomposites. J. Non-Cryst. Solids (im Druck).
- [20] E. Arpac, L. Spanhel, H. Schmidt: Synthesis and properties of lanthanide doped ORMOCERs (in Vorbereitung).
- [21] M. Popall, J. Kappel, M. Pilz, J. Schulz: ORMOCERe: Strukturierbare Materialien für die Elektronik und Mikrooptik. VDI-Berichte Nr. 933, 1991.
- [22] W. Lukosz, K. Tiefenthaler: Embossing technique for fabricating integrated optical components in hard inorganic waveguiding materials. Opt. Lett. 8 (1983), S. 537.



SENSOR 93 – Aufruf für Vorträge

Im kommenden Jahr findet die SENSOR wieder in Nürnberg statt. Trägerorganisationen sind die Arbeitsgemeinschaft Meßwertnehmer e. V., der Deutsche Verband für Schweißtechnik e. V. u. a. Sie ist die wichtigste und weltgrößte Veranstaltung, die als Ausstellung, Kongreß und Sonder-schau im Bereich der Sensorik durchgeführt wird.

Der Kongreß der SENSOR hat über Jahre hinweg einen stetigen Zuwachs an Beiträgen erhalten, und es wird auch für die SENSOR 93 mit einer Steigerung der angemeldeten Vorträge gerechnet. Um diesem Interesse gerecht zu werden, wird der Kongreß bereits einen Tag vor der Ausstellung beginnen. Er findet vom 11. bis 14. Oktober 1993 statt.

Der Kongreßbeirat unter der Leitung von Prof. F. Durst, Universität Erlangen-Nürnberg, und Prof. H.-R. Tränkle, Universität der Bundeswehr München, lädt zur Anmeldung von Vorträgen zu den folgenden Themen ein:

- Grundlagen der Sensortechnik
- Neue Sensoren und Materialien
- Neue Herstellungstechniken
- Qualitätskontrollen und Kontrollen von Fertigungsverfahren
- Intelligente Sensorsysteme
- Sensor-Signalverarbeitung (Fuzzy Logic, neuronale Netze, etc.)
- Entwurf und Simulation von Sensoren
- Drucksensoren und Druckmessungen
- Optische Sensoren und Meßverfahren
- Chemische Sensoren und Feuchtemessungen
- Distanz- und Wegmessungen
- Kraft- und Beschleunigungsmessungen
- Temperatur- und Wärmeübertragungsmessungen
- Geschwindigkeits- und Durchflußmessungen
- Spezielle Sensorapplikationen
- Technologie-Trends und -Prognosen
- Markt- und Marketing-Informationen

Anmeldeschluß für Vorträge ist der 31. Januar 1993.

Weitere Informationen sind erhältlich beim Veranstalter: ACS Organisations GmbH, Postfach 23 52, W-3050 Wunstorf 2, Tel. (0 50 33) 20 15, Fax (0 50 33) 10 56.