

Herstellung integriert-optischer Wellenleiter durch Excimer- und fs-Pulslaser für die interferometrische Positionsregelung

Andreas Kornfeld, Uwe Stute, Niko Bärsch, Jürgen Czarske, Andreas Ostendorf

Laser Zentrum Hannover e.V.

Hollerithallee 8, 30419 Hannover

<mailto:ak@lzh.de>

Zur Realisierung eines integriert-optischen Interferometers zur Positionsregelung eines Mikrolinearmotors werden drei Ansätze der Lasermaterialbearbeitung vorgestellt. Die Methoden der Ablation, der Polymerisation und der Brechzahlmodifikation ermöglichen eine Strukturierung transparenter Substrate, welche die Herstellung optischer Wellenleiter bzw. Direktionalkoppler zulässt.

1 Einführung

Die Positionsregelung eines aktiven Mikrolinearmotors erfordert neben einer Ortsauflösung von 100 nm bei sehr kompakter Bauweise eine möglichst geringe Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Streufeldern sowie Temperatur- und Luftdruckschwankungen. Durch die Lagerung und den Antrieb des Läufers sind dies die zu erwartenden Randbedingungen für den Betrieb eines solchen Systems.

Die beschriebenen Anforderungen sind durch ein symmetrisch aufgebautes, integriertes Interferometer erfüllbar. Es basiert auf folgendem Prinzip:

Der Strahl einer kollimierten Laserdiode wird durch ein diffraktives Gitter beidseitig in zwei erste Ordnungen reflektiert. Bei der Verschiebung des Gitters ändert sich die relative optische Phase. Diese kann durch Einkopplung in einen integrierten 3x3-Wellenleiterkoppler detektiert werden, der als Mach-Zehnder-Interferometer arbeitet (Abb. 1).

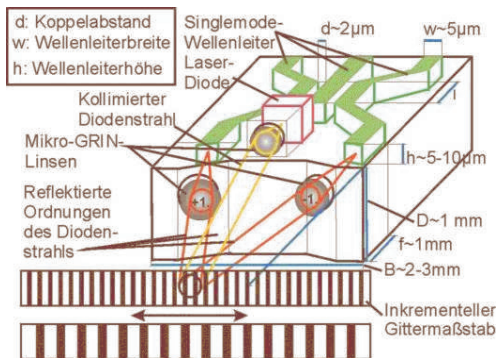


Abb. 1: Prinzipskizze des integrierten interferometrischen Kopplers

Aufgrund von Energieerhaltung stellen sich die drei Ausgangssignale mit einer relativen Phasenver-

schiebung von 120° ein, welche neben der Geschwindigkeitsmessung durch Zählen der Null-durchgänge auch eine Richtungssinnunterscheidung aufgrund der Reihenfolge der drei Signale ermöglicht. Damit ist eine Positionsregelung erreichbar.

2 Parameter, Simulationen

Zur Abschätzung der optischen Parameter des angestrebten Direktionalkopplers geht man zunächst von einem quadratischen Streifenwellenleiter der Kantenlänge d und der Brechzahl n_2 gegenüber n_1 des umgebenden Substrates aus. Bei einer Arbeitswellenlänge λ_0 ergibt sich die Anzahl geführter Moden M , die hier < 2 sein sollte, zu

$$M = \frac{\pi}{4} \left(\frac{2d}{\lambda_0} \right)^2 (n_1^2 - n_2^2) \quad (1)$$

Für Einzelmodenführung eines (kreisförmigen) Wellenleiters ist als Kriterium der V -Parameter mit $V < 2,405$ einzuhalten, der sich aus dem Radius a und der Numerischen Apertur NA ergibt:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA \quad (2)$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$

Aufgrund der Komplexität der Berechnung der Koppellänge L_0 bzw. -Stärke C mit

$$L_0 = \frac{\pi}{2C}; C = \frac{1}{2(n_1^2 - n_2^2)} \frac{\kappa_0^2}{\beta} \int_a^{a+d} u_1(y) \circ u_2(y) dy \quad (4)$$

wird ausgehend von der Brechzahldifferenz und dem Überlappintegral der Feldmoden benachbarter Wellenleiter u_1, u_2 die resultierende Koppellänge berechnet. Dies wird durch das BPM-Programm SIMINOPEL zur Wellenausbreitung in Planarwellenleitern simuliert. Als Resultat ist in Abb. 2 die orts aufgelöste Intensität dreier Wellenleiter nach Einkopplung einer TEM₀₀-Gaussmode dargestellt.

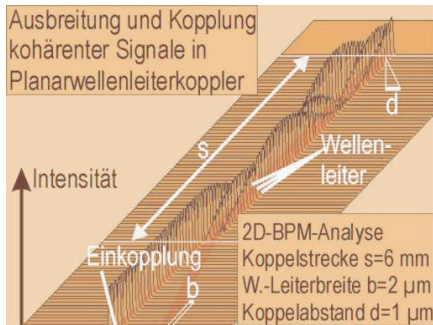


Abb. 2: Intensitätsverteilung einer Gaussmode bei Ausbreitung entlang der Koppelstrecke s

3 Fertigungsansätze

Zur Fertigung der benötigten Strukturen werden alternativ zu den etablierten lithografischen Verfahren Lasermaterialbearbeitungsmethoden untersucht [1], welche flexibel mit wenigen Schritten und ohne aufwändige Maskenfertigung das Schreiben von Wellenleitern ermöglichen.

Die UV-Excimerlaser-Ablation von BK7-Glas ergab bei einer Pulsenergie von 1 µJ und einer Pulsrate von 1 KHz Rillenstrukturen, welche Polymergefüllt als Wellenleiter genutzt werden sollen. Der guten Kontrollierbarkeit stehen eine hohe Rauheit (vgl. Abb. 3) der optischen Grenzflächen sowie mögliche Luftporen insbesondere bei hochviskosen Polymeren gegenüber.

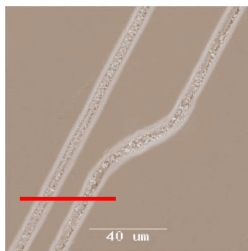


Abb. 3: REM-Aufnahme einer ablatierten Doppel-Rille als Kopplerstudie

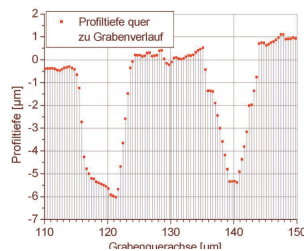


Abb. 4: Querschnittsprofil der in Abb. 3 gezeigten Rillenstruktur (rote Markierung)

Aufgrund der geringeren erzielbaren Rauheit wurde als zweite Methode die excimerlaserbasierte UV-Polymerisation dünner Spincoatings basierend auf Ormoceren auf Glasoberflächen realisiert. Durch Einbettung der resultierenden Stegstrukturen (Abb. 5) in ein zweites Polymer niedriger Brechzahl sind auf diesem Wege Wellenleiter her-

stellbar, deren Rauheit mit $R_a < 100$ nm geringe Streuung bzw. Dämpfung für den Wellenleiter erwarten lassen.

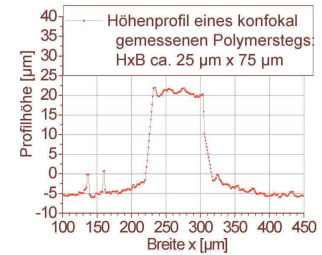
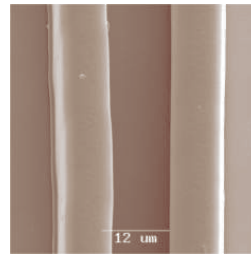


Abb. 5: Excimer-UV- **Abb. 6:** Querschnitt eines Laser-polymerisierten Polymersteges

Da in beiden Fällen nur planare Konfigurationen von Wellenleitern möglich sind und die Bearbeitung hybrider Schnittflächen komplexe Glättungsmethoden erfordert, wurde parallel die in Abb. 7 gezeigte Brechzahlmodifikation [2] durch fs-Puls laser untersucht. Die durch 150 fs-Pulse erzielten linearen Kanäle konnten als Wellenleiter anhand ihrer in Abb. 8 dargestellten Nahfeld-Transmission nachgewiesen werden.

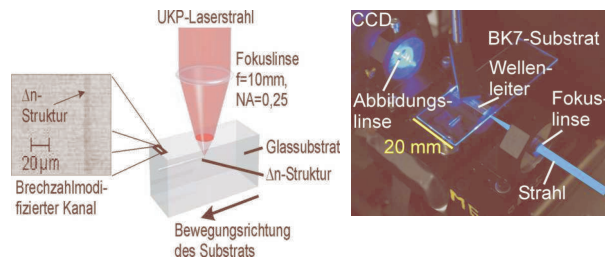


Abb. 7: Brechzahlmodifikation durch fs-Puls laser transversal **Abb. 8:** But-Coupling in linearen Wellenleitern

4 Ausblick und Fazit

Aufgrund der nachgewiesenen Wellenleitung wurden durch die fs-Brechzahlmodifikation geknickte bzw. gekoppelte Strukturen erzeugt und die zur Überkopplung erforderliche Geometrie untersucht. Damit werden auch weitere integrierte Funktionsbauteile im kompakten 3D-Schichtaufbau ermöglicht. Das Einfügen geeigneter Fotosensoren zur Detektion eröffnet langfristig weitere Einsatzfelder in der integrierten Sensorik oder für PC-Interfaces.

Literatur

- [1] A. Kornfeld, U. Stute, J. Czarske, A. Ostendorf, J. Flüge: *Laserbasierte Herstellung von Wellenleitern für die interferometrische Positionsmessung*, Sensormagazin 06/2003, Magazin Verlag (2003)
- [2] M. Will, S. Nolte, A. Tünnermann: *Single- and Multimode waveguides in glasses manufactured with femtosecond laser pulses*, Proceedings Photonics West 2002