

DOE aus Glas für den Nd:YAG-Laser

042 T.Vahrenkamp¹, H.Kreitlow¹,
H.Schütte², C.Thoma²

Auf der Basis des Brechzahlgradientenglases BGG 31 [1], das bislang für die Herstellung von Bauteilen der optischen Nachrichtentechnik eingeführt ist, stellen wir einen 1 %-Strahlteiler als Diffraktives Optisches Element (DOE) für den Einsatz in einem Nd:YAG-Leistungslaser vor. Das neuartige DOE aus Glas kann in Verbindung mit einem Leistungsmeßsystem in einem Laser genutzt werden. Aufgrund der eingepprägten Brechkraft kann das Bauelement, wie wir zeigen, auch auf sehr direkte Weise für die permanente Strahlanalyse eines Nd:YAG-Lasers eingesetzt werden.

Technologie

Die Basistechnologie für die Herstellung dieser DOE aus Glas ist der thermische Ionenaustausch, eine Technologie, die für die Herstellung von integriert-optischen Bauelementen aus Glas eingeführt ist. Ein entsprechendes Substratglas wird mit einer Dünnschicht-Maske aus Titan oder Chrom versehen und beispielsweise in eine Silbernitrat-Schmelze gegeben (**Bild 1**). An den Stellen, an denen die Maskierung durchlässig ist, findet in der Salzschmelze ein Austausch der glaseigenen Na-Ionen gegen die Ionen der Schmelze statt. Der Brechungsindex wird dabei lokal angehoben: es entsteht ein Brechzahlgradient im Glas.

Brechzahlgradientengläser [1] sind an den Prozess des thermischen Ionenaustausches in besonderer Weise angepasst: durch den Ionenaustausch entstehen praktisch keine mechanischen Spannungen im Glas. Gleichzeitig ist der Reintransmissionsgrad dieser Gläser, die bisher in der optischen Nachrichtentechnik Anwendung finden, sehr hoch.

Werden unterschiedliche Maskenöffnungen in der Dünnschicht-Maske verwendet, so ergeben sich je nach Wahl der Prozessparameter verschiedene Diffusionstiefen. Durch geeignete Pixelung und Strukturgebung der Maske lässt sich dieser Effekt nutzen, um flächige Phasenverlaufelemente herzustellen [2].

DOEs aus Brechzahlgradientenglas

In wieweit sich der Ionenaustausch auch für die Herstellung von DOEs eignet, wurde von den Autoren im Rahmen eines anwendungsorientierten Entwicklungsprogrammes untersucht. Die funktionstragenden diffraktiven Strukturen des DOE bilden dabei ein optisches Phasengitter im Glas, das die Strukturinformation der Dünnschicht-Maske enthält.

Als Substratglas für die Herstellung von DOEs wurde das Schott-Glas BGG 31 ausgewählt. Zum einen lassen sich in dem Glas aufgrund

des Silber-Ionenaustausches relativ hohe Brechzahlgradienten realisieren; darüber hinaus bewies das Glas eine sehr hohe Strahlungsfestigkeit gegenüber dem Nd:YAG-Laser, was eine Reihe von Tests zeigten.

Die für die Strukturierung eingesetzten Masken leiten wir aus synthetischen Hologrammen ab. Die optische Funktion des DOE wird dabei zunächst mit dem Computer als synthetisches Hologramm si-

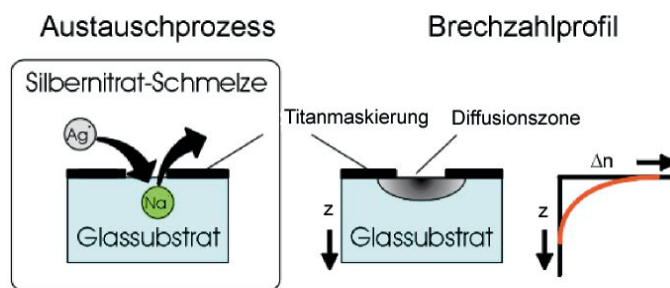


Bild 1 Prinzip des thermischen Ionenaustausches in Glas

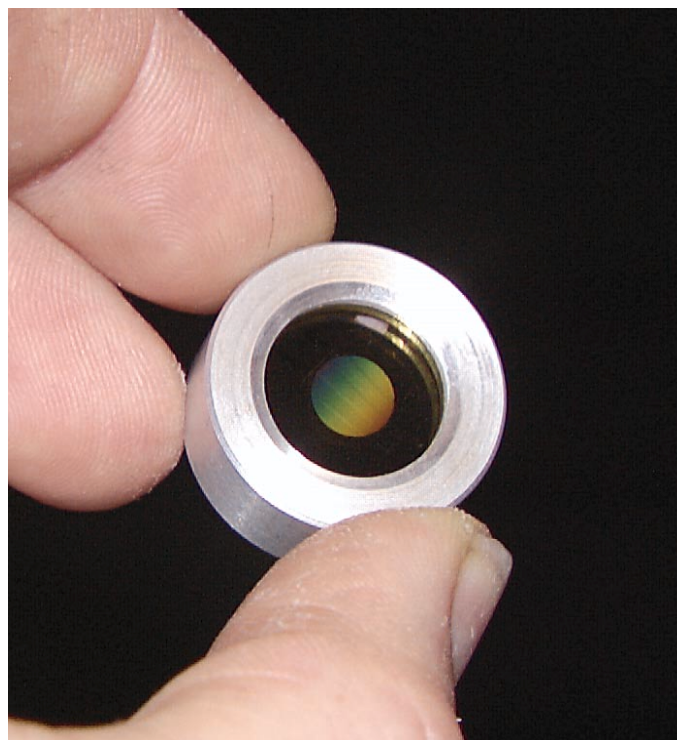


Bild 2: DOE aus Glas: Funktionsmuster des 1%-Strahlteilers für die Anwendung in Nd:YAG-Lasersystemen

¹ Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven, Emden
² Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven, Wilhelmshaven

● Off-axis Winkel	(l_1)	: 0,1 rad – 0,2 rad	
● Strahlteilungsgrad	(I_1 / I_0)	: $\leq 1,0 \%$	(bei 1064 nm)
● Transmission	(I_0)	: $> 97,8 \%$	(bei 1064 nm)
● Aberrationen	(I_0)	: $< \lambda/4$	(bei 633 nm)
● Oberflächen		: AR-beschichtet (Ion-Plating)	
● Durchmesser DOE		: 7 mm \varnothing	(10 mm x 10 mm)
● Brennweite	(f_1)	: 300 mm	(bei 1064 nm)

Zusätzlich zu der Strahlteilungsfunktion wurde dem DOE eine Brechkraft von einigen Dioptrien eingeprägt. Diese optische Funktion entspricht der einer off-axis Linse (off-axis Asphäre). Der ausgekoppelte Strahl wird entsprechend fokussiert. Im Brennpunkt des ausgekoppelten Strahles wird ein Bild des Laserfokus in der ersten Beugungsordnung beobachtet. Dazu wurde der 1 %-Strahlteiler direkt hinter den Laser-Resonator in den Strahl eingesetzt. Der Strahldurchmesser beträgt an dieser Stelle etwa 6 mm. Der trans-

Tabelle 1: Spezifikation unserer Funktionsmuster eines 1%-Strahlteilers

multiert und anschließend wird eine Druckmaske erzeugt. Als Druckmaske haben wir Fotoklischees in der Formatgröße DIN A3 oder größer eingesetzt. Diese Vorlagen wurden mit gängigen Methoden der Mikrolithographie auf die gewünschte Größe des DOEs reduziert.

Bild 2 zeigt eines der hergestellten DOEs aus BGG 31, die zur weiteren messtechnischen Erprobung und besseren Handhabung in eine 25 mm-Zentrierfassung eingesetzt wurden. Die Dicke des Substratglases beträgt 2 mm. Phasengitter mit einem Durchmesser von 2 mm bis 16 mm wurden bisher realisiert.

Neuartiger 1%-Strahlteiler

Als Anwendung mit Produktpotenzial stellen wir einen neuartigen 1 %-Strahlteiler vor, der auf der beschriebenen Herstelltechnologie basiert (**Bild 3**). Das DOE ist für Anwendungen im Nd:YAG-Laser mit hohen Leistungen konzipiert und kann zur Strahlteilung in Verbindung mit dem Leistungsmeßsystem im Laser eingesetzt werden.

Der Laserstrahl I soll durch das Strahlteilerelement möglichst wenig geschwächt werden. Das wird durch einen kleinen, eingeprägten Strahlteilungsgrad von unter 1 % erreicht. Beide Planoberflächen werden zusätzlich entspiegelt. Mit Hilfe der Ion-Plating-Technologie erzielt man besonders widerstandsfähige Anti-Reflex-Vergütungen. Der Strahlteiler mit den in **Tabelle 1** angegebenen Spezifikationen ist unempfindlich gegenüber Abweichungen im Montagewinkel. Bei kleinen Winkeln, etwa unterhalb von 0,2 rad, ist der Strahlteilungsgrad praktisch polarisationsunabhängig. Der Strahlteilungsgrad ist ein eingeprägter Parameter, der über die Prozessparameter und die holografische Maske festgelegt wird.

Die durch das DOE aus Glas erzeugten Phasenfehler sind sehr gering und für diese Anwendung vernachlässigbar. Die bisher erzeugten Funktionsmuster des 1 %-Strahlteilers haben wir mit einem Twyman-Green-Interferometer in bezug auf die Phasenaberrationen untersucht. Die Phasenaberration in Transmission spezifizieren wir mit maximal ein Viertel der Wellenlänge (für He-Ne-Laser, 633 nm).

Laserstrahl-Monitoring

Zur Messung und Überwachung der Strahlleistung des Lasers wird die Leistung des abgeteilten Strahles I_1 mit Hilfe eines Pyro-Detektors erfasst.

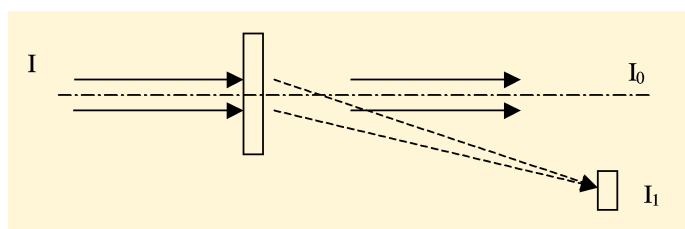


Bild 3: Aufbau und Wirkungsweise des 1%-Strahlteilers

mittierte Strahl bleibt bis auf eine Abschwächung im Prozentbereich unbeeinflusst.

Der 1 %-Strahlteiler kam im regulären Betrieb des Nd:YAG-Lasers beim Laserschneiden zum Einsatz. Die Pulsenergie betrug etwa 2 J. Die dargestellte Bildfolge (**Bild 4**) wurde mit einer CCD-Kamera im Brennpunkt des abgeteilten Strahles aufgenommen. Für die weiter-

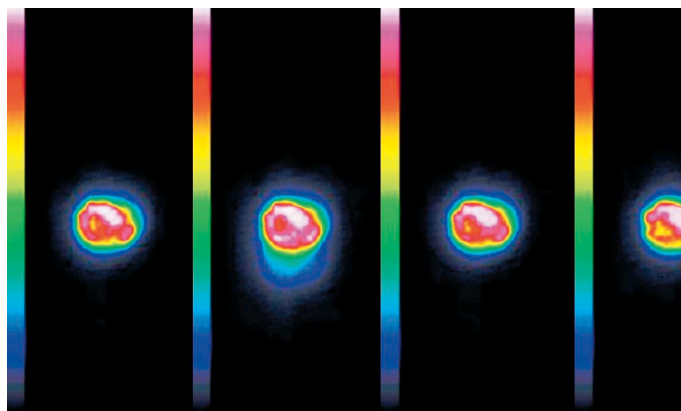


Bild 4: Einsatz des neuartigen 1%-Strahlteilers für die Laser-Strahlanalyse an einem Nd:YAG-Laser. Die Spotdiagramme sind mittels Falschfarben (Spektralfarben) dargestellt.

gehende Auswertung des elektronischen Bildes und die Analyse der Strahlparameter verwendeten wir ein handelsübliches System der Firma Coherent.

Homogenität des 1%-Strahlteilers

Die durch die thermische Diffusion erzielte Phasenmodulation in BGG 31-Substraten ist in weiten Parameterbereichen von den Strukturdimensionen der Maske abhängig. Um so höher die Linienfrequenz des eingeschriebenen Phasengitters ist, um so geringer wird der erzielbare Phasenhub. Für die beschriebene Anwendung des 1 %-Strahlteilers kann dies zu unerwünschten Abhängigkeiten führen. Um den 1 %-Strahlteiler in der optischen Messtechnik einsetzen zu können, muss der Strahlteilungsgrad über der Fläche konstant sein. Dem wurde durch die Strukturierung und die Wahl der Prozessparameter Rechnung getragen.

Die Prüfung des Strahlteilers in bezug auf die Homogenität erfolgte mit Hilfe eines telezentrischen Laser-Scan-Verfahrens. Dabei wurde die freie Fläche des DOE mit einem Laser abgetastet und der lokale Wert des Beugungswirkungsgrades gemessen.

Der Einsatz eines He-Ne-Lasers für die Abtastung des DOE vereinfacht den messtechnischen Aufbau und die Durchführung der Messung. Mit der in bezug auf die Anwendung kürzeren Wellenlänge erzielt man an dem 1 %-Strahlteiler einen um den Faktor 2,3 höheren (lokalen) Beugungswirkungsgrad. Das Verhältnis wurde durch

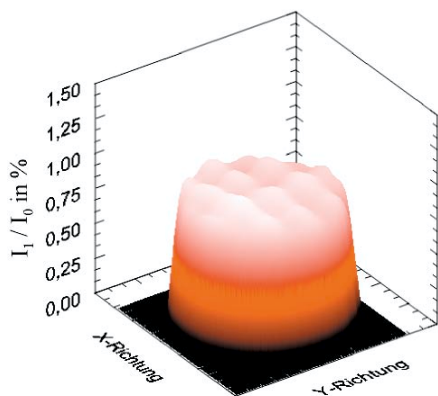


Bild 5: Strahlteilungsgrad I_1 / I_0 über einer Fläche von 10 mm x 10 mm, gemessen mit dem He-Ne-Laser (skaliert für 1064 nm)

Aliasing) in der Druckmaske. Diese schwach ausgebildeten Artefakte in der Druckmaske sind augenscheinlich auf die Überlagerung der holografischen Struktur mit der Pixelstruktur des Fotoplotters (30 µm) zurückzuführen. Durch eine verbesserte Maskentechnik wollen wir diese Artefakte zukünftig reduzieren oder gänzlich abschließen.

Ausblick

Das Ziel der Arbeitsgruppe an der Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven ist die Entwicklung weiterer innovativer technischer Anwendungen auf der Basis dieser neuartigen DOEs aus Glas. So wird zum Beispiel an die gezielte Strahlformung für das Laser-Schneiden oder Laser-Schweißen mit dem Nd:YAG-Laser gedacht. Auch Anwendungen auf dem Gebiet der Lichttechnik und im optischen Gerätebau sind denkbar. Die planare Fertigungstechnologie dieser DOEs verspricht eine einfache Überführung der Bauelemente in eine Serienproduktion bei marktfähigen Stückkosten. Für das Design und die praktische Umsetzung neuartiger Anwendungen sind Partner aus der Industrie gefragt.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der früheren Fa. IOT, Waghäusel-Kirrlach als Projektpartner für die erfahrene Unterstützung. Das Projekt wurde durch den Europäischen Fond für Regionalentwicklung (EFRE) gefördert. Wir bedanken uns für die Unterstützung seitens des Projektträgers.

Literatur

[1] Roß L.: *Integrierted Optical Components in Substrate Glasses*, Glastechnische Berichte **62**(8) (1989) 285-297

Vergleichsmessungen mit dem Nd:YAG-Laser experimentell ermittelt (ohne Glasdispersion ergibt sich theoretisch etwa der Faktor 2,8).

Der lokale Wert des Beugungswirkungsgrades, im Bild 5 mit I_1 / I_0 bezeichnet, variiert auf spezifische Weise um einige Prozent. Die Inhomogenitäten korrelieren weitgehend mit Moire-Strukturen (Pixel-

[2] Bähr J.; Brenner K.-H.: *Realization of refractive continuous phase elements with high design freedom by mask structured ion exchange*, Proc. SPIE **4437** (2001) 50-60

Ansprechpartner:

Prof. Dr. C. Thoma
 Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven
 Friedrich-Paffrath Str. 101
 26389 Wilhelmshaven
 tel. (+)4421 / 985-2285
 FAX (+)4421 / 985-2383
 e-mail: uthoma@fbf.fh-wilhelmshaven.de

Zu den Autoren:



T.Vahrenkamp H.Kreitlow H.Schütte C.Thoma

Dipl.-Ing. Torsten Vahrenkamp,

arbeitet seit Projektbeginn im Herbst 1999 auf dem Gebiet der DOEs aus Glas mit und fertigt am Institut für Lasertechnik Ostfriesland (ILO) der Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven am Standort Emden seine Dissertation an.

Prof. Dr. Horst Kreitlow

wurde 1984 an die jetzige Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven berufen und vertritt am Standort Emden die angewandte Lasertechnik einschließlich der Holografie. Er leitet das Institut für Lasertechnik Ostfriesland, Emden.

Helmut Schütte,

seit 1996 an der jetzigen Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven, ist als Laborassistent zuständig für die Technische Mikroskopie im Labor für Technische Optik und die Mikrolithografie am Standort Wilhelmshaven.

Prof. Dr. Christoph Thoma

wurde 1995 an die jetzige Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven berufen. Er leitet das Labor für Technische Optik am Standort Wilhelmshaven und berichtet als Projektleiter des kürzlich abgeschlossenen EFRE-Projektes über die Ergebnisse.

ANZEIGE(N)