



IFSW Spin-off MarTec Photonics liefert Gitterspiegel für einzigartige Anwendungen in der Lasertechnik

Über die Technologie Transfer Initiative (TTI) GmbH der Universität Stuttgart wurde das IFSW Spin-off MarTec Photonics (www.martec-photonics.com) gegründet, welches sich der Vermarktung und Weiterentwicklung von resonanten Gitterspiegeln widmet. Die Motivation dafür lag im langjährigen Erfolg des IFSW in zahlreichen Forschungsarbeiten zu sogenannten „Gitter-Wellenleiter-Strukturen“ (GWS). Die Arbeiten konzentrieren sich derzeit auf einen Ausbau der eigenen Herstellungskapazitäten.

Eine GWS ist die schlichte Kombination aus planaren dielektrischen Wellenleitern und Beugungsgittern mit Perioden im Sub-Wellenlängenbereich. Ein Substrat, z.B. Quarzglas, wird als Träger benötigt um der ganzen Struktur mechanische Stabilität zu geben. Wird eine GWS in einen Laserstrahl gebracht, können einzigartige Resonanzen in der Struktur auftreten, welche für bestimmte Kombinationen von Einfallswinkel des Laserstrahls, seiner Polarisation und Wellenlänge auftreten und zu einer Effizienz von (theoretisch) 100% in Reflektion, Transmission oder Beugung führen. Dies ermöglicht einzigartige Anwendungen in der Lasertechnik.

GWS können sowohl im Resonator des Lasers eingesetzt werden als auch außerhalb. Man unterscheidet (Abb. 4) unter anderem zwischen GWS basierend auf der resonanten Reflektion (RR-GWS), GWS basierend auf der resonanten Beugung (engl. „resonant diffraction“, RD-GWS) und GWS der Anregung von verlustbehafteten Moden (engl. „leaky mode“, LM-GWS).

Als Beispiel für die enorme Leistungsfähigkeit und Einsatzvielfalt der GWS sollen hier fünf Anwendungen vorgestellt

werden. Dabei im Scheibenlaser 1) der Einsatz der RD-GWS bei der resonator-internen Stabilisierung von Polarisation und Wellenlänge. Dies erlaubte einen Rekord in Effizienz bei der Frequenzkonversion durch einen nichtlinearen Kristall im Resonator [Die17], 2) der Einsatz der LM-GWS bei der Erzeugung von neuen Rekorden in Ausgangsleistung von radial polarisierten Laserstrahlen als quasi hochreflektiver Endspiegel des Resonators [Die18] oder 3) als Auskoppelspiegel im modengekoppelten Scheibenlaser [Bei18] und 4) der Einsatz der RR-GWS beim breitbandigen Durchstimmen der Emissionswellenlänge [Wen16]. Als 5) wird die Kompression von Laserpulsen mit der RD-GWS vorgestellt [Rum14], wobei neue Rekorde in der Effizienz für Pulskompressionsgitter erreicht wurden.

1) Am IFSW wurde eine RD-GWS als Endspiegel in Littrow-Konfiguration in den Resonator eines Yb:LuAG Scheibenlasers eingebaut um lineare Polarisation und eine Wellenlänge von 1030 nm zu stabilisieren. Ein nichtlinearer Kristall (LBO) im Resonator wurde für die Frequenzverdopplung verwendet. Es gelang so Strahlen mit einer Leistung

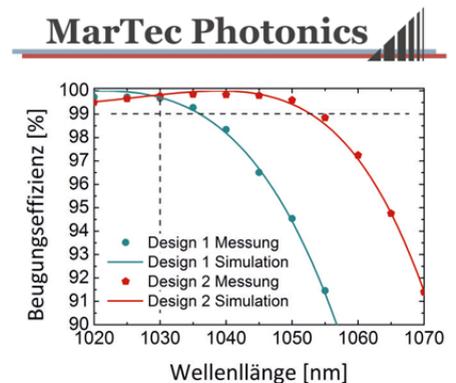


Abbildung 2: Beispielhafte Messungen der Beugungseffizienz von Gitterspiegel (RD-GWS) für den Einsatz im Scheibenlaser oder als Pulskompressionsgitter.

von bis zu 1016 W aus dem Laser auszukoppeln mit einer Strahlqualität von $M^2 = 20$. Die optische Effizienz bezüglich infraroter Pumplleistung (bei 969 nm Wellenlänge) zu frequenzverdoppelter Ausgangsleistung (515 nm Wellenlänge) betrug dabei 51.6%. In einem anderen Versuch konnten Strahlen mit einer Leistung von 403 W ausgekoppelt werden bei einer gemessenen Strahlqualität von $M^2 = 1.3$ [Pie16]. Die optische Effizienz betrug dabei 40.7%. Die Leistungsdichte auf der GWS lag bei 133 kW/cm^2 und ihre Beugungseffizienz bei $\geq 99.8\%$ (Abb. 2).

2) Im selben Yb:LuAG Scheibenlaser wurde eine LM-GWS als Endspiegel eingebaut, die radial polarisiertes Licht mit 99.8% reflektiert und azimutale Polarisationszustände transmittiert (Abb. 1). Dies stabilisiert folglich den Laserstrahl im Resonator auf radiale Polarisation. Der Unterschied in Reflektion zwischen radialer und azimutaler Polarisation betrug dabei ca. 45%. Es gelang so Laserstrahlen mit einer Wellenlänge von 1030 nm mit einer Leistung von bis zu 980 W auszukoppeln. Die gemessene Strahlqualität betrug $M^2 = 2.2$ und der Laser hatte eine optische Effizienz von 50.5% (bezogen auf die

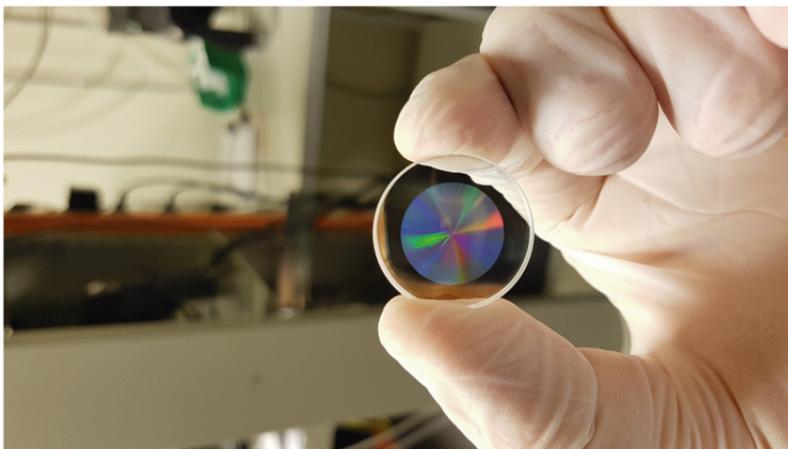


Abbildung 1: LM-GWS mit zirkularer Gitterstruktur von 15 mm im Durchmesser, entwickelt im IGF Projekt „SubWell“ (18728 N).

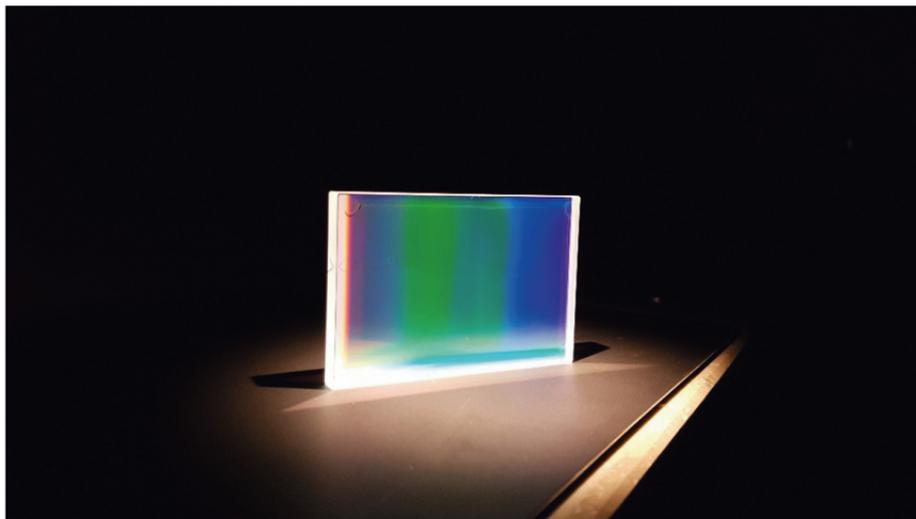


Abbildung 3: 75 mm x 50 mm RD-GWS zur Pulskompression, entwickelt im Horizon 2020 Framework Programme im Projekt "Hiperdias" (687880).

Pumpstrahlung von 969 nm). Mit einem am IFSW entwickelten Polarimeter konnte der Grad der radialen Polarisation des ausgekoppelten Laserstrahls zu 95.5% gemessen werden.

3) In einer anderen Demonstration am IFSW wurde ein LM-GWS als Auskoppelspiegel in einem modengekoppelten Yb:YAG Scheibenlaser eingesetzt, bei welchem der gemessene Grad der radialen Polarisation der erzeugten Laserstrahlen einen ebenso hohen Wert von 97% aufwies [Bei18]. Es konnten Laserstrahlen mit einer mittleren Leistung von 125 W, einer Pulsdauer von 0.97 ps und Pulsenergie von 1.6 µJ (bei 78 MHz Repetitionsrate) erzeugt werden. Die Pulsspitzenleistung betrug 1.45 MW und eine Strahlqualität von $M^2 = 2.16$ wurde gemessen.

4) Eine RR-GWS wurde im Resonator eines Scheibenlasers als Faltungsspiegel verwendet um die Emissionswellenlänge neuartiger laseraktiver Materialien für den Ultrakurzimpulsbetrieb durchzustimmen [Wen16]. So konnten z.B. Yb:SSO von 990-1070 nm, Yb:CALGO von 1002-1067 nm und Yb:CaF2 sogar von 993-1085 nm durchgestimmt werden.

5) Da die RD-GWS im Prinzip ein reflektives Beugungsgitter ist, eignet sie sich für das Strecken und Komprimieren von Laserpulsen. In einem externen Test konnte eine Effizienz für einen Pulskompressor von 96.3% demonstriert werden [Rum14]. Dafür wurden zwei RD-GWS verwendet, die eine Beugungseffizienz von $99.3 \pm 0.2\%$ aufwiesen und der Laserstrahl wurde insge-

samt viermal über die GWS geführt. Die GWS hatten keinen negativen Einfluss auf die spektrale Phase der Pulse. Die Laserpulse mit einer Wellenlänge von 1030 ± 3 nm, Pulsenergie von >20 nJ und mittlerer Leistung von 1 W (50 kHz Repetitionsrate) wurden so von 8 ps auf 412 fs komprimiert. Ein wesentlicher

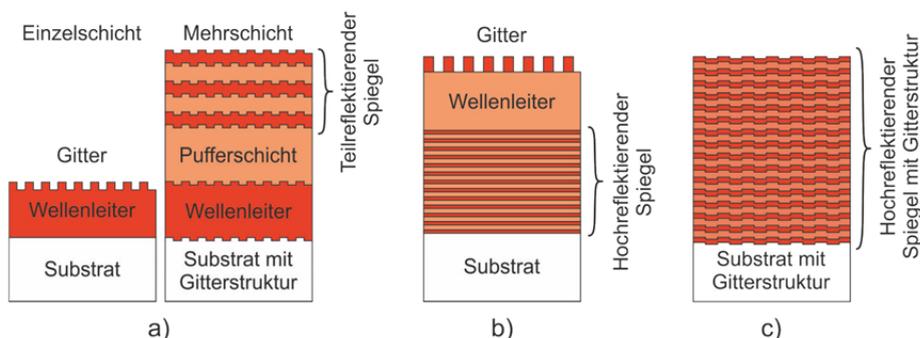


Abbildung 4: Beispielhafter Aufbau einer a) RR-GWS, bestehend aus einer oder mehreren Schichten, b) einer RD-GWS und c) LM-GWS.

Parameter bei Pulskompressionsgittern ist die laserinduzierte Zerstörschwelle. Da eine RD-GWS voll-dielektrisch ist (Abb. 3), kann sie im Prinzip Zerstörschwellen von mehreren J/cm² für Laserpulse im fs Bereich ermöglichen.

REFERENZEN:

[Bei18] F. Beirou, M. Eckerle, B. Dannecker, T. Dietrich, M. A. Ahmed, and T. Graf, "Radially polarized passively mode-locked thin-disk laser oscillator emitting sub-picosecond pulses with an average output power exceeding the 100 W level," *Optics Express*, 26(4),

4401-4410 (2018)

[Die18] T. Dietrich, M. Rumpel, F. Beirou, C. M. Mateo, C. Pruss, W. Osten, M. A. Ahmed, and T. Graf, "Thin-disk oscillator delivering radially polarized beams with up to 980 W of CW output power," *Optics Letters* 43(6), 1371-1374 (2018)

[Die17] T. Dietrich, S. Piehler, M. Rumpel, P. Villeval, D. Lupinski, M. A. Ahmed, and T. Graf, "Highly-efficient continuous-wave intra-cavity frequency-doubled Yb:LuAG thin-disk laser with 1 kW of output power," *Optics Express* 25(5), 4917-4925 (2017)

[Pie16] S. Piehler, T. Dietrich, M. Rumpel, T. Graf, and M. A. Ahmed, "Highly efficient 400 W near-fundamental-mode green thin-disk laser," *Optics Letters*, 41(1), 171-174 (2016)

[Rum14] M. Rumpel, M. Moeller, C. Moormann, T. Graf, and M. A. Ahmed, "Broadband pulse compression gratings with measured 99.7% diffraction efficiency," *Optics Letters* 39(2), 323-326 (2014)

[Wen16] K. Wentsch, "Analyse Ytterbium-dotierter Materialien für den Einsatz in ultrakurz-gepulsten Scheibenlasersystemen," Dissertation, IFSW (2016)

AUTOREN:

Martin Rumpel
TTI GmbH – TGU MarTec Photonics
Nobelstraße 15, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 64903
contact@martec-photonics.com
www.martec-photonics.com

Marwan Abdou Ahmed
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 69755
marwan.abdou-ahmed@ifsw.uni-stuttgart.de
www.ifsw.uni-stuttgart.de