

Optische Hochfrequenztechnik und Photonik

Johannes Hagen

Spektral beherrschter Raman-Faserlaser

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7167-1

ISSN 1866-6043

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung: Spektral beherrschter Raman-Faserlaser

Raman-Faserlaser stellen effiziente Quellen für den nahen Infrarotbereich dar. Durch Frequenzverdopplung können leistungsstarke Strahlquellen im gelben Spektralbereich realisiert werden, die für medizinische oder wissenschaftliche Zwecke interessant sind. Im Rahmen dieser Arbeit werden hierzu Raman-Faserlaser und Raman-MOPAs im Hinblick auf ihre Eignung als Quelle für einen Frequenzverdopplungsprozess untersucht. Die optische Frequenzverdopplung in Kristallen mit Quasi-Phasenanpassung stellt hohe Anforderungen an die Bandbreite des Laserlichts. Daher werden die spektralen Eigenschaften von Raman-Faserlasern und Raman-MOPAs sowohl theoretisch als auch im praktischen Versuchsaufbau untersucht, bewertet und optimiert. Hierzu werden numerische Simulationsmodelle und Verfahren zur gezielten Abstimmung der spektralen Eigenschaften vorgestellt.

Ausgehend von einer umfangreichen Literaturrecherche zu nichtlinearen Effekten im Raman-Faserlaser werden diejenigen Effekte näher beleuchtet, die Einfluss auf die spektralen Eigenschaften eines Raman-Faserlasers/Raman-MOPAs nehmen. Hierzu sind hauptsächlich auf dem Kerr-Effekt basierende nichtlineare Effekte wie z.B. die Vierwellenmischung zu nennen. Deren Effizienz wird wiederum durch Selbst- und Kreuzphasenmodulation beeinflusst. Weiterhin können zusätzlich höhere Raman-Stokes-Ordnungen, stimulierte Brillouin-Streuung, Modulationsinstabilitäten und der "catastrophic fiber fuse"-Effekt auftreten. Die Auswirkungen dieser Effekte sowie Strategien zu deren Reduzierung oder Vermeidung werden ausführlich dargelegt. Die Vierwellenmischung zwischen longitudinalen Eigenmoden des Resonators ist hauptverantwortlich für die spektrale Verbreiterung des Stokes-Signals in einem Raman-Faserlaser bzw. Raman-MOPA. Die mathematische Beschreibung und Modellierung dieser Vorgänge stellt einen zentralen Punkt der Arbeit dar. Bei dem hierfür entwickelten Modell handelt es sich um ein kombiniertes Verfahren, das in der Lage ist, das Randwertproblem der Leistungsverteilung in Raman-Faserlasern unter Einbeziehung von leistungsabhängigen Gitterreflektivitäten zu lösen. Dazu werden die Leistungsgleichungen mit einem Schießverfahren iterativ gelöst. In jedem Iterationsschritt wird die spektrale Verbreiterung durch die Anwendung der nichtlinearen Schrödingergleichung bestimmt. Daraus berechnen sich die effektiv wirksamen FBG-Reflektivitäten. Dieses Verfahren wird anhand von Messungen am Raman-Faserlaser aber auch anhand spezieller Verstärkeranordnungen verifiziert. Weiterhin wird ein Verfahren vorgestellt, das die Abstimmung der spektralen Eigenschaften eines Raman-Faserlasers bzw. Raman-MOPAs erlaubt. Durch gezielte inhomogene Temperierung der FBGs wird ein Chirp induziert, wodurch die Reflektivität stufenlos reduziert und die Reflexionsbandbreite stufenlos vergrößert werden kann. Da die spektrale Verbreiterung durch Vierwellenmischung ein leistungsabhängiger Prozess ist, kann durch höhere Auskopplung die resonatorinterne Leistung gezielt reduziert und damit die spektrale Verbreiterung minimiert werden.

Ein Single-Pass Aufbau zur Frequenzverdopplung mittels eines periodisch gepolten MgO:LiNbO_3 -Kristalls wird diskutiert. Die Messung des Maximalwerts der nichtlinearen Effizienz erreicht näherungsweise die Herstellerangabe von $1,4 \text{ \%}/\text{W}/\text{cm}$. Bei Einstrahlung der maximierten Grundwellenleistung von $3,44 \text{ W}$ wird eine Lichtleistung im gelben Spektralbereich bei 577 nm von ca. 440 mW gemessen. Dieser Wert übertrifft alle bislang publizierten Werte bezüglich des nichtlinearen Wirkungsgrades für Raman-Frequenzkonversion mit anschließender Frequenzverdopplung.