
Vorwort

Faseroptische Komponenten und Systeme verwenden Lichtwellenleiter, um Licht gezielt von einem Ort zu einem anderen zu transportieren. Glasfasern mit einem Durchmesser von Bruchteilen eines Millimeters verbinden dabei höchste Flexibilität in der Anwendung mit besten Übertragungseigenschaften. Der Grund dafür ist die geringe Lichtdämpfung im sichtbaren und im nahen infraroten Spektralbereich, die mit Fasern aus hochreinem Quarzglas erzielt werden kann. Derartige Glasfasern sind wichtige Schlüsselkomponenten in vielen technischen und wissenschaftlichen Anwendungen mit großer Relevanz für das tägliche Leben. Die Übertragung hoher Datenmengen über lange Glasfaserstrecken bildet nicht nur die Grundlage für das weltumspannende Internet, sondern für alle modernen Kommunikationsnetze. In der faseroptischen Messtechnik kann der Einfluss externer physikalischer Größen auf die optischen Übertragungseigenschaften einer Glasfaser gezielt für Sensoranwendungen genutzt werden. Glasfasern können höchste optische Leistungen eines Lasers von der Quelle bis zum Ort der Anwendung transportieren, z. B. in der Materialbearbeitung oder in der Medizintechnik. In Faserlasern wird die Glasfaser selbst zum aktiven Medium zur Erzeugung intensiver Lichtwellen.

Bei allen diesen Anwendungen können nichtlineare optische Effekte auftreten, wenn die Lichtintensität in der Glasfaser sehr groß wird. Durch derartige Effekte werden die Eigenschaften von Lichtwellen in Abhängigkeit von der optischen Leistung in der Glasfaser verändert. Nichtlineare faseroptische Effekte sind die Grundlage für eine Reihe von Anwendungen. So kann zum Beispiel für örtlich verteilte Sensoranwendungen mit Hilfe der stimulierten Brillouin-Streuung die Temperatur und Dehnung entlang einer Glasfaserstrecke gemessen werden. Auf Grundlage der stimulierten Raman-Streuung kann direkt in der Glasfaser eine Lichtverstärkung erzielt werden, um die Reichweite optischer Kommunikationsnetze zu erhöhen. Durch den optischen Kerr-Effekt können Lichtpulse derartig spektral verbreitert werden, dass Weißlichtquellen mit ausgezeichneten optischen Eigenschaften für Anwendungen in der Präzisionsmesstechnik entstehen. Mit Raman-Faserlasern kann Laserstrahlung bei Wellenlängen erzeugt werden, für die keine anderen geeigneten aktiven Medien zur Verfügung stehen.

In anderen Anwendungen machen sich nichtlineare faseroptische Effekte störend bemerkbar, oder müssen zumindest bei der Auslegung berücksichtigt werden. So muss in

der optischen Nachrichtentechnik das Wechselspiel zwischen allen linearen und nichtlinearen Effekten in Glasfasern sorgfältig balanciert werden, um größte Datenraten über weite Strecken transportieren zu können. In Transportfasern für Hochleistungslaser oder in den Faserlasern selbst begrenzen stimulierte Raman- und Brillouin-Streuung die maximal mögliche Leistung, die übertragen oder erzeugt werden kann.

Nichtlineare Effekte erfordern in der Regel eine aufwendige physikalische und mathematische Beschreibung. Es ist daher insbesondere für praktische technische Anwendungen wichtig, diese Effekte grundlegend zu verstehen und mit geeigneten theoretischen Methoden zu analysieren. In diesem Buch wird daher nach einem Überblick zunächst die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in einem dielektrischen Medium wie Glas beschrieben. Darauf aufbauend werden die ausbreitungsfähigen Moden und die Eigenschaften von Lichtwellenleitern analysiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Singlemode-Glasfasern mit Stufenindex-Profil, da diese sich vergleichsweise einfach beschreiben lassen und die prinzipiellen Konzepte auf kompliziertere Fasergeometrien übertragen werden können. Anschließend werden lineare faseroptische Effekte wie Dämpfung, Dispersion und Doppelbrechung in Glasfasern untersucht. Der optische Kerr-Effekt und der nichtlineare Brechungsindex werden als eine zentrale Ursache einer Reihe von nichtlinearen Effekten in Glasfasern vorgestellt. Mit Hilfe der nichtlinearen Schrödinger-Gleichung und dem Split-Step-Fourier-Algorithmus können diese Effekte mathematisch beschrieben und simulativ berechnet werden. Beispiele sind die Selbst- und Kreuzphasenmodulation sowie die Vierwellenmischung, die in optisch-parametrischen Verstärkern und Wellenlängenkonvertern eingesetzt werden kann.

Den Schwerpunkt dieses Buches bilden die stimulierte Raman-Streuung (SRS) und die stimulierte Brillouin-Streuung (SBS). Für beide Streuprozesse werden ausführlich sowohl die Grundlagen als auch die für technische Anwendungen relevanten Merkmale vorgestellt. Beiden Effekten ist ein ausgeprägtes Schwellenverhalten gemeinsam, beschrieben durch eine Schwellenleistung, ab der SRS und SBS aus dem Rauschen heraus unerwünscht in Erscheinung treten. Aktuelle Ergebnisse zur Berechnung, Messung und Beeinflussung insbesondere der SBS-Schwelle werden vorgestellt. Abschließend wird mit dem Raman-Faserlaser ein spezieller Faserlasertyp mit einigen interessanten Merkmalen diskutiert. Zur Beschreibung der spektralen Eigenschaften eines Raman-Faserlasers müssen eine Vielzahl an linearen und nichtlinearen faseroptischen Effekten in einem gemeinsamen Konzept untersucht werden, so dass dies ein gutes Beispiel für die Verkopplung dieser Effekte ist.

Die theoretischen Betrachtungen werden mit zahlreichen praxisbezogenen Zahlenbeispielen und ausgewählten Messergebnissen ergänzt. Anwendungen und Relevanz nichtlinearer faseroptischer Effekte werden direkt im Bezug zu deren theoretischen Grundlagen vorgestellt. Kurze Exkurse greifen Aspekte auf, die Querverbindungen zu anderen Technikgebieten aufzeigen und über den Rahmen dieses Buches hinausgehen. Mit einer Vielzahl an Literaturhinweisen können einzelne Themen selbstständig gezielt vertieft werden.

<http://www.springer.com/978-3-642-40967-7>

Nichtlineare Faseroptik

Grundlagen und Anwendungsbeispiele

Engelbrecht, R.

2014, XXII, 516 S. 262 Abb., 17 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-642-40967-7