

Zusammenfassung

Leistungsfähige ultraschnelle integriert optische Wellenlängenkonverter und parametrische Verstärker wurden erforscht. Gemeinsames wichtiges Merkmal für die Anwendung in der optischen Kommunikation sollte sein, dass die Konversion transparent in Bezug auf Datenrate und Kodierungsformat ist. Auch polarisationsunabhängige und in der Wellenlänge abstimmbare Lösungen wurden untersucht und erfolgreich demonstriert.. Die auf der optischen Differenzfrequenz-erzeugung (DFG) basierenden Konverter nutzen die quadratisch optische Nichtlinearität ($\chi^{(2)}$) von Ti:PPLN Wellenleitern. In einem DFG-Prozess wechselwirkt eine Signal-Welle (Daten) mit einer intensiven Pump-Welle, um mit dem konvertierten Signal eine (Idler) eine Wellenlängenverschiebung zu erreichen. Solche Wellenlängenumsetzungen sind Schlüsselfunktionalitäten, um Blockierungsfreiheit in Netzen von rekonfigurierbaren optischen Netzen zu ermöglichen.

Selektive Modenanregung der Pumpe (wegen der kürzeren Wellenlänge sind die Wellenleiter hier Multimode) ist bei direkt gepumpter DFG im Wellenleiter schwierig. Jedoch kann die phasenanpassbare Pump-Mode (SH- oder SF) durch die interne Erzeugung der Pumpe über die Kaskadierung von Frequenzverdopplung (SHG) und DFG (cSHG/DFG) oder Summenfrequenz-erzeugung (SFG) und DFG (cSFG/DFG) selektiv angeregt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Konzepte für eine effiziente Wellenlängenkonversion via cSHG/DFG bzw. cSFG/DFG im Ti:PPLN Wellenleitern untersucht.

Eines dieser Konzepte zielte auf eine drastische Effizienzsteigerung bei der SHG via Resonanzüberhöhung der Fundamentalwelle in einem Wellenleiterresonator ab. Entscheidend für eine starke Resonanzüberhöhung und folglich eine hohe SHG-Effizienz ist ein Resonator hoher Güte bzw. Finesse. In einem 65 mm langen Wellenleiterresonator wurde eine SHG-Effizienz von $\sim 10300\%/W$ ($10.3\% /mW$) erzielt. Sein Betrieb für cSHG/DFG erfordert einen Resonator mit wellenlängen-selektiven Schmalbandreflektoren für die Fundamentalwellenlänge, die im Rahmen dieser Arbeit nicht realisierbar waren.

Als Alternative wurde die Resonanzüberhöhung der SH-Welle (Pumpe) untersucht. Es wurde ein Wellenleiterresonator mit dielektrischen Spiegeln hergestellt, die transparent für die Fundamentalwelle, aber hochreflektierend für die intern erzeugte SH-Welle sind. Basierend auf diesem Entwurf, ist eine Effizienzverbesserung um ~ 10 dB für die auf cSHG/DFG basierende Wellenlängenkonversion mit nur 50 mW Fundamentalleistung in einem 30 mm langen Ti:PPLN-Wellenleiterresonator erzielt. Für höhere Fundamentalleistungen war wegen signifikanter Photorefraktion eine Stabilisierung der Resonanzüberhöhung durch Regelung der Fundamentalwellenlänge nicht möglich.

Die Effizienz der cSHG/DFG kann beträchtlich verbessert werden, in dem man eine sogenannte "Double-Pass" Konfiguration anwendet, in der alle wechselwirkenden Wellen durch einen dielektrischen, breitbandigen Spiegel an einem Wellenleiter reflektiert werden. Diese Reflektion ist aber mit einem wellenlängenabhängigen Phasensprung verbunden. Die daraus resultierende Änderung in der Phasendifferenz zwischen den wechselwirkenden Wellen hat einen Einfluss auf den Energietransfer. Um den idealen Energietransfer von der Fundamentalwelle zu SH-, Signal- und Idlerwellen aufrecht zu erhalten, ist eine Kompensation der reflektionsbedingten Änderung der Phasendifferenz erforderlich. Drei verschiedene Methoden werden hierfür untersucht. Im Vergleich zu der einfachen Konfiguration (single-pass) wurde eine Verbesserung der Wellenlängenkonversionseffizienz um bis zu 9 dB erreicht.

Polarisationsunempfindliche Wellenlängenkonversion basiert auf einer polarisationserhaltenden Faser-Ring-Konfiguration. Da beide Polarisationskomponenten im selben Wellenleiter gegenläufig umgewandelt werden, wird automatisch ein Ausgleich der Gruppenlaufzeitdifferenz (GDD) zwischen beiden Polarisationskomponenten erreicht. Basierend auf diesem Konzept wurde eine fehlerfreie polarisationsunempfindliche Konversion von 320 Gb/s Daten (DQPSK-kodiert) mit einer Signalimpulsbreite von 1.4 ps erzielt. Es wurde keine signifikante Pulsverbreiterung oder Verzerrung der konvertierten Datenimpulse beobachtet. Dies zeigt eine fast unbegrenzte Bandbreite für die cSHG/DFG-basierte Wellenlängenkonversion.

Abstimmbare Wellenlängenkonversion via cSFG/DFG wurde sowohl polarisationsabhängig als auch mit der o.g. Ring-Konfiguration polarisationsunabhängig untersucht. In der polarisationsunabhängigen Konfiguration wurde eine Effizienz von ~ -7.5 dB in einem 70 mm langen Ti:PPLN-Wellenleiter mit 80 mW (20 mW) Pump-(Kontroll-) Leistung erreicht. Die verbliebene Polarisationsabhängigkeit (PDL) ist kleiner als ± 0.5 dB. Der Abstimmbereich des Idlers überdeckt das gesamte C-Band. Im Gegensatz zur cSHG/DFG-basierten Wellenlängenkonversion tritt durch die Gruppengeschwindigkeitsdispersion eine Impulsverbreiterung des konvertierten Signals auf, was die Datenrate für cSFG/DFG-basierte Konversion nach oben begrenzt (< 40 Gb/s).

Für ausreichend hohe Pumpleistung wird die Wellenlängenkonversion durch DFG von optisch parametrischer Verstärkung (OPA) des Eingangssignals begleitet. Um die Fundamentalleistung erhöhen zu können und den photorefraktiven Effekt gering zu halten, wurde ein Güte-Geschalteter, Dioden-Gepumpter Festkörperlaser als Fundamentalquelle benutzt. Mit 2.5 W Fundamentalspitzenleistung wurden ~ 22 dB Signalverstärkung gemessen.