

# Integrated Optical Distributed Bragg Reflector and Distributed Feedback Lasers in Er:LiNbO<sub>3</sub> with Photorefractive Gratings

*Thesis*

*By*

*Bijoy Krishna Das, M.Sc*

*Applied Physics / Integrated Optics, Department of Physics*

*University of Paderborn, Warburger Strasse 100, Paderborn, D-33098, Germany*

## ABSTRACT

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Familie schmalbandiger integriert optischer Laser mit verteilter Rückkopplung (thermisch fixierte photorefraktive Bragg-Gitter in LiNbO<sub>3</sub>) entwickelt. Sie umfasst DBR- (distributed Bragg reflector) und DFB-Laser (distributed feedback) sowie DFB-DBR-Laserkombinationen mit gekoppelten Resonatoren. Bei allen Laserstrukturen wurde optische Verstärkung in einem Ti:Er:LiNbO<sub>3</sub> Wellenleiter erreicht. Photorefraktive Gitter in passiven Ti:Fe:LiNbO<sub>3</sub> Wellenleitern oder in verstärkenden Wellenleiterbereichen bilden die Laserresonatoren. Je nach Resonatorstruktur werden die polierten Endflächen des Wellenleiters ent- oder verspiegelt. Mit Hilfe eines faseroptischen Wellenlängenmultiplexers (WDM) kann einerseits die Pumpstrahlung ( $\lambda_p = 1480$  nm) durch das Bragg-Gitter in den Wellenleiter eingekoppelt und andererseits die erzeugte Laserstrahlung extrahiert werden.

Die Laser wurden hergestellt in 1-mm dicken LiNbO<sub>3</sub> Kristallen (X-Schnitt) mit Wellenleiterorientierung parallel zur Z-Achse. Drei Arten von Wellenleitern (Ti:Er:LiNbO<sub>3</sub>, Ti:Fe:LiNbO<sub>3</sub> und Ti:Fe:Er:LiNbO<sub>3</sub>) wurden untersucht bzgl. Verluste, Ausdehnung der geführten Moden, optische Verstärkung und photorefraktive Empfindlichkeit. Mit den Ergebnissen konnten die Herstellungsparameter optimiert werden. Zuerst wurde eine ca. 20 nm dicke, aufgedampfte Er-Schicht in die verstärkenden Wellenleiterbereiche eindiffundiert. Danach wurde Fe selektiv eindiffundiert, um photorefraktive Zentren im Substrat für die spätere Gitterherstellung zu erzeugen. Anschließend wurden photolithographisch strukturierte Ti-Streifen zur Erzeugung optisch einmodiger ( $1470 \text{ nm} < \lambda < 1580$  nm) Wellenleiter eindiffundiert. Die photorefraktive Empfindlichkeit der Fe-dotierten Wellenleiterbereiche wurde in einem Temperschnitt in reduzierender Atmosphäre verstärkt. Mit einem Argon-Ionen Laser ( $\lambda = 488$  nm,  $P = 1$  W) wurden holographisch photorefraktive Gitter mit einer Länge von bis zu 18 mm und einer Periodizität von ca. 350 nm eingeschrieben. Die holographische Belichtung erfolgte bei ca. 180 °C, um die Mobilität der Protonen in der Probe zu erhöhen und auf diese Weise ein fixiertes Ionen (H<sup>+</sup>) Gitter bei Raumtemperatur zu erhalten. Zum Schluss wurden die fixierten Gitter entwickelt durch eine Umverteilung der elektronischen Raumladung mit Hilfe einer gleichförmigen Beleuchtung mit blauem Licht entweder durch eine Argon-Laser oder blaue LEDs.

Zwei Arten von DBR-Lasern mit photorefraktiven Gittern in passiven Ti:Fe:LiNbO<sub>3</sub> Wellenleiterbereichen wurden entwickelt. Beim ersten Typ besteht der Laser aus einem einzigen Bragg-Gitter, einem verstärkenden Wellenleiterbereich und einem dielektrischen Vielschicht-Spiegel aufgedampft auf einer polierten Stirnfläche. Beim zweiten Typ ist dieser Spiegel durch ein weiteres Bragg-Gitter ersetzt. Leistung, spektrales Verhalten und Dynamik der zwei Laserarten wurden untersucht. Beim zweiten Lasertyp konnte Einmodenbetrieb bei verschiedenen Wellenlängen im Er-Band ( $1530 \text{ nm} < \lambda < 1580$  nm) erreicht werden mit einer Ausgangsleistung bis zu 1.12 mW. Durch Temperaturänderung konnte die Emissionswellenlänge dieses Lasertyps mit ca. 8 pm/K abgestimmt werden.

Zum ersten Mal wurde ein DFB-Laser mit einem photorefraktiven Gitter in einem Er/Fe ko-dotierten Wellenleiter mit zusätzlichem integriert optischen Verstärker realisiert. Im Spektrum der Laserstrahlung wurden die zwei charakteristischen DFB-Frequenzen beobachtet. Eine Ausgangsleistung von ca. 0.1 mW auf der Gitterseite und 1.1 mW auf der Verstärkerseite wurde gemessen.

Weiterhin wurde ein attraktiver DFB-DBR Laser entwickelt und untersucht. Sein Resonator besteht aus einem photorefraktiven Bragg-Gitter im Ti:Fe:Er:LiNbO<sub>3</sub> Wellenleiterbereich nahe einer Stirnfläche, einem Ti:Er:LiNbO<sub>3</sub> Verstärkungsbereich und einem breitbandigen, hochreflektierenden, dielektrischen Spiegel auf der anderen Stirnfläche. Der Laser emittiert einmodig ( $\lambda \sim 1557.2$  nm) mit einer Ausgangsleistung von bis zu 8 mW. Die Emissionswellenlänge dieses Lasertyps kann entweder mit ca. 5 pm/k temperaturabgestimmt oder mit  $\pm 0.75$  pm/V elektrooptisch abgestimmt werden.