

Diss. ETH No. 7417

HELICAL DISTRIBUTED FEEDBACK GAS LASER:
THEORY AND REALIZATION

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZUERICH

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

HANS PETER PREISWERK

Dipl. Phys. ETH

born January 10, 1953

citizen of Basel

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. F.K. Kneubühl
Prof. Dr. R. Dändliker, Neuchâtel

1983

Zusammenfassung

Distributed Feedback (DFB) an periodischen Modulationen ist als Rückkopplungsmechanismus bei Lasern seit einiger Zeit bekannt. Kogelnik und Shank wiesen 1971 DFB erstmals in einem Farbstofflaser nach. Kurz darauf gelang dies Yariv et al. in einem Festkörperlaser. Erst 1979 waren dann Affolter und Kneubühl in der Lage, das DFB-Prinzip in einem Gaslaser zur Anwendung zu bringen. Bei all diesen Lasern erfolgt die Rückkopplung durch Bragg-Reflexion an linear periodischen Brechungsindex-, Querschnitts- und/oder Verstärkungsmodulationen. Sie werden deshalb lineare DFB Laser genannt. In der vorliegenden Arbeit wird ein neuartiger DFB Laser, ein Helix-DFB Gaslaser, vorgestellt, dessen Kernstück ein Metallwellenleiter mit Schraubenstruktur bildet.

Mit Hilfe gruppentheoretischer Methoden wird vorerst untersucht, ob schraubenförmige Strukturen überhaupt Bragg- und DFB-Effekte zeigen können. Ausgehend vom runden, glatten metallischen Hohlleiter werden die Dispersionsrelationen für verschiedene periodische und schraubenförmige Strukturen hergeleitet. Aufgrund der Gruppentheorie bilden die Kreuzungspunkte der Zweige von Dispersionsrelationen mit identischer irreduzibler Darstellung die Stellen für Bragg- und DFB-Wechselwirkung. Mit Störungsrechnung wird demonstriert, dass sich die Dispersionsrelationen an diesen Stellen bei Einführung einer schraubenförmigen Störung analog verhalten wie diejenigen von linear periodischen Laserstrukturen. Damit wird der Beweis erbracht, dass DFB nicht nur für periodische sondern auch für schraubenförmige Strukturen existiert.

Im Hinblick auf die Realisierung eines Helix-DFB Lasers werden im nächsten Kapitel vorerst die Modeeigenschaften eines linearen DFB Gaslasers diskutiert. Unsere Experimente zeigten, dass die aus der Theorie gekoppelter Wellen hergeleitete Modengleichung für DFB mit schwacher Indexmodulation für einen linearen DFB Gaslaser geeignet ist. Dieses Resultat diente als Ausgangspunkt für die Herstellung von helixförmigen DFB-Wellenleitern. Diese Gewindestrukturen erfordern

eine Steigung, welche ungefähr die Hälfte der entsprechenden Wellenlänge beträgt. Unsere Messungen der Transmission von derartigen Wellenleitern, einerseits mit Mikrowellen und andererseits mit Submillimeter-Wellen, werden in Kapitel 4 beschrieben. Die beobachteten Resonanzen können als durch Bragg-Wechselwirkung verursachte Modenumwandlungen interpretiert werden.

Die erste Realisierung eines Helix-DFB Gaslasers wird in Kapitel 5 beschrieben. Es handelt sich um einen optisch gepumpten $496 \mu\text{m}$ CH_3F Laser mit schraubenförmiger, metallischer Wellenleiterstruktur. Die Steigung beträgt rund die Hälfte der Laserwellenlänge und kann mittels einer Temperaturregelung sehr präzise abgestimmt werden. Im Vergleich zu einem linearen DFB Gaslaser wird eine viel stärkere Modenselektion beobachtet.

Schliesslich wird im Kapitel 6 auf einen weiteren Helix-DFB Laser hingewiesen. Durch Einbringen eines Laserfarbstoffes in einen cholesterischen Kristall lässt sich ein flüssiger DFB Farbstofflaser herstellen. Dies wurde bereits vor rund zehn Jahren in einem US-Patent beschrieben, jedoch ohne Bezug auf Helix-DFB. Unsere Theorie zeigt, dass wegen der Doppelhelix-Symmetrie der cholesterischen Kristalle dies ebenfalls ein Helix-DFB Laser darstellt.

Summary

Distributed feedback (DFB) lasers do not use conventional resonator mirrors, but provide feedback via backward Bragg scattering from periodic variations of refractive index, waveguide cross-section and/or gain of the laser medium itself.

The principle of DFB was first incorporated in a dye laser by Kogelnik and Shank in 1971, in a solid state laser by Yariv et al. in 1973, and in a gas laser by Affolter et al. in 1979. All these DFB lasers are based on linear periodic modulations and therefore, they are called linear DFB lasers. In this paper a new, different type of DFB laser, namely a helical DFB laser is presented.

The basic features of this new type of laser are derived by group theoretical considerations on cylindrical, circular linear periodic and helical waveguide and laser structures. Starting from the passive hollow cylindrical waveguide with ideally conducting walls linear periodic or helical modulations are introduced as perturbations. The relations between the symmetries of linear periodic and helical structures and the corresponding dispersion relations are discussed. In spite of the fact that the dispersion relations of continuous helical waveguides are not periodic in the propagation constant it is demonstrated that these structures also reveal Bragg and DFB effects.

In addition, microwave and far-infrared experiments on passive helical metal waveguides have been performed. They show the predicted Bragg resonances. The transmission measurements were performed either with a 7 mm klystron or with an optically pumped 496 μm CH_3F laser as a source. The helical waveguides are essentially metallic nuts with a pitch close to half the guide wavelength of the corresponding radiation. The observed resonances are interpreted as mode conversions caused by Bragg interaction.

These studies on passive structures served as starting-point for the first realization of a helical DFB gas laser. It is an optically pumped $496 \mu\text{m}$ CH_3F laser with an oversized helical brass waveguide whose pitch is close to half the guide wavelength of the emission. The laser can be tuned by temperature variation of the metallic waveguide. Besides construction, performance and influence of the polarization of the pump radiation is discussed. An important result is the observation that helical DFB provides higher mode selectivity compared to linear DFB.

Finally, it is demonstrated that the concept of helical DFB also applies to dye lasers with internal DFB incorporated by a mixture of the dye with a cholesteric liquid crystal. This represents another illustration of the concept of helical DFB.