



Doctoral Thesis

## Distributed feedback lasers with strong modulations

**Author(s):**

Gnepf, Silvio

**Publication Date:**

1984

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000342786> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 7666

DISTRIBUTED FEEDBACK LASERS  
WITH STRONG MODULATIONS

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

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

SILVIO GNEPF

Dipl. Phys. ETH

born April 27, 1956

citizen of Buchs/Zürich

accepted on the recommendation of

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

1984

## SUMMARY

In distributed feedback (DFB) lasers conventional resonator mirrors are replaced by periodic modulations of refractive index, waveguide cross section and/or gain which provide feedback by Bragg back scattering. DFB was first demonstrated by Kogelnik and Shank in 1971 with a periodically pumped dye laser. In 1973 Yariv et al. incorporated DFB in a solid state laser, while in 1979 Affolter and Kneubühl introduced DFB in a gas laser.

At present, most theories on DFB lasers are suited only for small periodic modulations. In this paper we present a comprehensive theory on DFB lasers which describes strong as well as weak modulations. A DFB laser structure is characterized in this theory by a complex Hill equation as basic wave equation. The principal characteristics of DFB laser structures are the dispersion relation, resonance frequencies and threshold gains.

The dispersion relation is derived from an infinitely extended DFB structure, which is represented by an infinite chain of identical four-terminals. Each four-terminal corresponds to one DFB period. This representation is the clue for the determination of the Floquet solutions of the Hill equation, their propagation coefficients and the dispersion relations. Special emphasis is put on the properties of the dispersion relations which are investigated analytically as well as numerically.

In the following we study reflection and transmission at left and right boundaries of semi-infinite DFB structures in free space. For this purpose we introduce reflection and transmission coefficients of the Floquet solutions mentioned above in analogy to the standard coefficients which describe the behaviour of homogeneous plane waves at medium boundaries.

A finite DFB structure is represented by a finite chain of four-terminals. With the aid of the above reflection and transmission coefficients we derive the resonances from a generalised round-trip condition for the Floquet solutions. We demonstrate that for strong modulations the dispersion relation of the infinite DFB structure plays an important role in the determination of the resonance frequencies and the threshold gains of the finite DFB structure.

We have successfully applied our theory to DFB laser structures with strong pure index, pure gain and combined modulations of rectangular, triangular and harmonic form. This is illustrated by representative examples. Furthermore, we also refer to the existence of resonances with negative threshold gain which are related to the Borrmann effect in x-ray physics.

In conclusion, our theory is a valuable tool for the determination of the characteristics of DFB lasers with relevant types of weak and strong modulations.

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei einem Distributed Feedback (DFB) Laser werden die konventionellen Resonatorspiegel durch periodische Modulationen von Brechungsindex, Wellenleiter-Querschnitt und/oder Verstärkung ersetzt, sodass die benötigte Rückkopplung durch den Bragg Effekt erzeugt wird. DFB wurde erstmals von Kogelnik und Shank im Jahre 1971 in einem periodisch gepumpten Farbstofflaser realisiert. Im Jahre 1973 verwendeten Yariv et al. DFB erstmals in einem Festkörperlaser. Schliesslich erzielten Affolter und Kneubühl 1979 DFB auch bei einem Gaslaser.

Die meisten Theorien über DFB Laser sind nur für schwache Modulationen geeignet. In dieser Arbeit wird nun eine Theorie vorgestellt, welche es gestattet, sowohl schwache als auch starke Modulationen in umfassender Weise zu behandeln. Eine DFB Laser Struktur wird in dieser Theorie charakterisiert durch eine komplexe Hill Gleichung als grundlegende Wellengleichung. Die hauptsächlichen Merkmale einer DFB Laser Struktur sind die Dispersionsrelation sowie Resonanzfrequenzen und Schwellenverstärkungen.

Die Dispersionsrelation wird aus der unendlichen DFB Struktur hergeleitet, welche von uns durch eine unendliche Kette von Vierpolen dargestellt wird. Jeder Vierpol entspricht einer DFB Periode. Diese Darstellung führt auf die Bestimmung der Floquet Lösungen der Hill Gleichung, ihrer Fortpflanzungskonstanten sowie ihrer Dispersionsrelationen. Ein besonderes Augenmerk schenken wir den Eigenschaften der Dispersionsrelationen, welche analytisch und numerisch berechnet werden.

Im Folgenden untersuchen wir Reflektion und Transmission an den linken und rechten Grenzflächen zwischen in einer Richtung unendlich ausgedehnten DFB Strukturen und dem freien Raum. Zu diesem Zweck führen wir Reflektions- und Transmissionskoeffizienten der bereits erwähnten Floquet Lösungen ein, in Analogie zu den bekannten Koeffizienten, welche das Verhalten homogener ebener Wellen an Grenzflächen beschreiben.

Eine endliche DFB Struktur wird durch eine endliche Kette von Vierpolen dargestellt. Mit Hilfe der obigen Reflektions- und Transmissionskoeffizienten leiten wir die Resonanzen aus einer verallgemeinerten "round-trip" Bedingung für die Floquet Lösungen her. Wir zeigen, dass für starke Modulationen die Dispersionsrelation der unendlichen DFB Struktur eine wichtige Rolle spielt bei der Bestimmung der Resonanzfrequenzen und Schwellenverstärkungen der endlichen DFB Struktur.

Wir haben unsere Theorie mit Erfolg auf DFB Strukturen mit starker reiner Index-, reiner Verstärkungs- und kombinierter Modulation von Rechtecks-, Dreiecks- und harmonischer Form angewandt. Dies wird anhand von repräsentativen Beispielen illustriert. Im weiteren betonen wir die Existenz von Resonanzen mit negativer Schwellenverstärkung, die im Zusammenhang mit dem in der Röntgenphysik bekannten Borrmann-Effekt stehen.

Zusammenfassend erweist sich unsere Theorie als nützliches Instrument zur Bestimmung der charakteristischen Merkmale von DFB Lasern mit schwachen und starken Modulationen verschiedenster Art.