

Abstrahlungsverluste bei Bragg-Gitter-Beugung höherer Ordnung in Wellenleitern

R. Güther

Ferdinand-Braun-Institut für Höchstfrequenztechnik,

Gustav-Kirchhoff-Str. 4, 12489 Berlin

<mailto:guether@fbh-berlin.de>

Bragg-Gitter in Wellenleitern mit Gitterkonstanten > 800 nm können technologisch vorteilhaft mit Steppern hergestellt werden, führen aber zu einem Design unter Ausnutzung höherer Bragg-Beugungsordnungen. Die für höhere Beugungsordnungen entstehenden Zusatzverluste und die komplexen Koppelkonstanten werden berechnet.

1 Einführung

Bragg-Gitter in Wellenleitern finden vielfältige Anwendungen, beispielsweise als passive Filter in der integrierten Optik oder als Modenfilter in DFB (distributed feedback)- [1], DBR (distributed Bragg reflection)- oder α -DFB (angled distributed feedback)- [2,3] Lasern.

Methoden für die Herstellung von Bragg-Gittern sind u.a. die holographische Gitter-Aufzeichnung und die Elektronenstrahl-Lithographie mit jeweiligen Vor- und Nachteilen. Technologisch besonders vorteilhaft für Gitterkonstanten im Bereich von 800 nm und größer ist die Benutzung eines Wafer-Steppers für die Aufbelichtung der Gitterstruktur. Dabei ergibt sich je nach Wellenlänge des im Wellenleiter zur Ausbreitung vorgesehenen Lichtes und dem entsprechenden effektiven Modenindex die Notwendigkeit, das Design mit höheren Bragg-Ordnungen durchzuführen.

Dann sind erhöhte Verluste und kleinere Koppelkonstanten zu erwarten. Dies wird hier untersucht, und zwar für Variation von Beugungsordnung und Bragg-Winkel.

2 Problem

Die Problemstellung ist in Abb. 1 schematisch dargestellt:

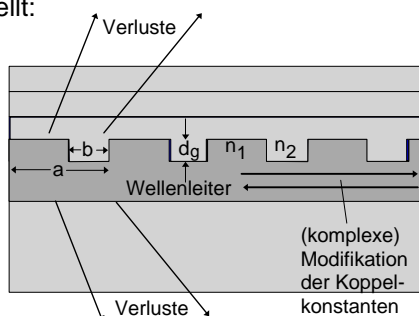


Abb. 1 Korrigierter Wellenleiter mit Verlusten und geänderter Koppelkonstante

3 Lösungsweg

Die in [5] formulierte zweidimensionale Theorie der Verluste bei Bragg-Reflexion höherer Ordnung (eine Dimension entlang des Wellenleiterquerschnittes und die zweite Dimension entlang der Modenausbreitungsrichtung) wird entsprechend dem Modell für einen α -DFB-Laser in [2] auf ein dreidimensionales Modell verallgemeinert (eine Dimension entlang des Wellenleiterquerschnittes und zwei Dimensionen für die Ausbreitung der gekoppelten Wellen in der Wellenleiterebene entsprechend Abb. 2).

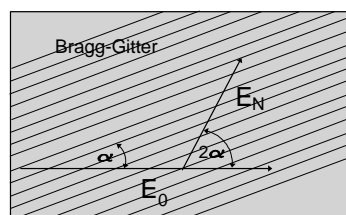


Abb. 2 Gekoppelte Wellen in der Wellenleiterebene: $\alpha = 10...15^\circ$: α -DFB-Laser; $\alpha = 90^\circ$, DFB-Laser.

Analog zu [5] wird in der Wellengleichung eine Separation der Koordinate entlang des Wellenleiterquerschnittes von den beiden Koordinaten der in Abb. 2 gezeigten Ebene vorgenommen. Entlang der abseparierten Koordinate wird der entsprechende Feldanteil als Lösung mit einer Mehrschicht-Green'schen Funktion dargestellt, die mit der in [4] verwendeten Näherung des homogenen Raumes vereinfacht werden kann. Schließlich wird der Gitter-Korrugations-Bereich als Störung für das Gleichungssystem der gekoppelten Wellen betrachtet. Für den Spezialfall lamellarer Gitter ergeben sich analytische Ausdrücke für die gesuchten Konstanten, während modifizierte Gitterformen zu Einfach- und Doppelintegralen über den Korrugationsbereich führen.

4 Analytische Formeln für Verlust und Koppelkonstante

Für die komplexe Koppelkonstante $\kappa + iv$ und den auf die Feldstärke bezogenen Verlust α ergibt sich

$$\kappa = \frac{2 \Delta n \Gamma_g \cos(2\alpha)}{N \lambda_0} \sin\left(\frac{\pi N b}{a}\right) \quad (1)$$

$$\nu = V \sum_{n=1}^{N-1} \frac{S(n, N, \alpha) S(N-n, N, \alpha)}{n(N-n)W(n, N, \alpha)} \quad (2)$$

$$\alpha = V \sum_{n=1}^{N-1} \frac{(S(n, N, \alpha))^2}{n^2 W(n, N, \alpha)} \quad (3)$$

$$\text{mit } S(n, N, \alpha) = \left[1 - \left(\frac{n}{N}\right)^2 \sin^2(2\alpha) \right] \sin\left[\frac{\pi n b}{a}\right]$$

$$W(n, N, \alpha) = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha \left[1 + \frac{4n^2}{N^2} - \frac{4n \sin \alpha}{N} \right]}$$

$$V = \frac{4 \Delta n^2 \Gamma_g d_g}{\lambda_0^2} \quad , \alpha \sim \text{Bragg-Winkel, } N \sim \text{zu}$$

untersuchende Beugungsordnung, a ~ Gitterkonstante, b ~ Furchenbreite, d_g ~ Ätztiefe, λ_0 ~ Wellenlänge des Lichtes im Vakuum, Γ_g ~ Confinementfaktor des Grundmode im Gitterbereich, $\Delta n = (n_1 - n_2)$ ~ Brechungsindexdifferenz.

5 Ergebnisse

Die Auswertung der Gleichungen (1), (2) und (3) für einen InGaAsP-Wellenleiter aus [4] für $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$, $b/a = 0.25$, $\Gamma_g = 0.08$, $d_g = 0.1 \mu\text{m}$, $\Delta n = 0.22$, Schichtkombination des Kerns mit $n_1 = 3.562$ bzw. 3.42 , $n_2 = 3.2$ und für Variation von α und N ist in den Abb. 3, 4 und 5 dargestellt.

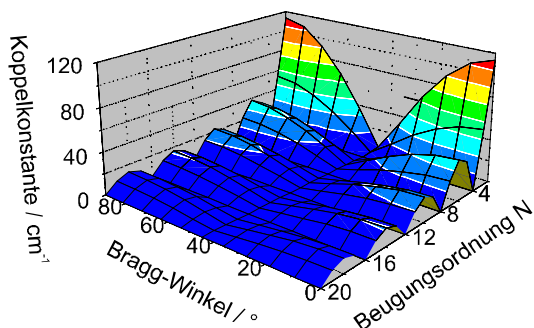


Abb. 3 Betrag der Koppelkonstante nach Gl. (1)

Zusammenfassend zeigt sich: Der Imaginärteil der Koppelkonstanten ist klein im Vergleich zu deren Realteil. Die Zusatzverluste überschreiten die Verluste eines DFB-Gitters in 2. Ordnung (oft verwendet) nicht wesentlich. Die Verluste für α -DFB-Laser

sind im allgemeinen kleiner als für analoge DFB-Laser.

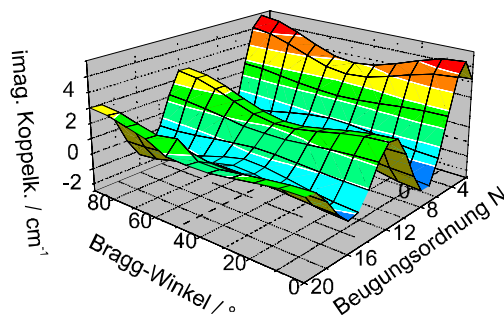


Abb. 4 Imaginärteil der Koppelkonstante nach Gl. (2)

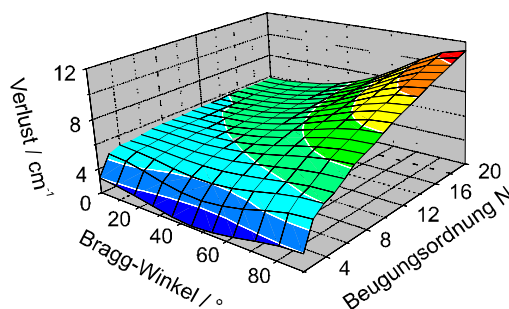


Abb. 5 Verlust (bezogen auf die Feldamplitude) nach Gl. (3).

Der Autor dankt seinen Kollegen Dr. G. Erbert, Dr. H. Wenzel und Dr. J. Fricke für interessante Diskussionen.

Literatur

- [1] H. Wenzel, A. Klehr, M. Braun, F. Bugge, G. Erbert, J. Fricke, A. Knauer, M. Weyers, G. Tränkle, „High-power 783 nm distributed-feedback laser“ in *Electronics Letters* **40**: 123-4 (2004)
- [2] K. Paschke, A. Bogatov, A.E. Drakin, R. Güther, A.A. Strattonnikov, H. Wenzel, G. Erbert, G. Tränkle, „Modeling and Measurements of the Radiation Characteristics of High-Power α -DFB-Lasers“ in *IEEE Journ. Sel. Topics in Quantum Electronics* **9**(3): 835-43 (2003)
- [3] K. Paschke, A. Bogatov, F. Bugge, A.E. Drakin, J. Fricke, R. Güther, A.A. Strattonnikov, H. Wenzel, G. Erbert, G. Tränkle, „Properties of Ion-Implanted High-Power Angled-Grating Distributed-Feedback Lasers“ in *IEEE Journ. Sel. Topics in Quantum Electronics* **9**(5): 1172-78 (2003)
- [4] R.F. Kazarinov, C.H. Henry, „Second-Order Distributed Feedback Lasers with Mode Selection Provided by First-Order Radiation Losses“, in *IEEE Journ. Quant. Electr.* **QE-21**(2): 144-50 (1985)
- [5] A.M. Shams-Zadeh-Amiri, J. Hong, X. Li, W. Huang, „Second- and Higher- Order Resonant Gratings with Gain or Loss. Part I: Green's Function Analysis“, in *IEEE Journ. Quant. Electr.* **QE-36**(12): 1421-30 (2000)