

Modellierung der Frequenzdurchstimmung von External-Cavity-Diode-Lasern (ECDL)

Olaf Soltwedel, Klaus-Dieter Salewski

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
Institut für Physik / Angewandte Physik

mailto:ole-soltwedel@gmx.de

Die Frequenzdurchstimmung eines ECDLs in Littrow-Konfiguration erfolgt durch Drehung des Reflexionsgitters. Dabei hängt die Größe des modensprungfreien Bereiches von der Wahl des Gitterdrehpunktes ab. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die optimale Lage dieses Punktes entscheidend vom Entspiegelungsgrad der Laserdiode abhängt.

1 Einführung

Um die Strahlungsfrequenz eines ECDLs über weite Bereiche modensprungfrei durchstimmen zu können, müssen die Resonatormoden mit der Frequenzselektivität des Reflexionsgitters synchronisiert werden. In einer Littrow-Anordnung kann dies durch einen Gitterdrehpunkt erreicht werden, der in einer Ebene nahe der Rückfacette liegt [1]. Dies gilt jedoch nur, wenn der Fabry-Perot-Resonator der Laserdiode (LD) vernachlässigt werden kann, was üblicherweise durch eine starke Entspiegelung der LD-Frontfacette ($r_f < 10^{-4}$) erreicht wird.

Da Entspiegelungen dieser Größenordnung kostenintensiv sind und ihre Langlebigkeit begrenzt ist, untersuchen wir die Möglichkeit, durchstimmbare ECDLs mit weniger stark entspiegelten Laserdioden zu realisieren. Dabei ist die Frequenzselektivität des Diodenresonators mit zu berücksichtigen.

Um auch in diesem Fall Durchstimmbereiche erzielen zu können, die weit über 10 GHz hinaus gehen [2], ist eine genaue Kenntnis der Einflüsse verschiedener geometrischer und optischer Parameter notwendig.

2 Modell der Littrow-Konfiguration

Der externe Resonator wird durch die LD und das Littrow-Gitter gebildet (Abb.1). Für den komplexen frequenzabhängigen Reflexionsfaktor der beschichteten LD (Abb.2) gilt:

$$|r_{LD}| = \frac{\sqrt{[r_f + r_b^2 r_f - r_b(1 + r_f^2) \cos 2\delta]^2 + [r_b(1 - r_f^2) \sin 2\delta]^2}}{1 + r_b^2 r_f^2 - 2r_b r_f \cos 2\delta}$$

$$\phi_{LD} = \arctan\left(\frac{r_b(1 - r_f^2) \sin 2\delta}{r_f + r_b^2 r_f - r_b(1 + r_f^2) \cos 2\delta}\right) \quad (1)$$

$$\delta = \frac{2\pi n_{int} L_{int}}{c_0} \nu$$

Die optische Rückkopplung erfolgt über die 1. Beugungsordnung des Reflexionsgitters. Daraus resultiert der Reflexionsfaktor des Littrow-Gitters:

$$|r_{lit}| = G_1 e^{-\frac{\pi^2 R^2 \left(\frac{\nu}{\nu_0(\alpha)} - 1\right)^2}{4g^2}}$$

$$\phi_{lit} = 2\pi \frac{(L_{ext} - p_0 - p_1 \cos \alpha)}{g \sin \alpha} \quad (2)$$

$$\nu_0(\alpha) = \frac{c_0}{2g \sin \alpha}$$

(g - Gitterkonstante, R - Strahlradius, G_1 - Beugungseffizienz der 1. Ordnung) (s. Abb.2).

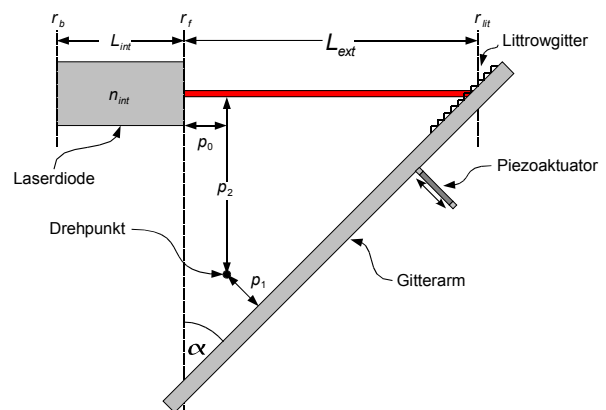


Abb. 1 Schematischer Littrow-Aufbau

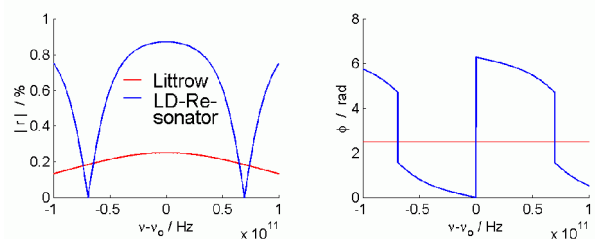


Abb. 2 Frequenzabhängige komplexe Reflexionsfaktoren (Betrag und Phase)

3 Modenspektrum bei Gitterdrehung

Die Summe aller hin- und rücklaufenden Teilwellen liefert die Gesamtfeldstärke längs der Resonatorachse. Zeitliche und räumliche Mittelungen führen auf die resonatorinterne Strahlungsintensität:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1 + |r_{Lit}|^2}{(1 - |r_{Lit}| |r_{LD}|)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{4|r_{Lit}| |r_{LD}|}{(1 - |r_{Lit}| |r_{LD}|)^2} \cdot \sin^2 \left(2\pi \frac{L_{ext}}{c_0} \nu - \frac{\phi_{Lit} + \phi_{LD}}{2} \right)} \quad (3)$$

Diese Gleichung beschreibt das longitudinale Modenspektrum, welches durch den LD-Resonator und das Littrow-Gitter intensitätsmoduliert wird (Haupt- und Nebenmaxima). Eine Gitterdrehung führt sowohl zur Verschiebung des Modenspektrums als auch zur Deformation der einhüllenden Modulationsfunktion (Abb. 3). Die Lage der Intensitätsmaxima wird entscheidend durch den Reflexionsgrad der LD-Frontfacette r_f bestimmt. Der Modenkamm verschiebt sich nahezu linear mit dem Drehwinkel, währenddessen sich die Position der Intensitätsmaxima nichtlinear bewegt.

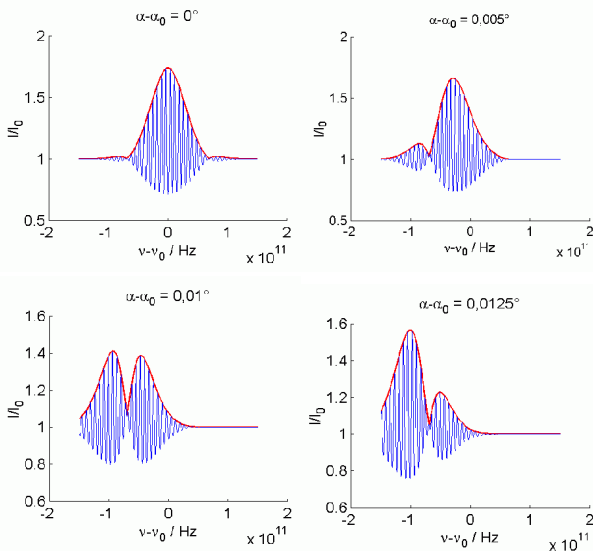


Abb. 3 Modenspektrum bei nichtentspiegelter LD ($r_f=r_b=58,5\%$)

4 Optimaler Gitterdrehpunkt

Um die Strahlungsfrequenz modensprungfrei über einen großen Bereich durchzustimmen, müssen der Modenkamm und das globale Intensitätsmaximum synchron miteinander verschoben werden. Eine Anpassung der Geschwindigkeit, mit der sich der Modenkamm bewegt, ist über eine geeignete Wahl des Gitterdrehpunktes (optimaler Drehpunkt) möglich.

Eine analytische Bestimmung des optimalen Gitterdrehpunktes für beliebige Verspiegelungen des LD-Resonators ist nur durch Linearisierung des Modells möglich. In diesem Zusammenhang sind

u.a. Lösungen von Interesse, bei denen der LD-Resonator nicht manipuliert wird (Temperatur T , L_{int} , n_{int} - const). Für diesen Fall ergibt sich der in Abb.4 (links) dargestellte Zusammenhang zwischen Front- und Rückverspiegelung r_f und r_b sowie der Lage des Gitterdrehpunktes p_0 .

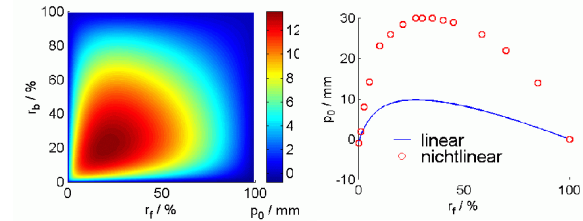


Abb. 4 links: optimale Gitterdrehpunkte für $p_1 = 0$ und $L_{ext} = 5$ cm (lineares Modell) rechts: Vergleich zwischen linearem Modell und numerischen Lösungen ($r_b = 58\%$)

Es liegt jedoch nahe, dass der nichtlineare Phasenverlauf ϕ_{LD} einen gravierenden Einfluss auf das Durchstimmverhalten haben muss. Entsprechende numerische Berechnungen bestätigten diese Vermutung (Abb.4 rechts). Sie liefern korrigierte Werte für die optimalen Gitterdrehpunkte bei speziellen Verspiegelungen.

5 Theoretisch erreichbare Durchstimmbereiche

Durch Berücksichtigung der nichtlinearen Phasenverläufe können wir in unseren Modellrechnungen zeigen, dass auch bei wesentlich höheren Verspiegelungen der Frontfacette ($r_f > 1\%$) große Durchstimmbereiche erzielt werden können, wenn der Gitterdrehpunkt geeignet gewählt wird (Abb.5).

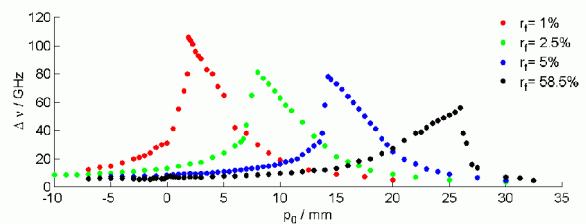


Abb. 5 Modensprungfreie Durchstimmbereiche der Laserfrequenz $\Delta\nu$ für verschiedene Gitterdrehpunkte p_0 ($r_b=58,5\%$, $p_1 = 0$, $L_{ext}= 5$ cm, T)

6 Ausblick

Es wird angestrebt den modensprungfreien Durchstimmbereich der Laserfrequenz durch Variation weiterer Parameter (p_1 und/oder T) zu vergrößern.

7Literatur

- [1] P. McNicholl and H.J. Metcalf: „Synchronous cavity mode and feedback wavelength scanning in dye laser oscillators with gratings“, in *Appl. Opt.* 24(17): 2752-2761 (1985)
- [2] F.J. Duarte and P. Zorabedian: „Tunable lasers handbook“, Academic Press, Inc., San Diego (1995)