

Monofrequente und modensprungfreie Durchstimmung eines External-Cavity-Diode-Lasers mittels akusto-optischer Modulatoren (AOM)

André Bösel, Klaus-Dieter Salewski, Ulrich Lübbert

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

<mailto:andre.boesel@web.de>

Es wird ein External-Cavity-Diode-Laser in Littrow-Konfiguration vorgestellt, der im Resonator 2 AOMs enthält. Dadurch können sowohl die externen Resonatormoden als auch die Gitterselektivität unabhängig von einander und ohne mechanisch bewegte Teile verändert werden. Daraus resultiert die Möglichkeit einer schnellen Single-Mode-Durchstimmung über einen weiten Frequenzbereich.

1 Einführung

Monofrequente Frequenzdurchstimmungen sind durch External-Cavity-Diode-Lasern (ECDL) in Littrow-Konfiguration realisierbar [1]. Als frequenzselektives Element dient ein Reflexions-Gitter. Durch Drehung des Gitters mittels Piezoaktuator lässt sich die selektierte Frequenz verändern. Auf Grund der Trägheit des Gitters sind jedoch die Durchstimmgeschwindigkeit und die Wiederholrate begrenzt. Die Kopplung zwischen Gitterselektivität und Resonatormoden schränkt außerdem den Durchstimmbereich ein. Um diese Nachteile zu umgehen, untersuchen wir den Einsatz akusto-optischer Modulatoren (AOM) innerhalb des Laser-Resonators zur Verschiebung der Gitterselektivität und der Resonatormoden.

2 Modell des Littrow-Lasers mit einem strahlableitenden Element

Bei einem ECDL in Littrow-Konfiguration trifft der Laserstrahl auf ein Reflexionsgitter. Die erste Beugungsordnung wird in den Laser zurückreflektiert und führt zu optischer Rückkopplung. Mit Hilfe eines strahlableitenden Elements (Abb.1) kann der Strahlauffreffwinkel α und somit die vom Gitter selektierte Frequenz geändert werden.

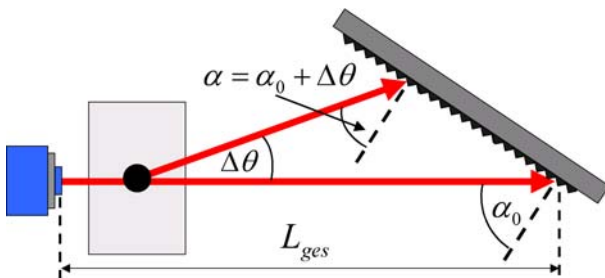


Abb. 1 Schematischer Littrow - Aufbau

Unter Voraussetzung einer entspiegelten Frontfacette der Laserdiode, der vollständigen Verspiegelung ihrer Rückfacette und unter Vernachlässigung des diodeninternen optischen Weges folgt für die relative resonatorinterne Intensität $I(\nu)/I_0$ in Abhängigkeit von der Strahlungsfrequenz:

$$\frac{I(\nu)}{I_0} = \frac{1 + |r_{Lit}|^2}{(1 - |r_{Lit}|)^2} \frac{1}{1 + \frac{4|r_{Lit}|}{(1 - |r_{Lit}|)^2} \sin^2(\phi)} \quad (1)$$

$$\text{mit } \phi = 2\pi \frac{\nu}{c_0} L_{ges} - \frac{1}{2} \varphi_{ext} - \frac{1}{2} \varphi_{Lit} \quad (2)$$

(c_0 – Lichtgeschwindigkeit, φ_{ext} , φ_{Lit} – Phasensprung im Resonator bzw. durch Gitterüberstreichung).

Die Intensität $I(\nu)$ besitzt für $\phi = m \cdot \pi$ ($m \in \mathbb{Z}$) Maxima, die als Resonatormoden bezeichnet werden (Abb. 2). Für den Betrag des frequenzselektiven Reflexionsfaktors des Gitters (Gitterselektivität) gilt:

$$|r_{Lit}| = G_1 \cdot e^{-\frac{\pi^2 R^2 \left(\frac{\nu}{\nu_0(\alpha)} - 1 \right)^2}{4g^2}}, \quad \nu_0(\alpha) = \frac{c_0}{2 \cdot g \cdot \sin \alpha} \quad (3)$$

(g – Gitterkonstante, R – Strahlradius, G_1 – Beugungseffizienz der 1. Ordnung, α – Gitterdrehwinkel).

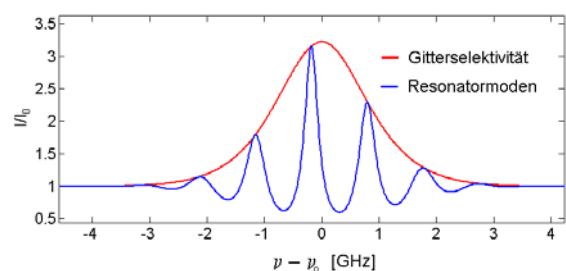


Abb. 2 Relative Resonatorintensität in Abhängigkeit von der Frequenzdifferenz $\nu - \nu_0$: es sind mehrere Resonatormoden erkennbar.

Durch Drehung des Gitters wird die Gitterselektivität nach Gl. 3 verschoben. Außerdem kann durch Änderung von φ_{ext} die Lage der Resonatormoden variiert werden (Gl. 2).

Eine Single-Mode-Durchstimmung ist dann möglich, wenn sich die Gitterselektivität und die Resonatormoden identisch ändern.

3 Modifizierter Littrowaufbau mit 2 AOMs

Um die Gitterselektivität (Gl. 3) ohne Gitterdrehung zu ändern, benutzen wir akusto-optische Modulatoren (Abb. 3). Auf Grund der Wechselwirkung der akustischen Welle mit dem Laserstrahl (*Brillouin-Streuung*) erfolgt sowohl eine Strahlableitung [2], als auch eine Phasenänderung der 1. Beugungsordnung von AOM2 gegenüber dem in AOM1 einfallenden Licht.

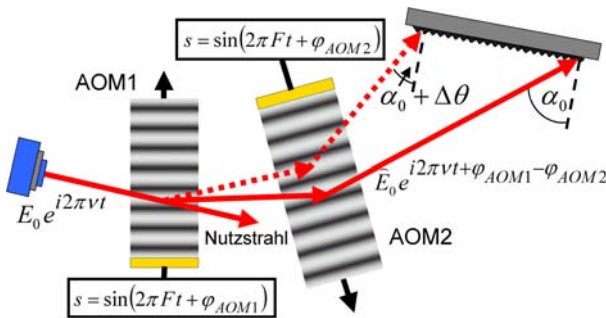


Abb. 3 Modifizierter Littrow-Aufbau mit 2 AOMs

Eine Änderung der akustischen Frequenz F um ΔF führt zu einer Variation des Austrittswinkels der 1. Beugungsordnung von AOM2 um

$$\Delta\theta = -2 \frac{c_0}{c_s \cdot \nu} \cdot \Delta F. \quad (5)$$

Für die Phasenunterschied dieser Ordnung zum einfallenden Strahl gilt:

$$\varphi_{ext} = \varphi_{AOM1} - \varphi_{AOM2} + const. \quad (6)$$

Durch Änderung der Phasendifferenz zwischen den beiden akustischen Wellen kann demzufolge die Lichtphase definiert variiert werden.

4 Verschiebung von Gitterselektivität und Resonatormoden

Bei Veränderung der AOM-Schallfrequenz um ΔF ändert sich der Auftreffwinkel um $\Delta\theta$ (Abb. 3). Nach Gl. 2 folgt daraus eine Verschiebung der Gitterselektivität, was das Anschwingen einer benachbarten externen Mode ermöglicht. Dies wurde mit Hilfe eines Fabry-Perot-Interferometers an einem entsprechenden experimentellen Aufbau beobachtet (Abb. 4).

Die Verschiebung der Resonatormoden infolge einer Änderung von φ_{ext} (Gl. 2) wurde ebenfalls experimentell bestätigt (Abb. 5).

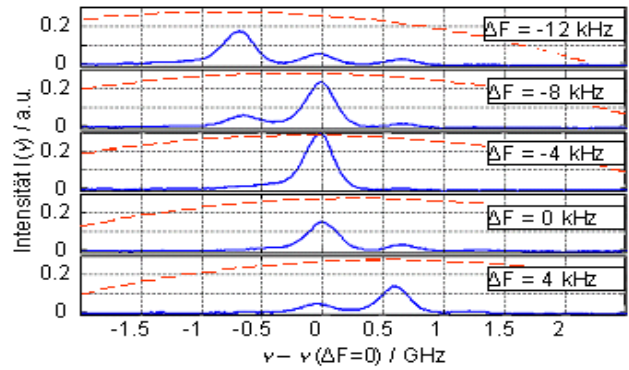


Abb. 4 Verschiebung der Gitterselektivität durch 2 AOMs: Gitterselektivität gestrichelt angedeutet.

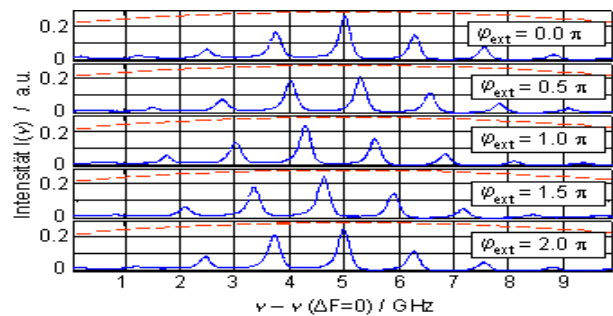


Abb. 5 Verschiebung der Resonatormoden durch 2 AOM: Gitterselektivität gestrichelt angedeutet.

5 Laserdurchstimmung

Durch geeignete Veränderung der AOM-Phasendifferenz und der AOM-Frequenz, wurde eine synchrone Verschiebung der Resonatormoden und der Gitterselektivität erreicht. Aufgrund der Verwendung einer nichtentspiegelten Laserdiode musste außerdem der Injektionsstrom verändert werden, um die Laserdioden-Moden synchron mitzuführen.

Es konnte eine Durchstimmung um etwa 80 GHz erreicht werden, bei der aufgrund der Injektionsstromänderung die optische Ausgangsleistung der Laserdiode von 2 mW auf die maximal zulässigen 10 mW anstieg. Dies beschränkte den Durchstimmbereich.

6 Ausblick

Mit Hilfe anderer Laserdioden und einer schnellen elektronischen Regelung soll in Zukunft eine Maximierung von Durchstimmbereich und Durchstimmgeschwindigkeit erreicht werden.

Literatur

- [1] F.J. Duarte, P. Zorabedian: *Tunable Lasers Handbook*, Academic Press, Inc., San Diego (1995)
- [2] A. Korpel: *Acousto-Optics*, Marcel Dekker, Inc., New York (1997)