

Modenselektion im PhaseCOMB Laser: Phasendispersion in den DFB-Sektionen

ede
(Dated: 23.03.2004)

I. MOTIVATION

Modenselektion ist immer noch problematisch beim PhaseCOMB. Allzuvielen Seitenmoden lauern unterdrückt im Hintergrund und nutzen jede Gelegenheit um störend hervorzuspringen. Mühsam müssen etliche Barren durchgemessen werden, um chips zu finden, bei denen die beiden Nutzmoden das tun was sie sollen und die Seitenmoden kuschen. Es bleibt unklar, warum dann dieses eine chip geht und andere nicht. Ein systematisches Verfahren ist unter solchen Bedingungen kaum findbar.

Modeling ist diesbezüglich bisher auch hilflos. Der gewünschte Operationsmodus läßt sich eigentlich immer in einem erklecklichen Teil der Phasenperiode einstellen. Auch mit Lochbrennen und den bisher vorstellbaren Störeffekten. Natürlich, sinnvolle Parameter vorausgesetzt (z.B. Längen), aber ohne starke Abhängigkeit von diesen.

Allerdings: auch das Modeling zeigte Effekte, die bisher unverstanden sind. Insbesondere die ominösen "Frequenzlücken" [1, 2]. Manche Frequenzbereiche lassen sich leichter ansteuern als andere. Beaten zweier Nachbarmoden geht ganz gut im Bereich um 30 GHz. Versucht man es durch Parameteränderung zu den gewünschten 40 GHz zu ziehen, so erreicht man diese nur selten. Vorher springt das Lasern auf übernächste Moden, die dann um die 70-80 GHz herum beaten. Umgekehrt lassen sich übernächste Nachbarmoden kaum bis auf 40 GHz Abstand herunterziehen. Es ist absolut unklar, warum diese "Ansteuerlücke" ausgerechnet bei der Wunschfrequenz 40 GHz liegt und zwar ziemlich unabhängig von verschiedenen Parametern. So hatte ich die Phasenlänge L_p zwischen 10 und 700 μm variiert und für jede die Phase selbst und die Verstimmung durchgedreht [2]. Schön war zu sehen, wie die "Pulsationswolken" mit zunehmender Phasenlänge in der Frequenz nach unten wanderten. Bei Annäherung an den 40 GHz-Bereich jedoch verschwanden sie und tauchten dann erst unterhalb wieder auf. Analog bei Variation der DFB-Längen (beider symmetrisch) zwischen 160 und 400 μm .

In dieser Situation scheint es sinnvoll, sich nochmals mit dem theoretischen Verständnis der Modenselektion auseinanderzusetzen. Und zwar aus alternativen, bisher nicht behandelten Blickwinkeln heraus. Hier: Beitrag der DFB-Sektionen zur Umlaufphase.

II. PHASENDISPERSION EINER DFB-SEKTION

A. Modenabstand \Leftrightarrow Dispersion der Umlaufphase

Die gewünschten mode-beating Pulsationen bei $\Delta f = 40$ GHz sollen 2 Nachbar-Moden mit entsprechendem Frequenzab-

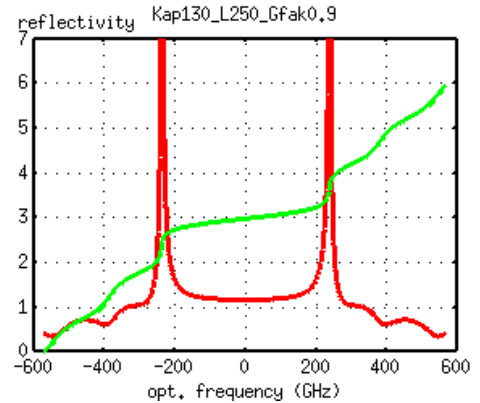


FIG. 1: Amplitudenreflektivität einer DFB-Sektion. Rot: Betrag. Grün: Phase/ 2π .

stand nutzen. Ein Fabry-Perot (FP) müsste dazu die Länge

$$L_{\text{FP}} = \frac{c}{2n_g\Delta f} = \frac{3 \times 10^8}{2 \cdot 3.7 \cdot 40 \times 10^9} \text{m} \approx 1000 \mu\text{m} \quad (1)$$

haben. Das ist nun viel länger als unsere typischen 300 μm langen Phasensektionen. Das ist sogar länger als die typischen Devices insgesamt.

Wieso können im PhaseCOMB zwei Moden dichter beieinander liegen als in einem FP gleicher Länge? Weil für den Modenabstand nicht die geometrische Länge entscheidend ist, sondern die optische Länge. Genauer: die Resonatormoden liegen bei all jenen optischen Frequenzen (Wellenlängen), bei denen sich die Phase der Welle bei einem Resonatorumlauf um ein ganzes Vielfaches von 2π ändert (konstruktive Interferenz mit sich selbst). Entscheidend für den Modenabstand ist also, wie stark sich diese Umlaufphase mit der Wellenlänge ändert (Phasendispersion).

B. Beitrag einer DFB-Sektion zur Umlaufphase

Der Beitrag einer Lasersektion zur gesamten Umlaufphase ist gerade die Phase ihres komplexen Amplitudenreflexionskoeffizienten,

$$\varphi(\lambda) = \arg(r(\lambda)) = \text{Im}[\ln(r(\lambda))]. \quad (2)$$

Die läßt sich für DFB-Sektionen leicht berechnen und ist in Abb. 1 dargestellt. Nettogain = (Gain-Verluste) hier bei 90% der Schwelle. In den Ohren starke Phasendispersion !!! Die Phase ändert sich in den Ohren um etwa eine halbe Periode. Das muss so sein weil: r hat an Schwelle einen Pol und beim Durchgang durch einen Pol springt die Phase um π .

Das ganze hängt natürlich vom Gain ab, Abbildung 2. Genau an Schwelle springt die Phase um π . Bei kleinerem Gain

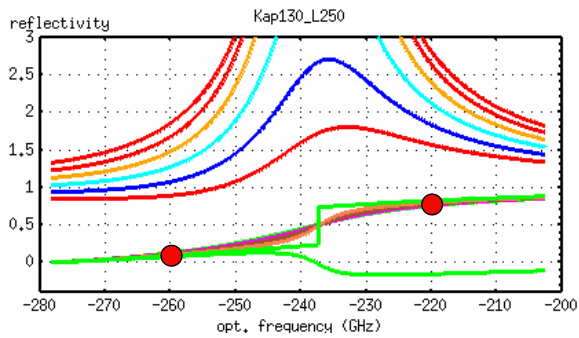


FIG. 2: Amplitudenreflektivität einer DFB-Sektion. Ausschnitt an linkem Ohr. Scharparameter der Kurven: Nettogain = 0.6, ..., 1.1 mal Schwellenwert. Bei den Phasenkurven entspricht die eckige genau der Schwelle und die mit negativer Dispersion 1.1 mal Schwelle. Die beiden Kreise im Abstand von 40 GHz illustrieren ein potentielles Modenpaar.

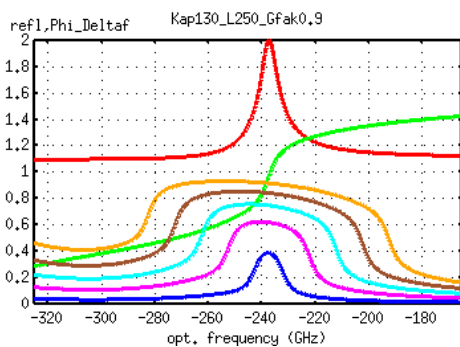


FIG. 3: Kurvenschar unten: Phasenzuwächse $\phi_{\Delta f}$ für $\Delta f = 10, 30, 50, 70, 90$ GHz. Darüber: Normierter Betrag +1 sowie Phase der Reflektivität. Parameter wie in Abb. 2, Nettogain = 90% Schwelle. Abszisse: optische Mittenfrequenz f relativ zur Stopbandmitte.

(der im gekoppelten Zustand meist vorliegt), wird das auf ein

endliches Intervall verschmiert. Bei überschwelligem Gain wird die Dispersion negativ. Das kann im gekoppelten Zustand in einer der beiden Sektionen durchaus eintreten (prüfen !!!).

C. Phasenzuwachs über endliches Frequenzintervall

Der lokale Anstieg der Phasendispersionskurven ist für unser Problem mit 2 Moden in $\Delta f = 40$ GHz Abstand nur bedingt relevant. Wichtig ist der Phasenzuwachs über dieses endliche Frequenzintervall,

$$\phi_{\Delta f} = \varphi(\lambda_+) - \varphi(\lambda_-); \quad \lambda_{\pm} = \lambda \left(1 \mp \frac{\Delta f}{2f}\right); \quad (3)$$

λ : Mittenwellenlänge, f : entsprechende optische Mittenfrequenz c/λ .

Die beiden fetten Punkte stellen 2 solche (fiktive) Moden mit 40 GHz Abstand dar. Der Phasenzuwachs zwischen beiden ist etwa 0.7 Perioden – praktisch unabhängig vom Gain (solange unter Schwelle und deutlich über Transparenz) und auch wenig abhängig von ihrer absoluten spektralen Position. Wenn aber jede DFB-Sektion 0.7 Perioden Phasenzuwachs bringt, sind das zusammen schon 1.4, mit den 0.3 der Phasensektion also 1.7. Die Moden können also noch ein ganzes Stück zusammenrutschen.

Fig. 4 zeigt die Phasenzuwächse (3) für verschiedene Differenzfrequenzen Δf über der relativen optischen Mittenfrequenz f . Bei 2 gleichen DFB-Sektionen und 300 μm Phasensektion würden 2 Nachbarmoden mit Mittenfrequenz im Ohr einen Phasenzuwachs von 0.35 pro DFB erfordern und übernächste Moden 0.85. Das gibt hier weniger als 10 GHz Abstand für Nachbarmoden und etwa 70 GHz für übernächste. Nun hängt das wieder vom Gain ab. Um nicht unzählige Bilder malen zu müssen, betrachte ich jetzt nur noch den Phasenzuwachs im Maximum des Ohrs.

[1] Rechnungen 22.04.02
"influence of LDFB on SP-islands (frequency vs. detuning)"
[2] Rechnungen 07.03.02

"interplay between detuning and length of phase section"

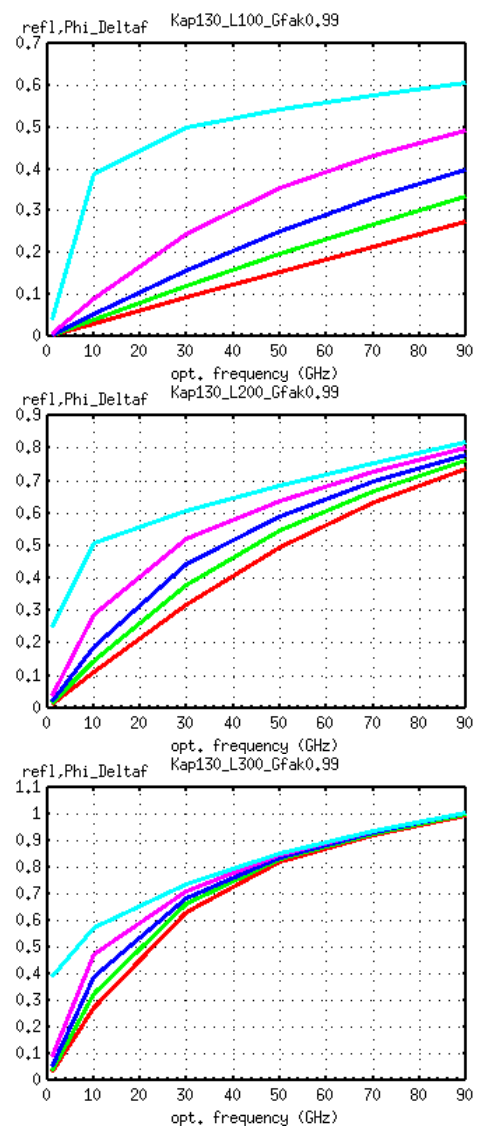


FIG. 4: Phasenzuwachs im Maximum der Reflexionsresonanz als Funktion der Differenzfrequenz für $L_{\text{DFB}} = 100, 200, 300 \mu\text{m}$ und Nettogain = 60% (rot), 70% (grn), 80% (blau), 90% (lila), 99% (hellblau).