

光注入同期された半導体レーザーの同期周波数範囲の 拡大方法に関する研究

先進理工学科 岸本研究室 学籍番号 1013162
南谷 優吾

1. 背景と目的

アルカリ金属での磁気光学トラップでは、冷却に用いるクーリング光(マスターレーザー)と、冷却サイクルから外れた原子を冷却サイクルに戻すためのリポンプ光(スレイブレーザー)の二本のレーザーが必要である。これは、アルカリ金属の場合、最外殻電子が一個のみであり、その電子スピンと核スピンの相互作用によって基底準位に分裂が生じることによる。この分裂は超微細構造分裂と呼ばれ、特に本研究で用いる ^{87}Rb 原子では、6.8GHz となっている。

そこでまず、クーリング光は飽和吸収分光を用いて D2 線の $|5S_{1/2}, F=2\rangle \rightarrow |5P_{3/2}, F'=3\rangle$ 遷移の周波数にロックしている。さらに、6.8GHz で周波数変調されたスレイブレーザーの -1 次サイドバンドへクーリング光を光注入同期する。これによって、スレイブレーザーとマスターレーザーの周波数差を一定に保ちつつ、同じ線幅に追随させることができ、 $5S_{1/2}, F=1 \rightarrow |5P_{3/2}, F'=2\rangle$ 遷移に共鳴なりポンプ光が生成可能となる。この方法で、もう一組の飽和吸収ロックや外部共振器を組む必要がなくなり、リポンプ光を作りだすことができる [1]。

本実験に用いるスレイブレーザーは反射防止膜 (AR コート) なしの半導体レーザーであり、内部共振器による特性から、-1 次サイドバンドへ光注入同期された際の同期周波数範囲が必然的に狭くなってしまい、リポンプ光源として用いるには、狭い掃引幅や安定度の点で改善の余地がまだある。このシステムを実現し、実用化させるために、スレイブレーザーの同期周波数範囲の拡大を目指す。

2. 原理

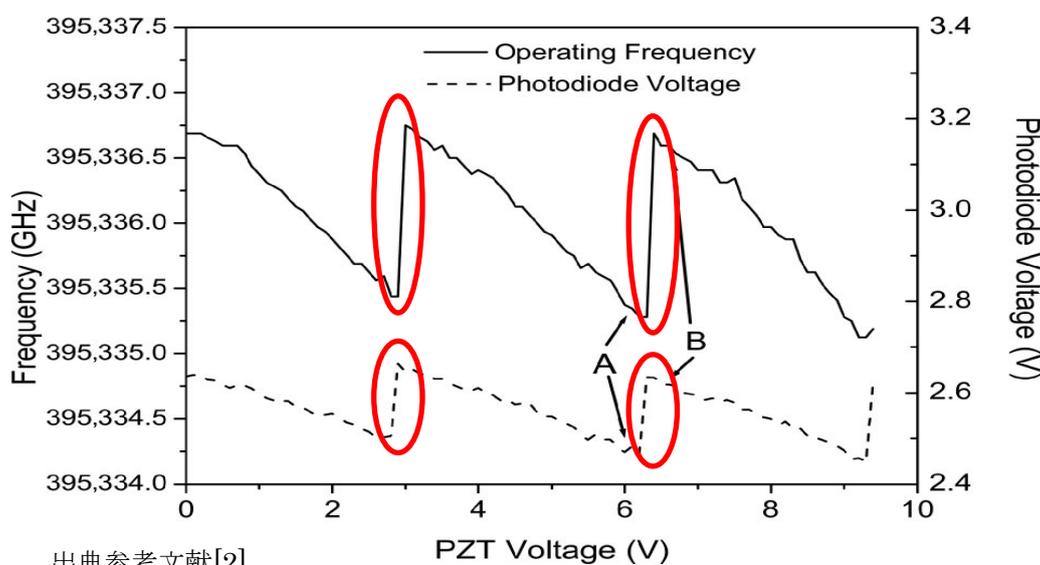
2.1 本実験の原理

本研究でのマスターレーザーは、共振器長が短く安定したモードを得やすい Littrow 型外部共振器型半導体レーザーを採用している。Littrow 型外部共振器型半導体レーザーは、反射型回折格子(Grating)部分を動かす PZT 素子にかかる電圧を変化させることにより、外部共振器長を変化させ、発振周波数を変化させることができる。しかしながら、光路長の変化が波長の変化に一致しなくなったときにモードホッピングが起きてしまう。Grating による光路長の変化を補正する方法として、Laser Diode (LD)への注入電流を変化させ

る方法がある。注入電流を変化させることによって、LDの屈折率が変化し、光路長が変化する。この変化を利用し、外部での光路長の変化を、注入電流での屈折率での変化で補正をかける。このことにより、モードホッピングを抑えることができ、モードホップフリーレンジを拡大することができる[2][3]。

一方で、本実験で使用するスレイブレーザーは Grating 等を利用した外部共振器を組まない通常ファブリペロー半導体レーザーだが、外部共振器が組まれたマスターレーザーを光注入同期しているため、マスターレーザーの Grating を動かしている PZT 素子の変化による Grating の変化に伴った周波数変化に追従した周波数変化が期待される。ただ、マスターレーザーに追従できる周波数範囲は、スレイブレーザーの内部共振で決まる周波数範囲で通常制限されてしまう。そこで、今回はその周波数変化に合わせ、スレイブレーザーの LD の注入電流を変化させ、同期周波数範囲を広めることを目指す。

発振周波数が増えると、レーザーの強度は緩やかに変化するが、モードホッピング時には大きな変化を示す。その変化を利用し、注入電流での補正を行う。エラーシグナルは、スレイブレーザーを 10MHz 周波数変調し、強度を測定し、その信号を Mixer を用いて復調し、その後、ローパスフィルターを用いて作成する。エラーシグナルそのままでは、フィードバックの信号として利用することができないので、エラーシグナルのオフセット、倍率、正負を変化させる回路を作成しフィードバックシグナルを作る。そのフィードバックシグナルを、current controller を用いてスレイブレーザーの注入電流へフィードバックする。以下に、参考文献[2]から引用したレーザーの周波数変化に対するレーザー強度の変化の実験データを載せる。本実験では、以下の結果と同等の結果を得ることができた。



出典参考文献[2]

図 1: ECDL の光路長を変化させる PZT に与える電圧に対するレーザー周波数と強度の変化 赤丸はモードホッピングである

2.2 光注入同期の原理

一般的な光注入同期は、広い線幅を持つレーザー(本実験におけるスレイブレーザー)に周波数の決定した狭い線幅の光(本実験におけるマスターレーザー)を注入する。すると、引き込み現象によってスレイブレーザーとマスターレーザーの周波数が同期し、スレイブレーザーが狭い線幅で発振するようになる。つまり、スレイブレーザーへのマスターレーザーの光注入同期により、マスターレーザーの狭い線幅、安定した周波数の特徴がスレイブレーザーへ受け継がれる。このことにより、スレイブレーザーの周波数をロックし、また狭い線幅を実現し、実用的な光源と変化させている[1]。

本実験の場合は、スレイブレーザーに 6.8GHz の周波数変調によるサイドバンドを立て、-1 次サイドバンドにマスターレーザーを光注入同期することにより、マスターレーザーとスレイブレーザーのキャリアの周波数差(マスターレーザーのキャリアの周波数<スレイブレーザーのキャリアの周波数)は 6.8GHz に固定することができる。

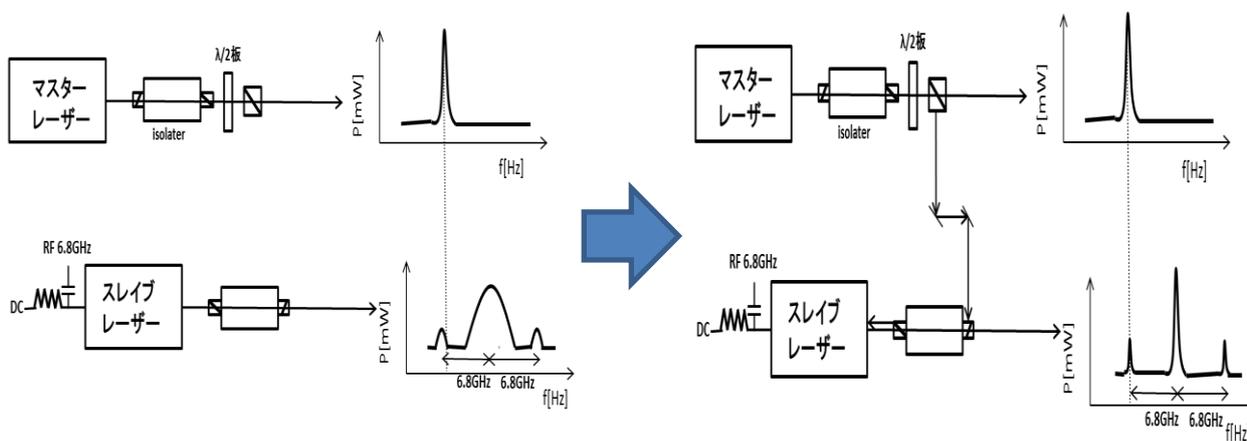


図2 -1次サイドバンドへの光注入同期 左図が光注入同期前で右図が光注入後である。

3.実験結果

本実験は、マスターレーザーのモードホップフリーレンジの拡大を目指した後に、通常の光注入同期でのスレイブレーザーの同期周波数範囲拡大、その後本最終目的である-1 次サイドバンドへ光注入同期した際のスレイブレーザー同期周波数範囲拡大を目指した。

マスターレーザーのモードホップフリーレンジの拡大は、フィードバックなしでモードホップフリーレンジが、 0.4775GHz だったものを PZT 素子へ与える電圧による周波数変化の範囲全範囲(現在測定できる最大の範囲)までモードホップフリーレンジを上げることができた。

通常の光注入同期でのスレイブレーザーの同期周波数範囲拡大は、フィードバックなしでの同期周波数範囲が 1.3142GHz だったものを、 2.643GHz まで、つまり約 2 倍同期周波数範囲を上昇させることができた。

次に-1 次サイドバンドへ光注入同期した際のスレイブレーザー同期周波数範囲拡大の実

験を行ったので、その結果を以下の図に示す。

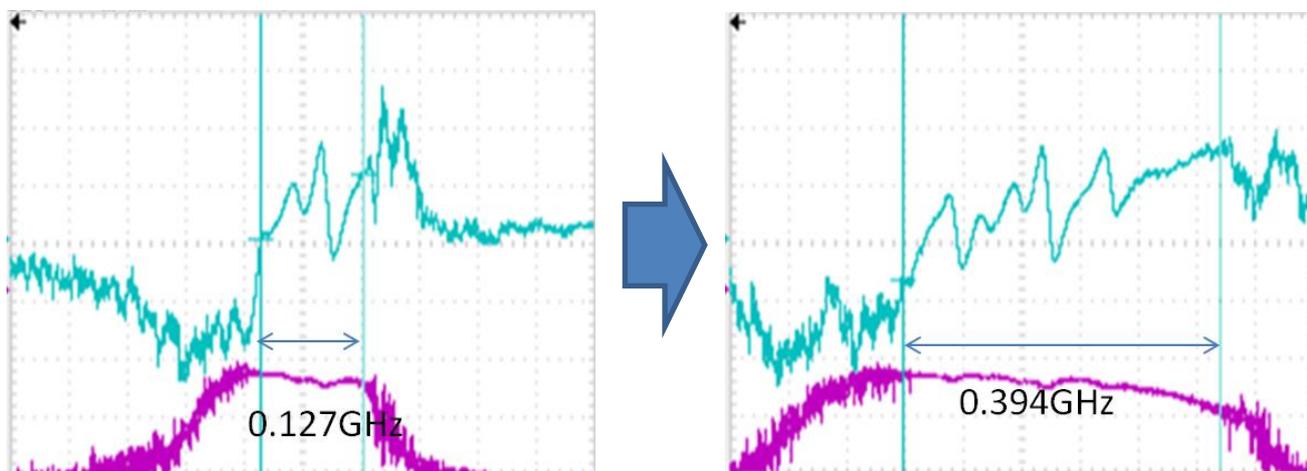


図 4 -1 次サイドバンドへ光注入同期した際のスレイブレーザー同期周波数範囲 左図がフィードバック前で右がフィードバック後である。横軸がオシロスコープ上の時間、つまり周波数変化であり、縦軸が電圧である

図 4 に示したように、フィードバックなしでの同期周波数範囲が**0.127GHz**だったものを、**0.394GHz**まで、つまり約 3 倍同期周波数範囲を上昇させることができた。

4.まとめと今後の展望

マスターレーザーのモードホップフリーレンジを最大値まで拡大することができた。また、通常の方法で光注入同期されたレーザーの同期周波数範囲を **2.64GHz** (約 2 倍)まで拡大することができ、-1 次サイドバンドへ光注入同期された際の同期周波数範囲は、**0.39GHz**(約 3 倍)まで拡大することができた。

今後の展望は、室温の変化等でスレイブレーザーの条件が変わっても、しっかりマスターレーザーに追随し続けられるように数 GHz 程度まで同期周波数範囲が拡大できるようにしたいと考えている。また、強度を測定する際に、外部のフォトディテクターを用いるのではなく、LD 内部のフォトダイオードを用いる。LD 内部のフォトディテクターを使用することによって、実用された際の光路が単純化され、フォトディテクターのアライメントの必要がなくなる。そのことより、より系が単純化され、元々の目的である系の単純化につながる。

5.参考文献

- [1]Wenting Diao, Jun He, Zhi Liu, Baodong Yang, and Junmin Wang. Optics Express.**20**,7480 (2012)
- [2] Kevin S. Repasky, Amin R. Nehrir, Justin T. Hawthorne, Gregg W. Switzer, and John L. Carlsten. Appl. Opt. **45**, 9013 (2006)
- [3] M. K. Shaffer, G. Ranjit, and C. I. Sukenik. Rev.Sci.Instrum.**79**, 046102 (2008)