

# $^{87}\text{Rb}$ 原子のための $1.5\ \mu\text{m}$ 帯共振器増幅 光双極子トラップの開発

先進理工学科 応用物理工学コース 岸本研究室

1013065 小森 拓斗

## 1. 研究背景

本研究室では  $^{87}\text{Rb}$  を用いて絶対零度の高密度な原子集団、ボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC) の生成を行っている。より多くの原子数の BEC を効率的に生成するには強制蒸発冷却と呼ばれる過程の前までにいかに多くの極低温原子を保存場へロードできるかが鍵になる。我々は光双極子トラップ (ODT) と呼ばれる光による保存場を採用しており、ODT のポテンシャルの深さは用いるビーム強度に比例する。しかしビーム強度を上げるためビーム径を絞ってしまうと、ポテンシャルは深くなるが原子に照射できる範囲が狭まってしまい多くの原子をロードすることはできなくなる。つまり多くの原子を ODT にロードするためには、ODT へロードする前の原子集団の温度や大きさを元に考え、十分に強いビームのパワーと広いビーム径が必要になる。

そこでビームのパワーを増幅するために、共振器増幅光トラップ (Cavity Trap) を検討している。そして Cavity Trap を PDH (Pound-Drever-Hall) 法を用いて光源に対してロックしたいと考えている。しかし、PDH 法のためサイドバンドの立った光源をファイバーアンプに通した際、ファイバーアンプの設計・入射光強度・変調周波数や変調比率といった条件次第では、四光波混合などの非線形効果が生じる可能性もあり、出力としてどのような増幅がなされるのかは自明ではなかった。そこで本研究ではまず種光源に対して電流変調によるサイドバンドを生成し、その光源をファイバーアンプに通した際、どのような増幅がなされるのかを評価した。そして Cavity Trap へ向け想定しているフィネス 500 と同程度のフィネスを実現しているファブリペロー共振器を用いて、光源に対する共振器ロックを試みた。

## 2. 原理

### 2.1 PDH (Pound-Drever-Hall) 法

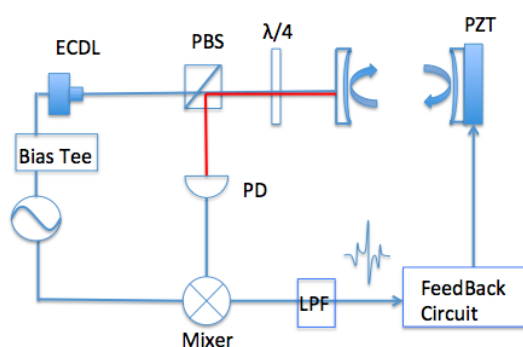


図 1: PDH 法の概要図

本研究では、光源に対して共振器をロックするという目的で PDH 法を採用した。

PDH 法を行なうためには、まず光源に対してサイドバンドを生成する必要がある。一般的には電気光学素子 (EOM)、または ECDL の電流に対する電流変調があるが、今回は後者の手法を採用した。光源を共振器に入射すると、共振器が

光源に対して完全に共鳴であるならばその入射光はすべて透過光として出力される。しかし共鳴がずれたときは共振器内を光が往復できず反射光として出射される。PDH 法ではその反射光をフォトディテクター(PD)で検出し、電流変調に用いた変調信号と Mixer で掛け合わせ復調を行なうことでエラーシグナルを生成する。そのエラーシグナルをフィードバックシグナルへと変換する回路を介し、共振器に取り付けられているピエゾ素子へフィードバックすることで、光源に対して常に共振器を共鳴に保つことができる。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 種光のサイドバンド生成の実験

ファイバーアンプへサイドバンドの立った光源を入射するに先立って、電流変調によりサイドバンドはどのような特性を持って生成されるかを評価した。ECDL の電流部に Bias Tee を挿入し、15MHz の正弦波で電流変調を行った。交流電圧の振幅(Modulation Signal Amplitude)を  $100\text{mV}_{\text{p-p}} \sim 420\text{mV}_{\text{p-p}}$  まで変化させたときのキャリアに対するサイドバンドの比率を表したのが図 2 になる。

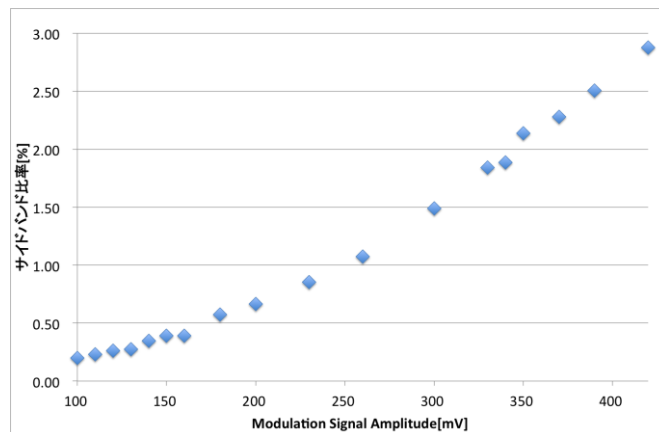


図 2: 変調振幅に対するサイドバンド比率

図 2 より変調振幅を増加させるとサイドバンドは緩やかに単調増加することがわかった。さらに変調振幅  $420\text{mV}_{\text{p-p}}$  では約 3%のサイドバンドを生成することができ、PDH 法を行なうに十分なサイドバンドを生成することができた。

#### 3.2 ファイバーアンプによるサイドバンド増幅の実験

次に、前実験により生成したサイドバンドの立った光源をファイバーアンプに入射し、その出射光からファイバーアンプでどのようにサイドバンドが増幅されているのかを評価した。ファイバーアンプ後の各出力における種光とファイバーアンプ後のサイドバンド比率を比較したのが図 3 になる。

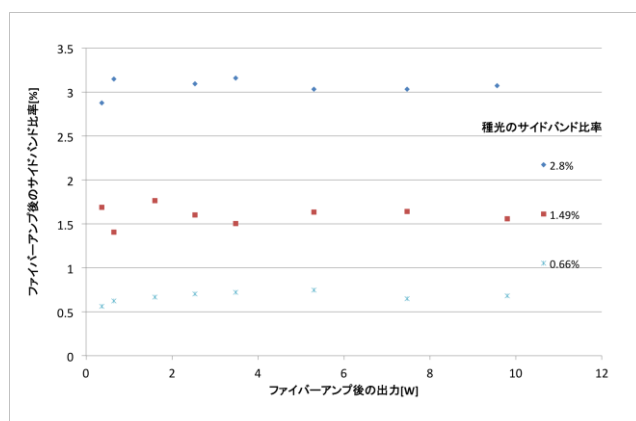


図 3:ファイバーアンプ後の各出力における種光とファイバーアンプ後のサイドバンド比率

図 3 より、ファイバーアンプ後の出力 10W までにおいてそれぞれの種光のサイドバンド比率に対して、数%までであればほぼ同じサイドバンド比率で増幅されていることがわかる。

次に、アンプの増幅率を固定して出力 10W とし、変調振幅を  $420\text{mV}_{\text{p-p}}$  から  $1250\text{mV}_{\text{p-p}}$  まで変化させ、更に高いサイドバンド比率に対して増幅させた場合の測定を行った。その結果を図 4 に示した。

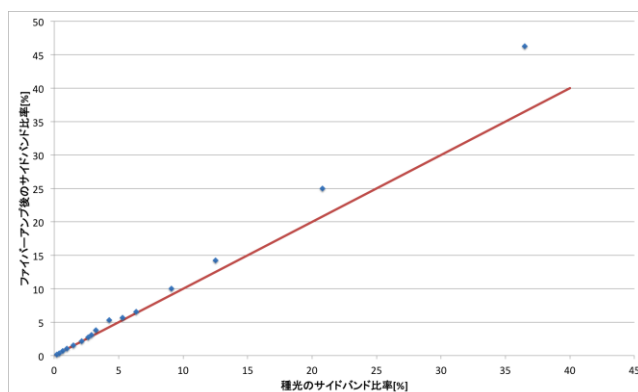


図 4:アンプの増幅率を固定し出力 10W とし、変調振幅を  $1250\text{mV}_{\text{p-p}}$  まで増加させたときのそれぞれのサイドバンド比率

図 4 の赤線は線形な直線を示している。これより変調振幅を  $1250\text{mV}_{\text{p-p}}$  まで増幅していくと、種光とファイバーアンプのサイドバンド比率に違いが出始めることがわかる。変調振幅  $1250\text{mV}_{\text{p-p}}$  ではファイバーアンプのサイドバンド比率は種光のそれよりも 10% も多くなっていることがわかる。

### 3.3 光源に対する共振器ロックの実験

電流変調によりサイドバンドを生成できることを確認できたので、このサイドバンドの立った光源を用いて PDH 法による共振器ロックを行った。実験に用いたファブリペロー共振器は、Cavity Trap で想定しているフィネスと同程度のフィネス 500 を実現しているも

のを用いた。

今回復調により得られたエラーシグナルが図 5 であり、図 5 を用いて共振器をロックしたときが図 6 になる。

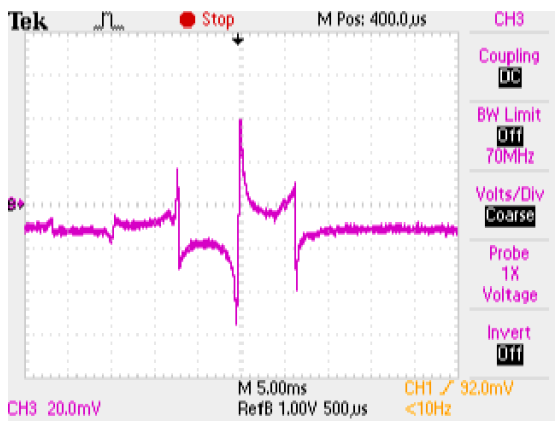


図 5: 復調で得られたエラーシグナル

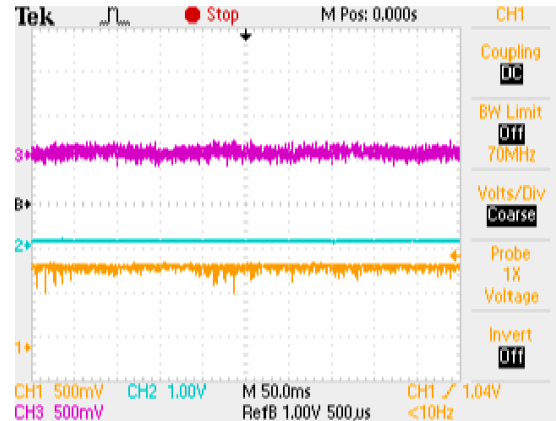


図 6: 共振器ロックしたとき

図 6 の CH1 が透過光強度、CH2 がフィードバックシグナル、CH3 がエラーシグナルを表している。これより透過光強度がある一定値になり、共振器が共鳴状態になっていることがわかる。このロック状態は約 20 分続いた。

#### 4. 今後の展望

今回の実験によりフィネス 500 のファブリペロー共振器で共振器ロックを行なうことができた。ここで用いたロック回路はロックが外れても自動で再ロックするようになっている。しかし、ロック持続時間が長いほど安定した実験が行えるようになるため、今後はフィードバックシグナルを作り出している回路を主に見直すことによってロックの持続時間を拡大していきたいと考えている。また実際に実験で用いる予定の Cavity Trap は、三角形型共振器の内部に真空ガラスセルが入る設計となっており、さらにミラーやガラスセルの振動といった外乱が入るため、回路の完成度を一層向上させることは必至であると考えている。

#### 参考文献

- [1]Soichi Kobayashi et al, “Direct Frequency Modulation in AlGaAs Semiconductor Lasers,” IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS VOL QE-18, NO.4
- [2]Eric Black, “Notes on the Pound-Drever-Hall technique,” LIGO Technical notes (1998)
- [3]Evan M. Lally, “A Narrow-Linewidth Laser at 1550nm Using the Pound-Drever-Hall Stabilization Technique,”バージニア工科大学 修士論文 (2006)
- [4]稲田安寿 “極低温フェルミオン原子 6Li におけ s 波および p 波対形成” 東京大学 博士論文 (2009)

