

# トランスファー共振器を用いたレーザーの周波数安定化

向山研究室 千田佑真

2011年3月5日

## 1、目的

レーザー冷却に用いるレーザーの周波数は、原子の共鳴周波数に近い値で安定していなければならない。具体的には対象とする原子種にもよるが、通常 1MHz/hour 程度の周波数安定度が要求される。安定化を施していないレーザーでは 0.39MHz/sec 程度の安定度しかないので安定化が必要となる。レーザーの周波数安定化には一般的には飽和吸収分光という方法があるが、放電セルを Ca イオンで満たすのは困難である。そこで、トランスファー共振器を用いて Ca イオン冷却用レーザーを作製する。

## 2、原理

本研究ではデジタルフィードバックという方法によって安定化を行う。デジタルフィードバックとは、周波数を安定化させたい LD と、もともと周波数が安定している He-Ne レーザーを共振器に入れ、波形をコンピュータで読み取る。そして読み取った波形をもとにフィードバック信号を LD に送り、周波数を安定化させる。この方法を用いると基準となるレーザーと同程度の安定度を持ったレーザーを作ることができる。つまり「トランスファー共振器を用いた」というのは He-Ne レーザーの安定度を LD に移す（トランスファーする）ということからきている。

## 3、実験装置

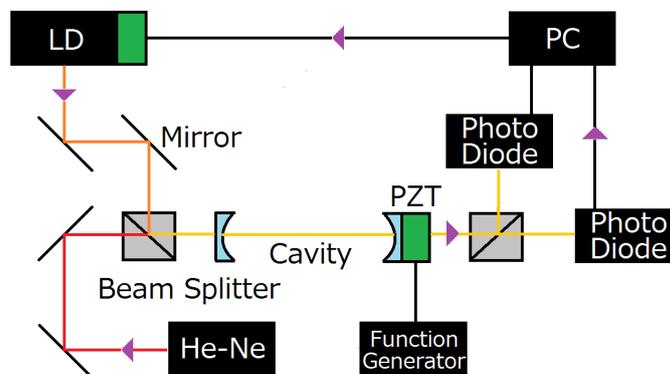


図 1、実験装置

図1は実験装置の図である。LDとHe-Neレーザーをビームスプリッターを用いて、共振器に入れ共振させる。共振器にはピエゾ素子がついており、三角波(3V、50Hz)の電圧がかけられている。共振したところで波形にピークが現れるので、それをフォトダイオードで読み取り、コンピュータに送る。コンピュータで読み取った波形を図2に示した。ピークの間隔が一定になるようなフィードバック信号を、LDのピエゾに送ることによって周波数を安定化させる。三角波の掃引長さはFSR約2個分、信号取得のサンプリングレートは150kHz、サンプリング数は2kであった。また、フォトダイオードからコンピュータへ信号を取り込むアナログ入力ボードにNI9215、コンピュータからLDのピエゾにフィードバック信号を送るアナログ出力ボードにNI9263、トリガ用としてNI9205を用いた。

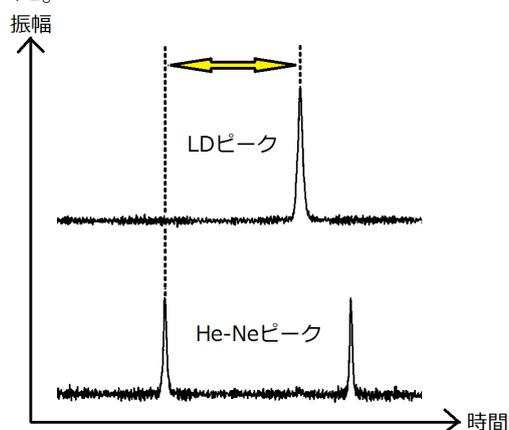


図2、コンピュータで読み取った波形

#### 4、結果①

実際にフィードバックをかけたときと、かけないときの周波数の変化の様子は下図のようになった。

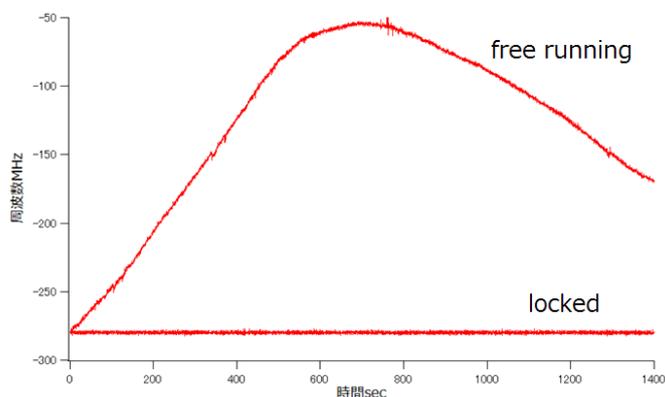


図3、周波数ゆらぎの比較

図3からフィードバックをかけないときは0.39MHz/secで周波数がドリフトしてい

く様子が観測された。また、フィードバックをかけたときは標準偏差から  $0.73\text{MHz}$  の周波数ゆらぎとなることが分かった。次にプログラム上での設定値を変えることによって、ロックする周波数を任意に変えることができるので、その時の様子を図 4 に示した。設定値を変えた瞬間は少しオーバーシュートしているが、約  $0.3$  秒で瞬時にロック周波数を変えることができた。

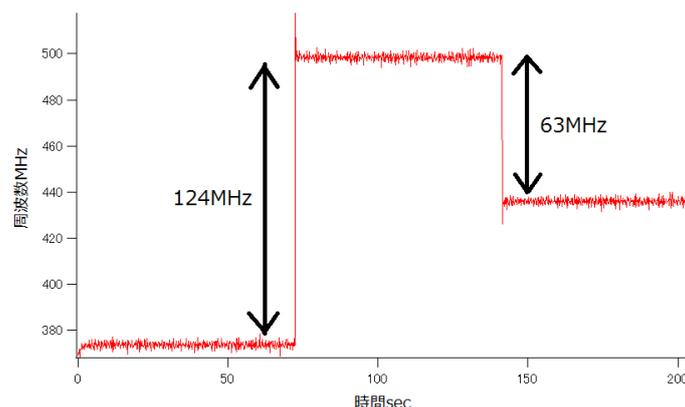


図 4、ロック周波数の変更

## 5、結果②

次に周波数ロックした LD を用いて、 $\text{Rb}$  原子の飽和吸収分光を行い、周波数安定度の評価を行った。実験方法としては、 $\text{Rb}$  のガスセルに LD を入射して吸収曲線を観測する。そして、吸収の dip の位置に対応する周波数で LD の周波数をロックして、吸収曲線がどれだけずれるかを観測することによって周波数安定度を評価した。実験では比較的強度が強い  $^{85}\text{Rb}$  の  $F=3$  から  $F=2$  の吸収曲線を観測した。(図 5)

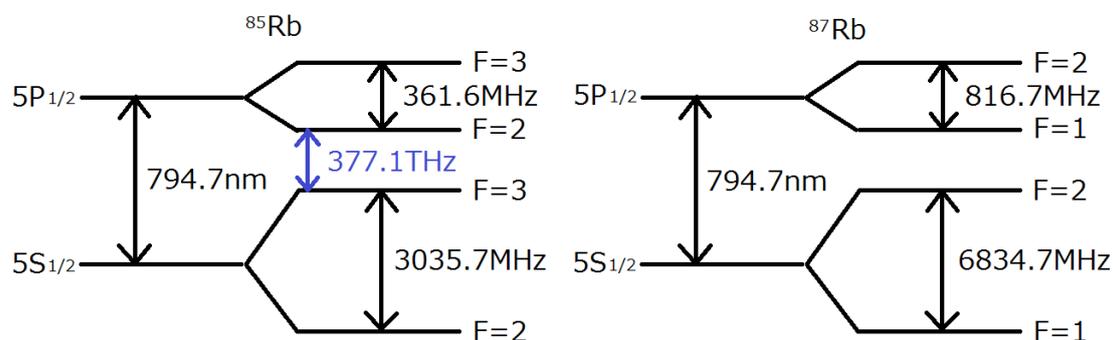


図 5、 $\text{Rb}$  原子の超微細構造

実際に観測した吸収曲線を図 6 の左に示した。この図から dip が 3 つあることが分か

る。それぞれに 123 と番号をつけると、1 が  $F=3$  の遷移、3 が  $F=2$  の遷移、2 が 1 と 3 のクロスオーバー共鳴であることが分かる。実験では 2 番目の dip の位置に対応する周波数で周波数ロックを行った。実際にロックを行ったときの図が図 6 の右である。dip2 の下端の幅は計算すると約 10MHz なので、吸収曲線が下の線まで下がると、LD の周波数が約 10MHz ずれたということになる。この図では下の線まで下がっていないので、LD の周波数ゆらぎは 10MHz 以内に収まっていることが分かった。

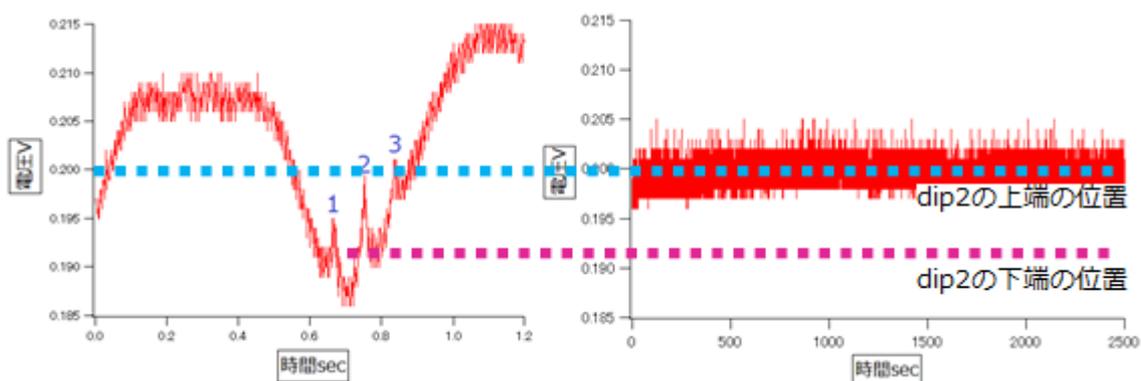


図 6、Rb の吸収曲線と、dip2 の位置に対応する周波数で周波数ロックしたときの様子

## 6、まとめと今後の課題

レーザー冷却用には十分な長時間安定したレーザーを作ることができた。また、デジタルフィードバックにより、任意の周波数に瞬時に変えることができた。そして、ロックした LD の周波数が安定であることが Rb の吸収曲線からも確かめられた。今後の課題としては、温度変化によって共振器の長さが変わってしまうので、温度変化による周波数ゆらぎへの影響についても調べていきたい。