

1. 目的と背景

原子は極低温状態では波の性質が顕著に現れ、原子干渉を起こす。Chu 氏はその特性を用いて重力加速度を測定できることを実証した。原子干渉は外部からの影響に対して位相変化が激しいことから、次世代の高性能な精密測定機器を開発されることが期待される。重力加速度は地球物理学や測地学に重要なものになる。われわれ中川研究室は原子干渉を用いた可搬型の重力測定器の原型の開発を目標としている。原子干渉のレーザーシステムは長さの基準となる周波数基準レーザーである Master Laser をもとに、冷却用レーザーやラマン遷移用レーザーといった Slave Laser が構築される。今回、卒業研究では $85\text{Rb } F=3 \rightarrow F'=4$ の共鳴周波数 (384THz) をもとにフィードバック制御を用いて周波数基準レーザーの開発を行った。また原子干渉用の Master Laser に要求される周波数ゆらぎは $\Delta\nu/\nu = 100\text{kHz}/384\text{THz} = 2.6 \times 10^{-10}$ 以下であり出力周波数ゆらぎを 100kHz 以下と目標とした。

2. 原理

2.1 飽和吸収分光法

原子の速度分布はマクスウェルボルツマン分布である。ドップラー効果により原子の感じる周波数は変化し正確に共鳴周波数を観測することができない。飽和吸収分光法はドップラー効果に影響されない超微細構造の観測法である。図 2.1 のように原子(Rb)セルに光を対向させる。観測用の光を probe 光、もう一方の光を pump 光と呼ばれている。通常は probe 光のパワーより pump 光のパワーの方が大きい。

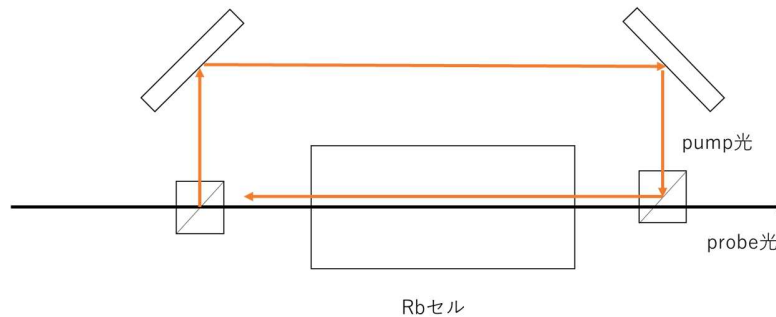


図 2.1 飽和吸収分光法概略図

原子が速度 v を持つとき、ドップラー効果により原子の感じる周波数は pump 光と probe 光では異なるので probe 光の透過強度は低いままであるが、原子の速度が 0 の時、原子の感じる周波数は probe 光と pump 光で一致するので飽和吸収を起こし probe 光の透過強度が上がる。

2.2 変調移行分光法

変調移行分光法は、飽和吸収分光法の原理を用いた分光法の一つであり、図 2.3 のように飽和吸収分光法の pump 光に EOM を用いて変調をかけることにより吸収線の共鳴ラインからの誤差を出力できる方法である。

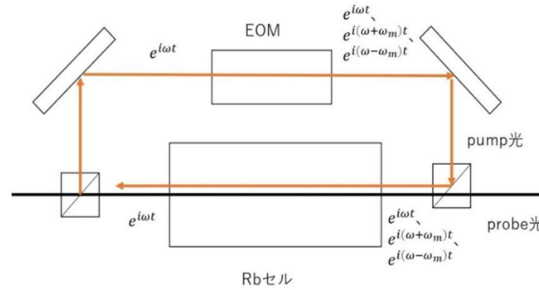


図 2.3 変調移行分光法概略図

probe 光は変調された pump 光により Rb 原子を介しての変調信号が乗る。変調移行分光法によるサイドバンドのかかり具合は共鳴周波数との距離により変化し、変調周波数の信号を検出することでレーザー光の周波数と共鳴周波数とのずれを出力することができる。

3. 実験系

実験系は図 3.1 に示す。変調移行分光法によりレーザーの周波数と $F=3 \rightarrow F'=4$ 共鳴周波数とのずれを電圧として出力され、その誤差分補正を電流源に戻すことで周波数安定化を図るフィードバック制御を用いた。

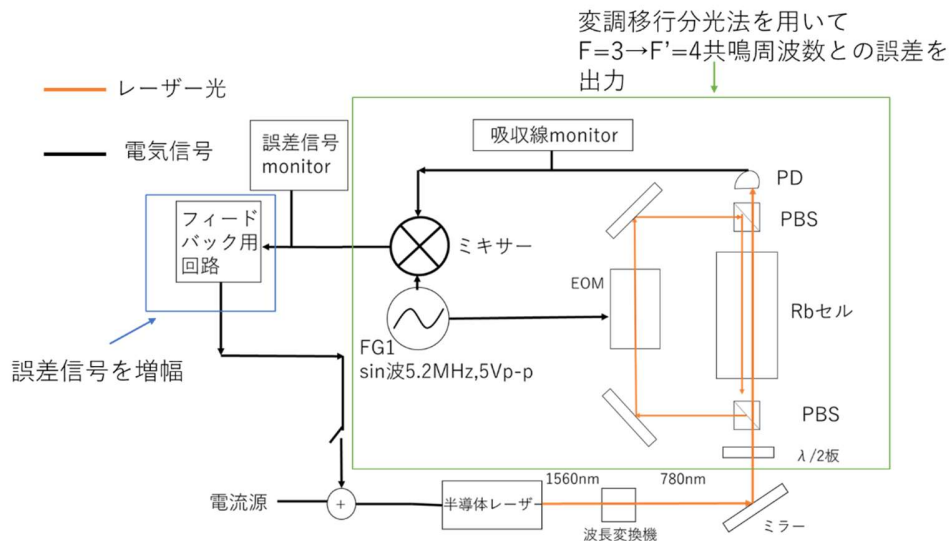


図 3.1 レーザー周波数安定化実験系の概略図

4.実験結果

85Rb 原子のエネルギー準位を図 3.1、飽和吸収分光法を用いて吸収線を観測したときの測定図を図 3.2、変調移行分光法を用いて誤差信号を観測したときの測定図を図 3.3 にそれぞれ示す。

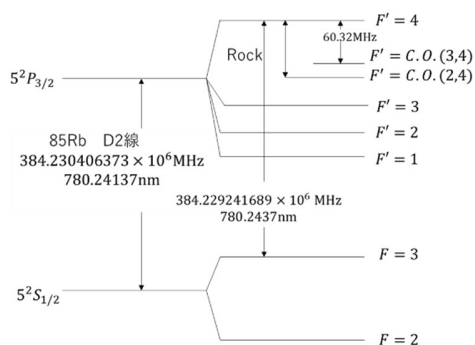


図 3.1Rb 原子のエネルギー準位

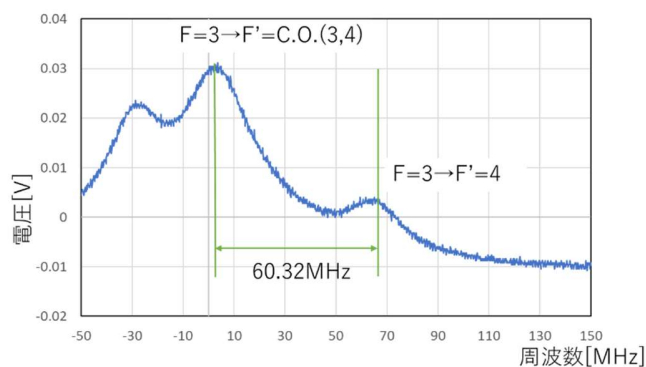


図 3.2 飽和吸収分光を用いたときの観測図

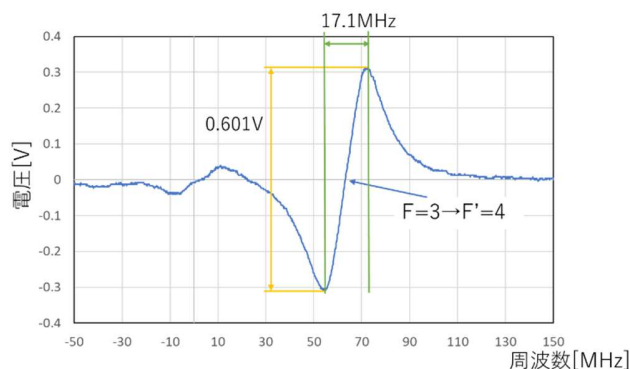


図 3.3 変調移行分光法を用いた誤差信号の観測図

誤差信号の特性は 35.2mV/MHz であった。次にフィードバック制御を用いて周波数安定化し probe 光を PD で検出したときの電圧ゆらぎを図 3.4 に示す。

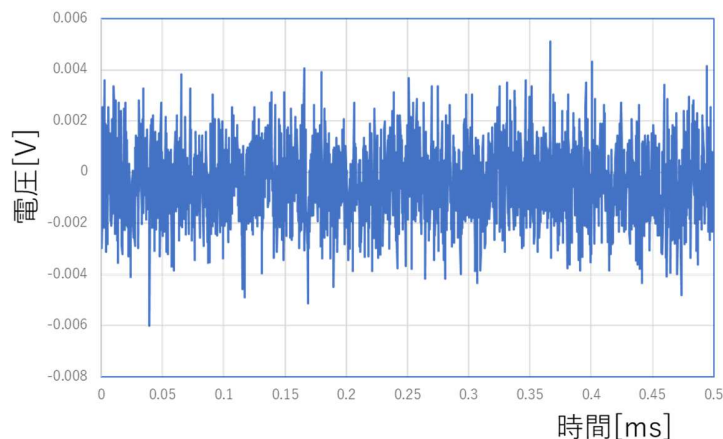


図 3.4 周波数安定化時のレーザー光を PD で検出したときの電圧ゆらぎ

この電圧ゆらぎから誤差信号の特性を用いてレーザー光の周波数ゆらぎを推定することができる。電圧ゆらぎは 1.43mV、誤差信号の特性は 35.2mV/MHz であるからレーザーの推定される周波数ゆらぎは 40.7kHz であることがわかった。

4.まとめと今後の展望

原子干渉用の周波数基準レーザーに用いるための許容される周波数ゆらぎは 100kHz 以下であるから、今回作成したレーザー系はその目標を満たすことができた。岩國先生の助力をいただき光コムで絶対周波数の測定を行った。このとき文献値と比較してレーザー光の周波数は数 MHz ほどのずれはあった。おそらくこれは誤差信号のオフセット調整が行われていない(電圧ゼロの部分に共鳴周波数に合わせられていない)ことが予想される。理想としては 0.6mV～1mV 単位で調整することが望ましい。調整が終われば、これをもとに原子干渉に必要な冷却用レーザーやラマン遷移用レーザーを構築する予定である。

5.参考文献

- [1]石川悠, Rb 原子冷却用レーザーの周波数安定化,卒業論文 電気通信大学(2019)
- [2]奥野央志, Rb 原子の変調移行分光を用いた 420nm 半導体レーザーの周波数安定化, 卒業論文電気通信大学(2019)
- [3]Raniel A. Steck “Rubidium 85 D Line Data” Los Alamos National Laboratory (2001)
- [4]高瀬直美, 周波数安定化 420nm 青色半導体レーザーの開発,卒業論文 電気通信大学(2018)