

# 1083nm 半導体レーザーの周波数ロック

量子・物質工学科 清水和子研究室 荒井 俊介

## 1. 背景と目的

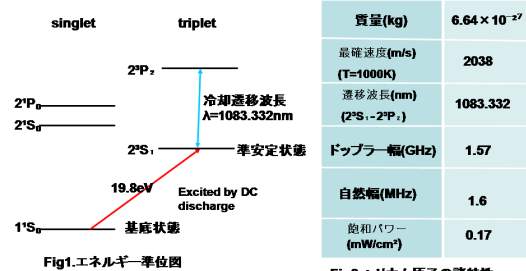
我々の研究室ではレーザー冷却により超低速に減速しトラップした準安定状態ヘリウムを用い、トラップ原子の減衰から  $10^{-10}$ pa 以上の極高真空の定量的測定を目指している。

現段階では磁気光学トラップ及び双極子トラップを生成する実験を行っており、本実験で磁気光学トラップ中の原子数を増やす為のディフレッター用半導体レーザーを飽和吸収分光法により周波数安定化する事を目的とする。

## 2. ヘリウム原子の諸特性

我々がレーザー冷却に用いるヘリウム原子の準位は  $2^3S_1 \leftrightarrow 2^3P_2$  の閉じた遷移(遷移波長:1083.332nm)であり励起状態の寿命は  $\tau \sim 100$ ns(自然幅  $\Gamma: 2\pi \times 1.6$ MHz)である。

### ヘリウム原子の諸特性



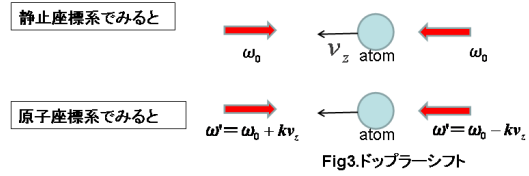
## 3. 実験原理

### 3.1 飽和吸収分光法

レーザー光の周波数をヘリウム原子の冷却遷移にロックする為には原子の吸収信号を得る必要がある。しかし、原子は熱運動を行っており、吸収線はドップラー効果により広がり、自然幅が埋もれている。ドップラー幅に埋もれている自然幅の吸収信号をドップラーフリーで得られる分光法の一つが飽和吸収分光法である。

### 3.2 ドップラーシフト

気体原子では運動速度が一般に Maxwell-Boltzmann 分布しているのでドップラー効果でスペクトル線がガウス型の広がりをもつようになる。停止原子の共鳴周波数を  $\omega_0$  とすると  $z$  軸に沿って速度  $v_z$  で運動している原子の共鳴周波数はドップラーシフトし  $\omega' = \omega_0 \pm kv_z$  となる。(Fig.3)



### 3.3 ホールバーニング効果と飽和吸収

角周波数  $\omega_0$  の光を原子に照射すると速度分布上で  $\omega' = \omega_0 \pm kv_z$  の原子が共鳴し励起準位へと遷移する。この速度分布上に見られる穴をホールバーニングと呼ぶ。(Fig.4)

また、(2準位間の時) 上下間の原子数の差は

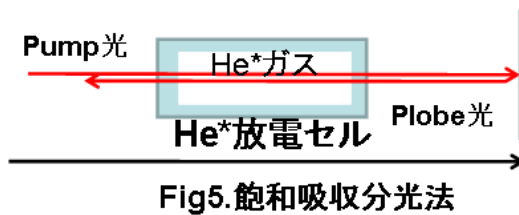
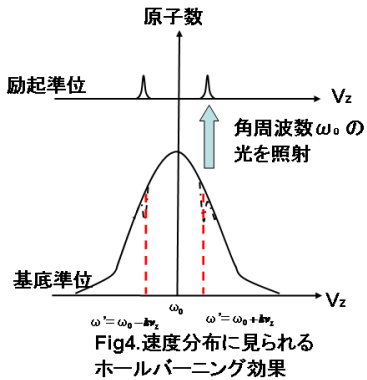
$$N_1(v) - N_2(v) = \frac{N_1^{(0)}(v) - N_2^{(0)}(v)}{1 + 2\pi d \sigma(v)} \quad \text{であり、パワー吸収定数は}$$

$$2\alpha_D = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_1^{(0)}(v) - N_2^{(0)}(v)}{\sigma(v)^{-1} + 2\pi d} dv \quad \text{である}$$

但し、上下間の原子数は  $N_2^{(0)}(v) = \frac{N_2^{(0)}}{\sqrt{\pi}u} e^{-\frac{v^2}{u^2}}$   $N_1^{(0)}(v) = \frac{N_1^{(0)}}{\sqrt{\pi}u} e^{-\frac{v^2}{u^2}}$  である。

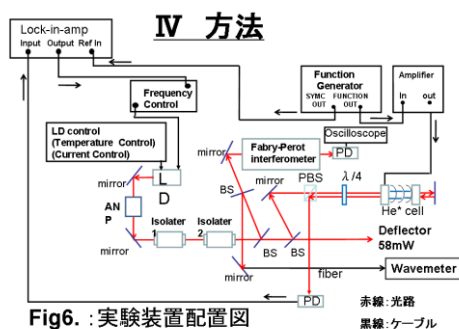
実験系は He\*放電セルに角周波数  $\omega_0$  の飽和強度より強い pump 光を入射し、He\*放電セルの後ろに鏡を置き pump 光を反射し probe 光として用いる。共鳴周波数付近でレーザーを掃引する。

透過光強度を計測すると飽和吸収が観測出来る。(Fig.5)



#### 4. 光学系

LD を出た光を ANP(アナモルフィックプリズム)で丸くし、2つの Isolator で戻り光を防止し、Fabry-Perot 共振器、He\*放電セル、波長計、ディフレクターに入れる。また、PBS(偏光ビームスプリッター)、 $\lambda/4$  板を通り He\*放電セルに入射し、後ろの鏡で光路が重なるように反射させ再び PBS に返して PD(フォトダイオード)へ入れる。He\*放電セルにはコイルが巻かれており、原子に 10kHz の変調磁場を掛ける。PD の信号と 10kHz の参照信号を lock-in amp に入力し、得られた信号を周波数コントローラーにエラーシグナルとして入力し LD にフィードバックを掛け周波数ロックをかける。



#### 5. 実験結果

実験で得られた波形を Fig7-10 に示す。Fig7 は He\* の吸収信号の観測であり、ドップラー広がりの中に飽和吸収信号がある。Fig8,9 は掃引の幅を 167MHz とし 2 種類のレーザーパワーで飽和吸収線の幅を測定したものであり、線幅は 60MHz と測定され、自然幅 1.6MHz より非常に広い。飽和吸収線の広がりには圧力広がり、パワー広がり、電子の衝突広がりなど様々な要因が考えられるが、今回の実験で入射パワーを 10 倍以上変化させても線幅に変化が見られない為、パワー広がりの影響ではなく、圧力広がりの影響が大きいと考えられる。Fig10 より、飽和吸収線のゼロ点でのロックインアンプ出力電圧の傾きは 0.83V/MHz となり、この信号を用いて周波数ロックを行う。

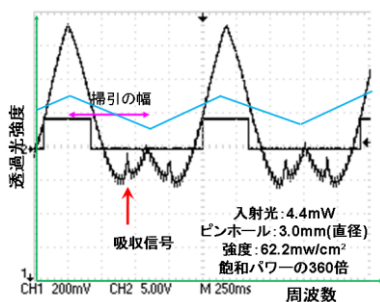


Fig7. 吸収信号の観測

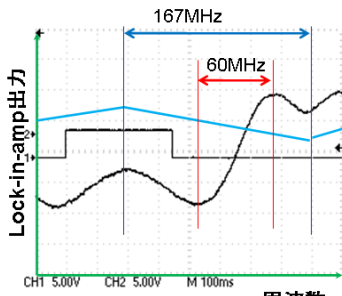


Fig8. Pump光: 54mW/cm<sup>2</sup> のエラーシグナル

入射光: 6.8mW  
 ピンホール: 4.0mm(直径)  
 強度: 54mw/cm<sup>2</sup>  
 飽和パワーの318倍

\*自然幅1.6MHz  
 (2°S, -2°P<sub>2</sub>)

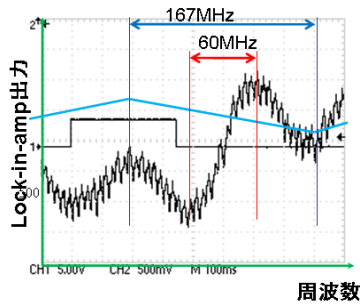


Fig9. Pump光: 4.0mW/cm<sup>2</sup> のエラーシグナル

入射光: 0.5mW  
 ピンホール: 4.0mm(直径)  
 強度: 4.0mw/cm<sup>2</sup>  
 飽和パワーの23倍

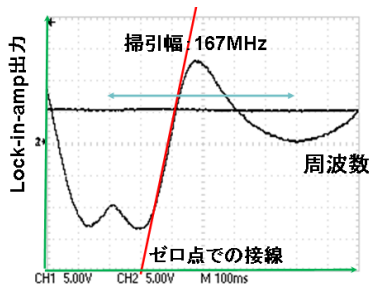


Fig10. 飽和吸収信号とエラーシグナル

## 6. まとめと課題

### 6.1 まとめ

- ・レーザーの周波数ロックをかける為のアライメントをおこなった。
- ・ヘリウム放電セルを用いて準安定状態ヘリウムの波長 1083.332nm の飽和吸収信号を観測した。

### 6.2 課題

- ・得られたエラーシグナルを用いて周波数ロックをおこなう。
- ・ディフレクターを動作させるのに必要な離調を得る為のコイルを巻く。