

Rb原子D1線励起用の波長795nm半導体レーザーの開発

中川研究室 小林康行

2009年 3月 5日

1 背景

我々の研究室では原子を磁気光学トラップ(MOT)し、さらに双極子トラップした原子をRydberg状態まで励起したRydberg原子を量子ビットとして使えないかと考えている。Rydberg状態とは主量子数が大きな電子を持った状態である。量子ビットを実現するためには2つの状態に量子的相関関係(エンタングルメントという)が必要である。図1はエネルギー準位を示している。原子をRydberg状態に励起すると、原子は大きな双極子力を持つ。Rydberg原子を2つ用意すれば、原子は双極子-双極子相互作用を及ぼしあう。これを用いて、2量子ビットを実現できないかと考えている。

まず、Rydberg原子について簡単に説明する。Rydberg原子とは主量子数 n が大きな価電子を持つ励起状態である。そして、Rydberg原子の特徴である大きな双極子モーメントを持つ。双極子-双極子相互作用は(1)の式のとおりであり

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{\mu_1 - \mu_2}{R^3} - 3 \frac{(\mu_1 \cdot r)(\mu_2 \cdot r)}{R^5} \right] \propto n^4 \quad (1)$$

双極子-双極子相互作用は主量子数 n^4 に比例する。また、特別に相互作用が大きい主量子数 n があり、それが $|43D_{5/2}, F=4\rangle$ と $|58D_{3/2}, F=3\rangle$ である。

本研究は原子をRydberg状態に励起するために今までは波長780nmのレーザー光源を使ったD2線励起を用いて $|43D_{5/2}, F=4\rangle$ に遷移していたが、 $|58D_{3/2}, F=3\rangle$ に励起しようとする $|58D_{5/2}, F=4\rangle$ にも遷移していたため相互作用が弱くなってしまった。そこで、 $58D_{3/2}$ にするにはD1線励起のほうが有効であるため、D1線

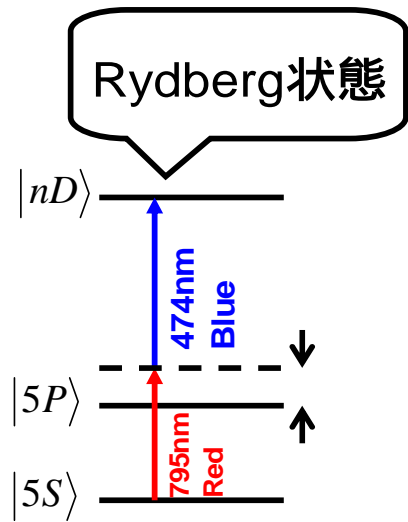


図1: ^{87}Rb のエネルギー準位

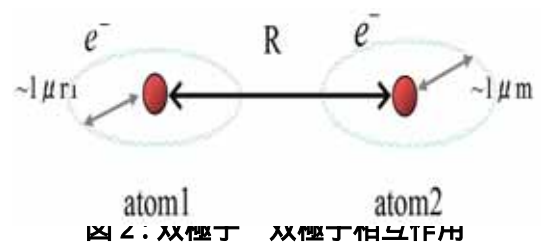


図2: 双極子-双極子相互作用

励起に必要な波長795nm半導体レーザーを開発するに至ったのである。

2 目的

Rb原子D1線励起用の波長795nm 赤色光源の開発及びレーザー光源の周波数安定化

3 実験

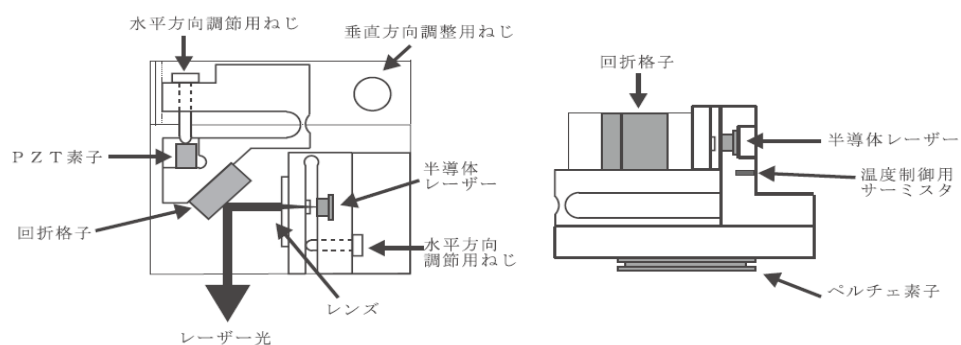


図 3 : 外部共振器型半導体レーザー

実験は図3の外部共振器型半導体レーザーを用いた。光学系は図4に示してある。レーザー光のパワーは注入電流で、波長は半導体レーザー素子の温度と外部共振器である回折格子の角度によって制御している。半導体レーザーの周波数安定化は、ロックインアンプを用いて電流変調法で安定化している

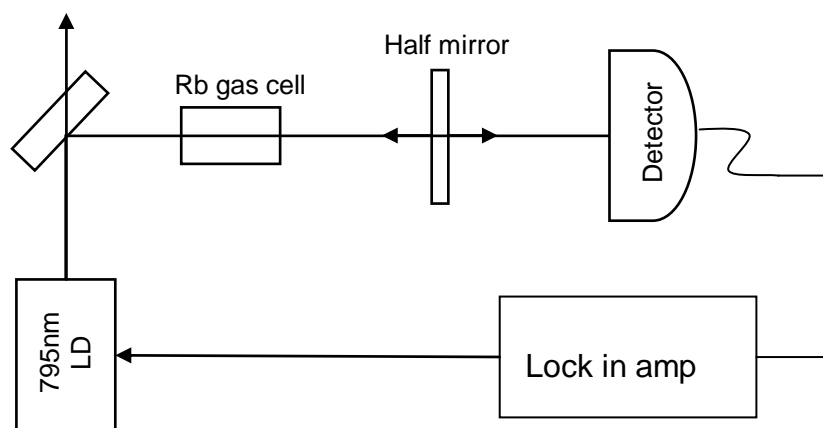


図 4 : 光学系

レーザーの周波数安定化は飽和吸収信号を用いて ^{85}Rb の $|5^2S_{1/2}, F = 3 \rangle$ から

$|5^2P_{3/2}, F = 2 \rangle$ と $|5^2P_{3/2}, F = 3 \rangle$ のクロスオーバーに安定化した。本来は ^{87}Rb の $|5^2S_{1/2}, F = 2 \rangle$ から $|5^2P_{1/2}, F = 2 \rangle$ の遷移に安定化することが目的であったが、今回は吸収線量が多い ^{85}Rb のクロスオーバーのところで安定化をした。

4 結果とその考察

まずは、周波数ロックをする前にRb原子の吸収線を見たのが図5である。

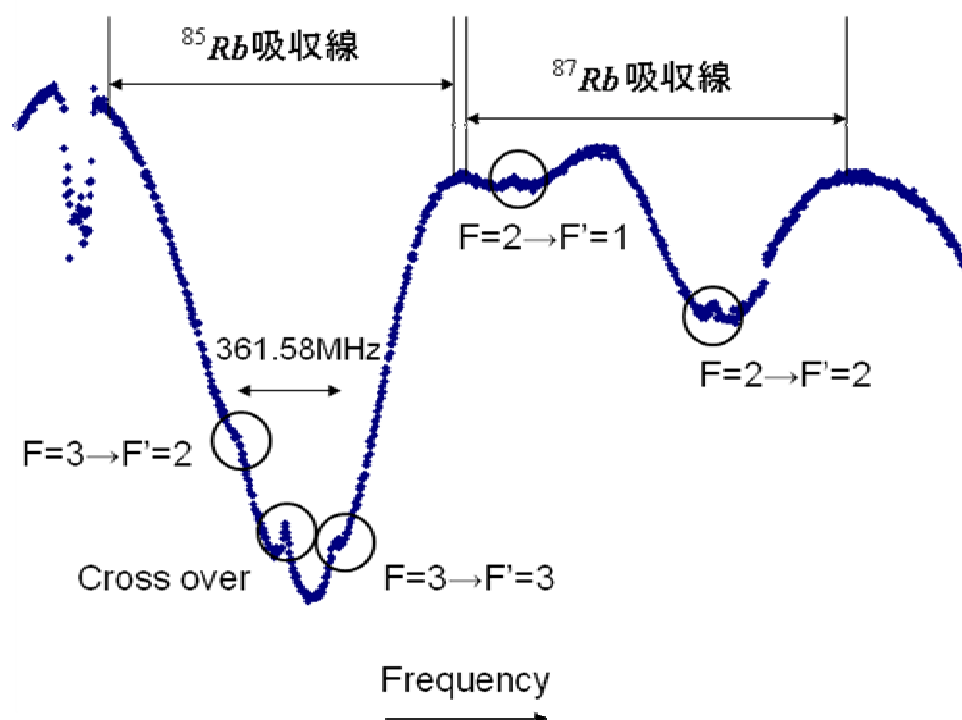


図 5 : Rb 原子の吸収線

大きい吸収線は ^{85}Rb の吸収線で、この部分は $|5^2S_{1/2}, F = 3 \rangle$ から $|5^2P_{3/2}, F = 2 \rangle$ と $|5^2P_{3/2}, F = 3 \rangle$ の遷移及びそのクロスオーバーの飽和吸収を表し、小さい方は ^{87}Rb の吸収線でこの部分は $|5^2S_{1/2}, F = 2 \rangle$ から $|5^2P_{1/2}, F = 1 \rangle$ と $|5^2P_{1/2}, F = 2 \rangle$ の遷移の飽和吸収を表している。

この図でどちらの吸収線が ^{85}Rb と ^{87}Rb のものかを判別した方法は、周波数測定器で測りその値から元々計算で出ていた値を比較したこと。 ^{85}Rb の $|5^2S_{1/2}, F = 3 \rangle$ から $|5^2P_{3/2}, F = 2 \rangle$ と $|5^2P_{3/2}, F = 3 \rangle$ の周波数差は360MHzで、 ^{85}Rb の $|5^2S_{1/2}, F = 3 \rangle$ から $|5^2P_{3/2}, F = 3 \rangle$ と ^{87}Rb の $|5^2S_{1/2}, F = 2 \rangle$ から $|5^2P_{1/2}, F = 1 \rangle$ の遷移との周波数差は約700MHzであり図5を見ると2つの遷移の差はほぼ2倍であったため大きい吸収線は ^{85}Rb の吸収線で小さい方は ^{87}Rb の吸収線であると評価した。

次に、ロックインアンプを用いて周波数安定化した際の吸収線を見た。

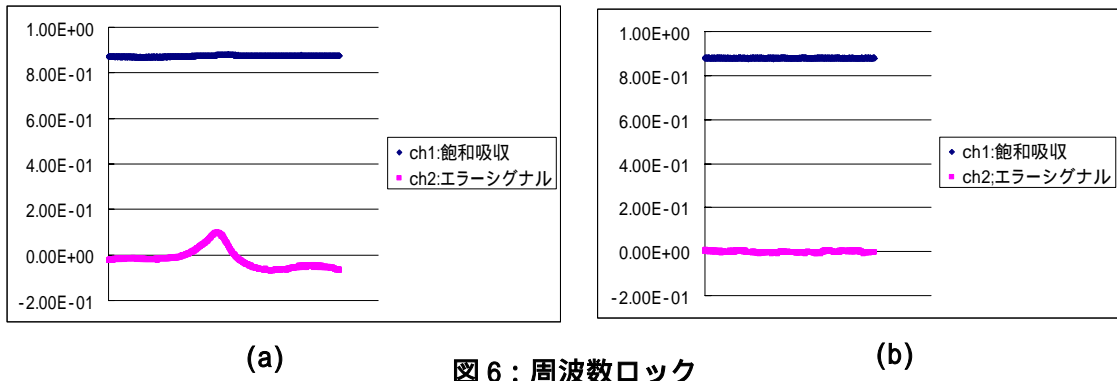


図 6 の(a)は周波数ロック前を表していて、(b)は周波数ロック後を表している。

5 まとめと今後の課題

795nm半導体レーザーを作製し、 ^{85}Rb の吸収線にロックしレーザー周波数を安定化した。

今後の課題としては、今回周波数ロックしたのは ^{85}Rb の遷移であったので ^{87}Rb の $|5^2\text{S}_{1/2}, F = 2 \rangle$ から $|5^2\text{P}_{1/2}, F = 2 \rangle$ の遷移で周波数ロックを行う。Rydberg 状態に励起させるには474nmの青色光源も必要となるのでそれも開発する。