

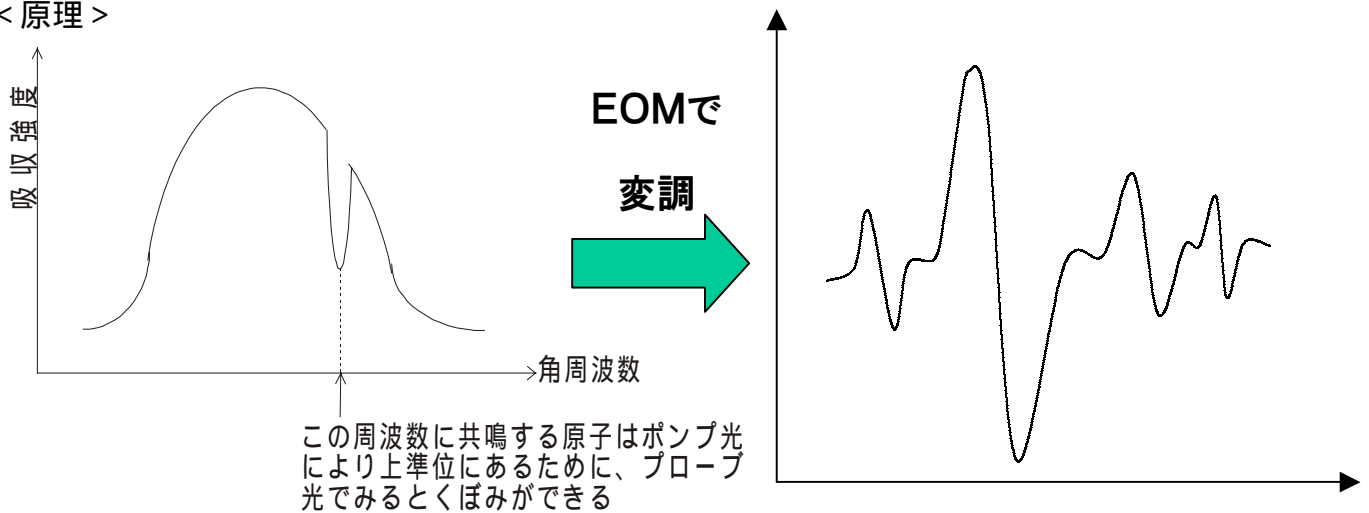
変調移行分光法による半導体レーザーの周波数安定化

電子物性工学科(9814136) 中川研究室 山谷厚太

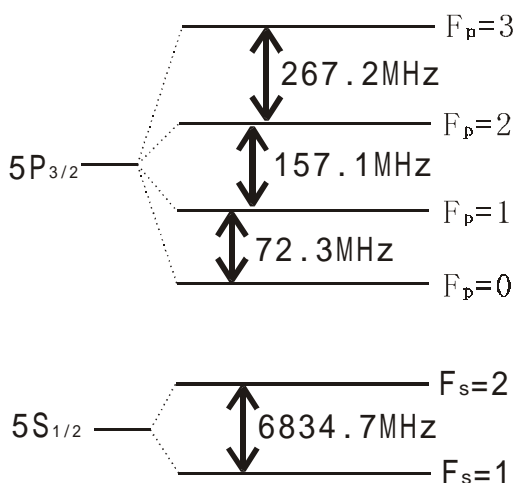
< 背景と目的 >

我々の研究室では、原子干渉計の開発を行っている。それに使っているレーザーとして Master レーザーと Slave レーザーの二つがあるのだが、その二つのレーザーの周波数差は 6 . 8 G H z になっている必要がある。そこで、Master レーザーが揺らがないようにするためにもう一つのレーザーを使いそれをある周波数にロックし安定化させ、さらに Master レーザーとの周波数差を 1 G H z にする。その際に使うもう一つのレーザーは、無変調でしかも、周波数の中心精度が高い、ということが必要とされている。そこで、変調移行分光法により、半導体レーザーの周波数の安定化を目的として本実験を行った。

< 原理 >



変調移行分光法を行うために、まず、飽和分光法を行い吸収線が見えるようにする。それから、ポンプ光に E O M を入れ 4 M H z の変調をくわえる。そして、ディテクターに検出された光を D B M (double balanced mixer) に通す。そうすると、上図の右側のような、cosine 成分の信号が見える。この信号を使って、それぞれの周波数にレーザーをロックする。

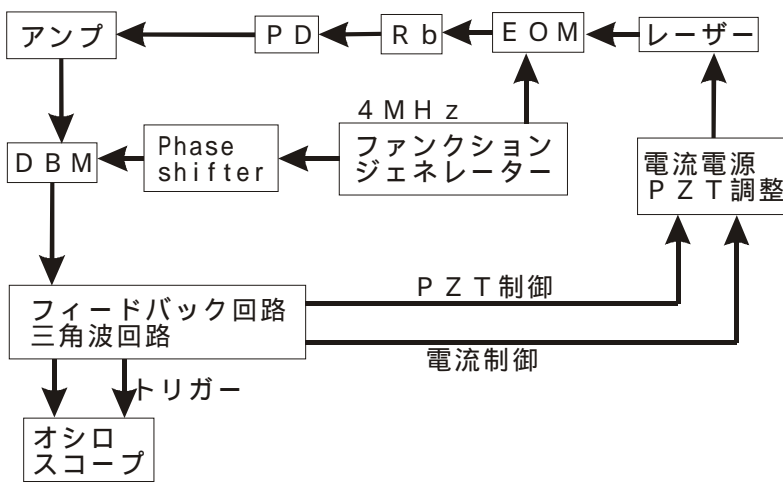


本実験では、 ^{87}Rb 原子を用い、そのエネルギー準位は左図のようになっている。このエネルギー準位から考えると、 D_2 線の信号は crossover も含めて、6 本の信号が見えるはずである。その 6 本の cosine 成分の信号を使ってレーザーの周波数の安定化をはかる。これを変調移行分光法という。

^{87}Rb の D_2 線のエネルギー準位図

< 実験 >

実験の装置図を下図に示す。

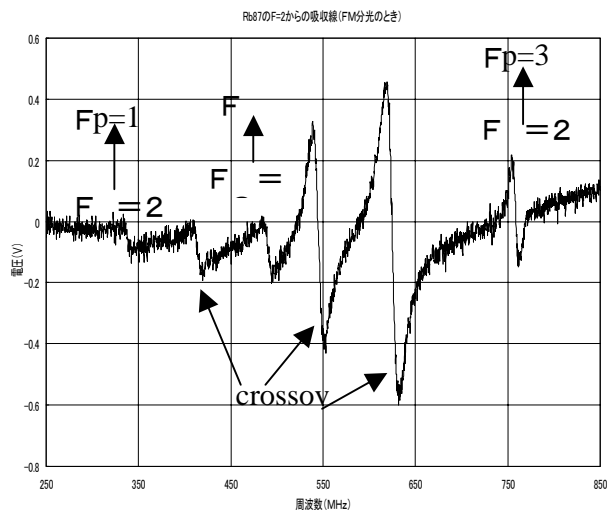
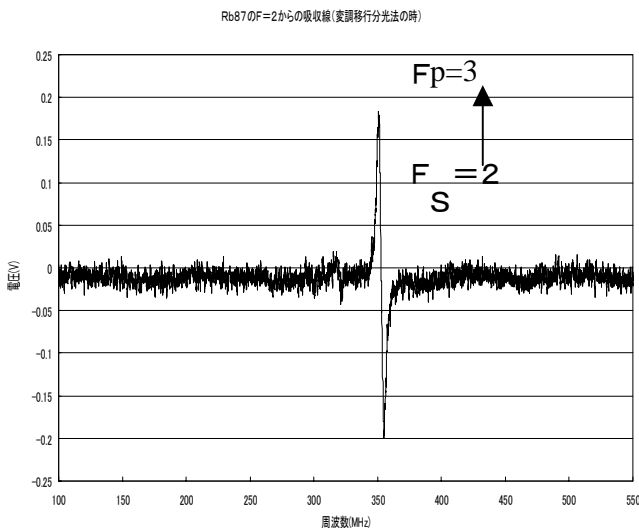


実験ではミラーで二つにレーザーを別け、一方をプローブ光にしよう一方をポンプ光にする。ここで、ポンプ光はEOMに入れて4 MHzの変調をかけられてから、Rb cellに通されcellでプローブ光とほぼ正確に逆方向になるように通される。また、この実験に使っているレーザーは外部共振器型の半導体レーザーであり ^{87}Rb の飽和吸収が見えるように波長を、 $\lambda = 780.2$

47 nmに合わせである。また、PZTを操作することにより共振器長を変えることも可能である。Rb cellを通った後のプローブ光はフォトディテクターで検出され、その後信号はDBMを通り、オシロスコープで見ることができる。その信号をPZTと注入電流にフィードバックすることにより周波数を安定にすることが可能である。実験では、ポンプ光は変調しプローブ光は無変調の変調移行分光法と、ポンプ光は無変調で、プローブ光を変調するFM分光法の二つを行った。(FM分光法の際はEOMを入れる場所以外は変調移行分光法と同じ装置で行った)

< 実験結果 >

実験した結果の信号線を下図に示す。

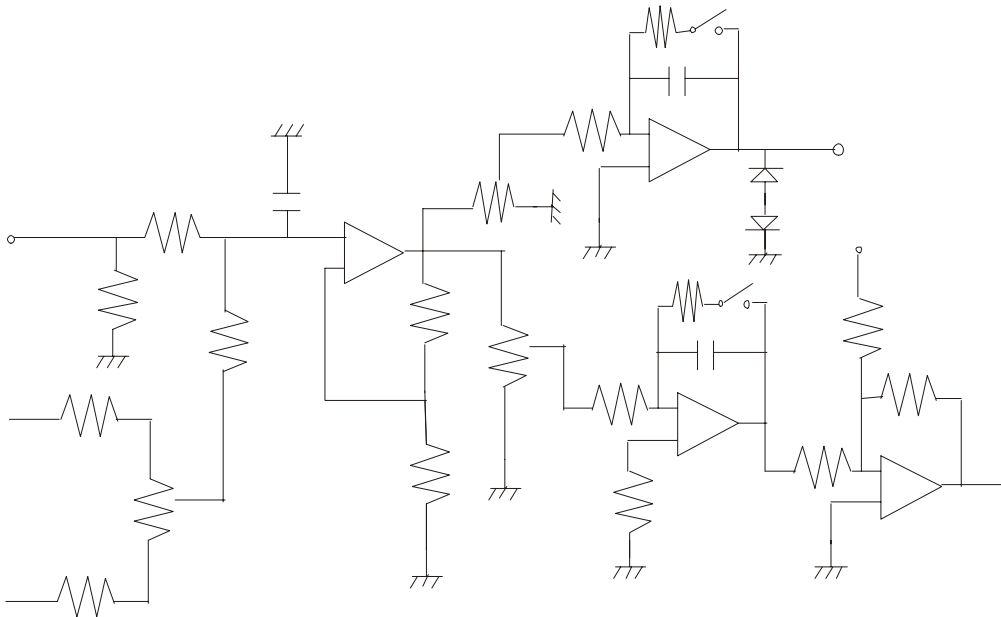


実際に実験してみると、FM分光法だと6つの信号線が見え、変調移行分光法だと1つの信号線しか見えない。この信号は、 $F_S = 2$ から、 $F_P = 3$ への吸収線だと考えられる。これは、 $F_P = 3$ へ励起された原子は $F_S = 2$ へ落ちて、また励起されるのでこの信号は見える。しかし、 $F_S = 2$ から $F_P = 2$ へ励起された原子は、上準位から下準位へ落ちるときに $F_S = 1$ へも落ちる可能性がある。ここに落ちた原子は、 $F_S = 2$ へあがるのに時間がかかる。このために、ポンプ光を変調したときには、原子が $F_S = 1$ に落ちて減りっぱなし

になる。($F_S = 2$ から $F_P = 1$ への励起も同様) よって、1つしか見えなくなるものと考えられる。

この信号線から、変調移行分光法による長所はオフセットがほとんどないので、中心精度が高い光が得られるということである。また、短所は信号が一つしか見えないので、そこにしか周波数をロックできないということである。FM分光法においては長所は、信号が6本見えるので任意の場所に周波数のロックができるということである。短所は、オフセットがつくために、あまり中心精度の高い光が得られないということである。

次にこの得られた信号を半導体レーザーの注入電源と、グレーティングを動かすPZT電圧にフィードバックすることにより、レーザー周波数を⁸⁷Rbのもつ共鳴周波数にロックすることができる。そのフィードバックをかけるための制御回路は下図のように設計した。



この制御回路を組み込み、実際に周波数のロックを行った。ロックをした場所は、変調移行分光法では、 $F_S = 2$ から $F_P = 3$ のところに周波数をロックし、FM分光法では、 $F_S = 2$ から $F_P = 2$ の吸収線と $F_S = 2$ から $F_P = 3$ の吸収線による一番大きな crossover に周波数をロックした。図1は変調移行分光法によりロックしたときの誤差信号とそのアラン分散を示し、図2はFM分光法によりロックしたときの誤差信号とそのアラン分散を示す。

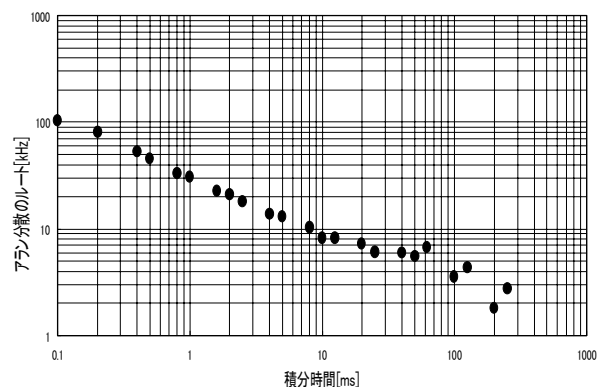
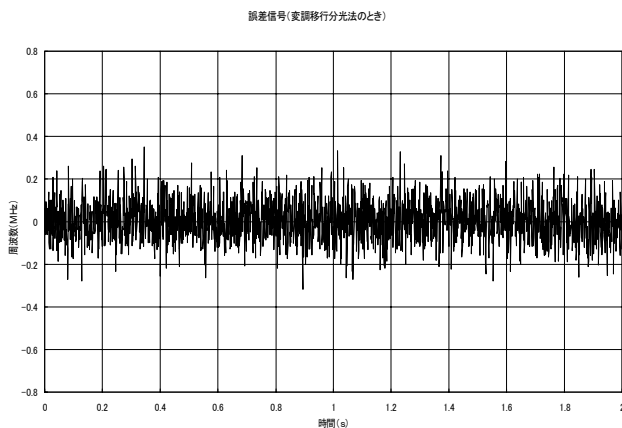


図1 変調移行分光法でロックしたときの誤差信号とアラン分散

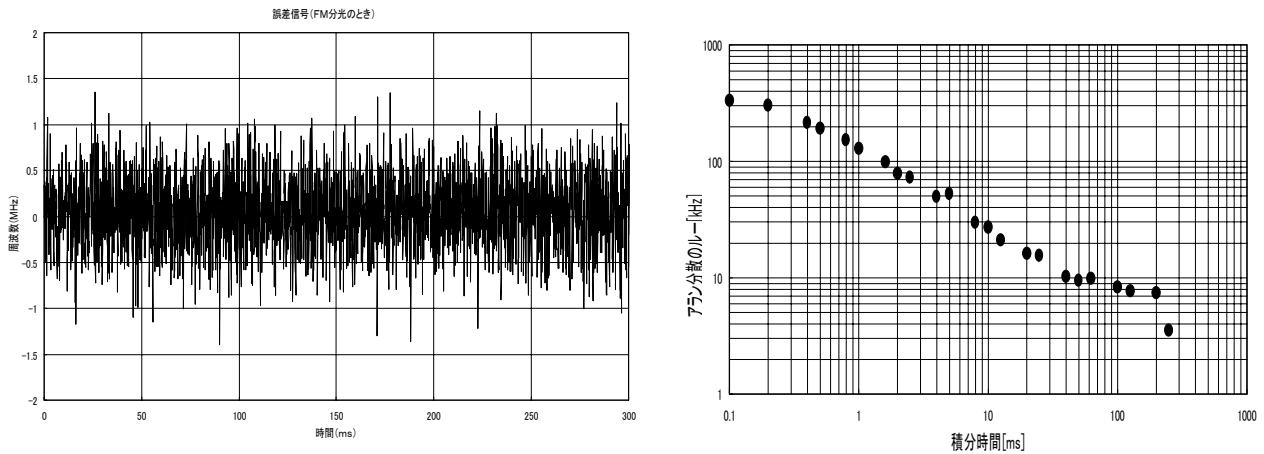


図2 FM分光法でロックしたときの誤差信号とアラン分散

< 評価 >

それぞれの分光法により周波数安定化をしたところの誤差信号からアラン分散を計算するとその結果、周波数のゆらぎは変調移行分光法では図1から、時間平均0.1 μsで約100 kHzのゆらぎがあり、FM分光法では図2から、時間平均0.1 μsで約330 kHzのゆらぎがあることがわかった。この結果から、今回の実験では変調移行分光法の方がより周波数を安定化できることがわかった。

< まとめ >

変調移行分光法とFM分光法によりレーザーの周波数の安定化が実現した。その際に、レーザーの注入電源とPZT素子に信号をフィードバックすることにより、より強い安定化ができた。

< 参考文献 >

Optics letters/Vol.21, No.16/August 15, 1996 Page 1280-1282
 Appl. Phys. Lett. 39(9), 1 November 1981 Page 680-682
 Appl. Phys. B53, 142-147 (1991)
 非線形レーザー分光学 オーム社