

# 紫色狭帯域レーザー光源用高安定参照共振器の開発

大向 隆三 (教育学部・准教授)

## 1 はじめに

近年のレーザー制御技術の進歩によって原子の高分解能分光法を応用した原子の内的・外的自由度操作及びそのセンシング技術が実現しつつある。これらの技術の確立には高安定な狭帯域レーザー光源が不可欠である。最近では、多くの原子の共鳴吸収線の存在する波長約 400 nm 近辺の領域（紫色）をカバーする半導体レーザー（LD）も開発され、それを利用した光源技術も活発に研究されている。レーザー周波数の安定化には原子線の光吸収（または発光）信号を利用するのが一般的であるが、実験装置と方法が複雑になるとともに、その維持管理にも多大な労力を要する。そこで、特に波長 400 nm の領域でレーザー制御用に新たな参照信号の発生方法を開発することが重要である。

本研究では、共振器を上記波長域における参照信号発生源として利用する技術を提案し、高安定参照共振器を設計・製作した。参照共振器の安定化は、2 波長（400 nm と 780 nm）で高反射率コートしたミラーを用い、波長 780 nm の安定化光源からの光がこの共振器で共鳴状態を定常的に保つように共振器長を制御することで達成する。これによりもう一つの波長 400 nm 領域でレーザーの発振周波数を長期に安定して出力させるための高安定参照共振器を実現する。

## 2 参照共振器の製作と性能評価

我々が設計・製作した共振器を図 1 に示す。2 枚の凹面ミラーで金属の中空円筒と piezo アクチュエーターを挟み、接着剤で固定した。共焦点型共振器を採用した。2 枚のミラーは 2 つの波長（780 nm と 400 nm）で反射率 97% の誘電体多層膜コートをした。さらにミラー間の金属円筒は、周囲の温度変化に対する膨張・収縮に伴う共振器長変化を抑制するためにスーパーインバーで製作した。円筒の長さを 287 mm、piezo アクチュエーターの長さは 13 mm とし、ミラー間距離は 300 mm である。ミラーの曲率半径も 300 mm である。この共振器のフィネスは 103、自由スペクトル領域（FSR）は 250 MHz、フィネスと FSR の値からこの共振器の周波数分解能は 2.5 MHz となる。

この共振器に波長 780 nm の単一周波数 LD 光を入射させ、共振器長を変化させながら透過光強度をモニタした結果が図 2 である。横軸は piezo アクチュエーターへの印加電圧である。この結果では鋭いピークが 3 つ観測されたが、隣接するピーク間が FSR の 250 MHz に相当する。使用した LD 光源のスペクトル幅は 1 MHz 以下であることが知られているので、我々の製作した共振器で観測した共鳴ピーク幅は共振器の周波数分解能である 2.5 MHz となることが期待されたが、図 2 の結果では 8 MHz であった。従って共振器の実際の周波数分解能は 8 MHz ということになる。この差が生じた原因はミラー固定時における中心軸からのずれ、ミラー反射

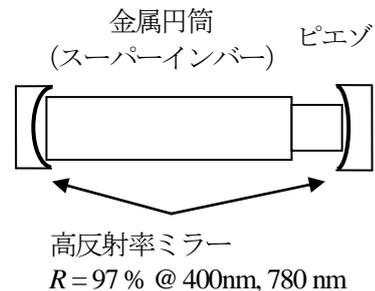


図 1 参照共振器の概略図

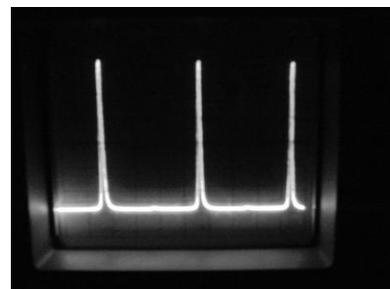


図 2 共振器の透過光モニタ結果

率の設計値と実際の値とのわずかなずれ、ミラー間隔の設計値からのずれなどが考えられる。概ね設計時における所望の性能が得られた。

### 3 フィードバック制御回路の製作

続いて、入力した 780 nm 光に対して常に共鳴状態を保つ制御信号を発生させるための電子回路を設計・製作した。回路図を図 3 に示す。回路の構成はオペアンプ (LF356) を用いた増幅回路、積分回路、加算回路からなる。回路への入力信号は図 2 で得られた信号をオフセットした信号である。増幅回路における増幅率及び積分回路における時定数の値は、所望の制御が達成されるように実際の実験で確認しながら決定できるように、複数の選択肢を設けている。増幅率は 1 ~ 5 倍、時定数は 0.47 ~ 4.7 秒の範囲で選択できる。製作した回路の動作確認のため、周波数 1 kHz の方形波を入力し、その出力信号を観測した。増幅率 1 倍、時定数 0.47 秒に設定したとき出力信号は図 4 の下側で示された波形であった。この波形は、方形波と三角波の足し合わせで構成されていることがわかる。方形波の部分は入力信号と同じなので増幅率 1 倍の出力信号である。増幅率を変化させるとそれに応じて方形波部分の振幅は変化し、増幅の効果を確認した。また三角波の部分は方形波の積分信号である。この部分は容量の大きなコンデンサーを選択すれば傾きが緩やかになり、積分の時定数が大きくなることが確かめられた。以上より、製作した回路が正しく動作をしていることを確かめられた。

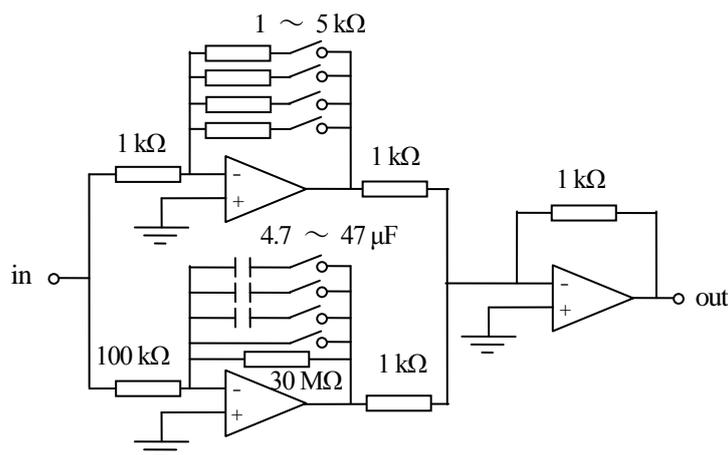


図 3 フィードバック回路図

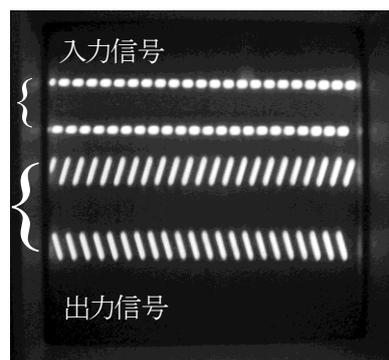


図 4 回路の動作確認結果

### 4 まとめ

波長 400 nm における狭帯域レーザー用参照共振器を開発した。共焦点型の構造にスーパーインバーの胴体、円筒形ピエゾアクチュエーターを用い、分解能 8 MHz の共振器を製作した。また、長期安定化に向けたフィードバック制御用回路も製作し、動作確認を終えた。現在のところ共振器そのものを安定化させるには至っていないが、増幅率及び時定数の微調整により、共振器長制御が達成される見通しである。

### 外部資金応募状況

- ・第 24 回マツダ財団研究助成 (科学技術振興関係) 「計算機プログラムで生成した光の場を用いた原子リソグラフィ」(2 年目) 継続
- ・科学研究費補助金基盤研究 (C) 「高校や大学で利用できる新しい原子物理学分野の教材開発に関する研究」 採択