

# 少数光子非線形光学効果観測に向けた

## 原子トラップ用レーザーの開発と特性評価

丹治研究室 田中貴大

### 1 背景・目的

光子は高速かつ低ロスで遠方まで移動できるという性質を持ち、また光ファイバーなどを用いた通信手段も確立されているので情報伝達に適している。量子情報処理においても光子が唯一の現実的な通信媒体であるとされている。しかし、光子同士は真空中で相互作用しないため、光子のみでは情報処理に必要な制御が難しい。そこで物質を媒介させて非線形光学効果を通じた光子間の実効的な相互作用を生むという手段が考えられる。一般に非線形光学効果を得るためには高強度の光が必要となる。一方、光共振器中に閉じ込めた原子と光子との相互作用を用いることで数光子レベルの微弱光でも非線形効果が観測できることが知られている。我々の研究室ではこの効果を利用して、光子間の実効的な相互作用の観測を目指している。これを達成するためには、共振器モード中に原子をトラップする必要がある。本研究ではまず、原子トラップ用のレーザーとして 860 nm のフィルター型外部共振器型ダイオードレーザー(以下 ECDL)を作製した。次に、発振特性評価及び線幅の測定を行なった。

### 2 フィルター型 ECDL の作製と発振

#### 2.1 フィルター型 ECDL

今回作製したECDLは波長選択素子として回折格子ではなく、特定の波長の光のみを通す干渉フィルターを用いている。図1のような構造を持つLittrow型レーザーは、回折格子の角度を変えることにより波長選択を行うため、その際同時に光フィードバックの強度も変化してしまう。一方で今回作製したレーザーは図2のようにアウトプットカップラー(OC)により光フィードバックを行う構造となっている[6]。また、干渉フィルターにより波長選択を行い、これにより光フィードバックと波長選択を独立して行うことが可能となっている。

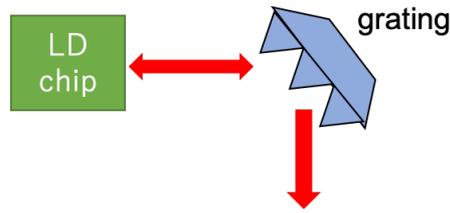


図 1 Littrow型レーザーの構造

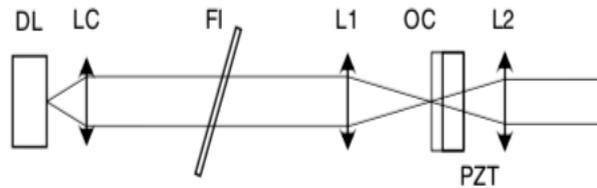


図 2 ECDL の概略図([1]より引用)

作製した ECDL の構造を図 2 に基づいて説明する。レーザーダイオード(DL)から出た光はレンズ(LC)により平行光とされ、干渉フィルター(FI)を通過し、さらにレンズ(L1)により output-coupler(OC)上で集光され、かつ反射される。反射光は同一の経路をたどることにより DL に戻される。OC により DL の外部に共振器構造が構成されており、OC に装着した piezo 素子(PZT)により共振器長を変化させることが可能となっている。共振条件を変化させることによってレーザーの発振周波数を微調できる。また、干渉フィルターの角度を変えることにより発振波長帯域が調整可能となっている。DL から OC までの全体がペルチエ素子により温度制御されており、温度を安定化させることによって DL のゲインスペクトル及び共振器長を安定化させている。今回使用した DL は eagleyard photonics 社の EYP-RWE-0860-06010-1500-SOT02-0000 である。

## 2.2 出力光強度の測定

フォトディテクターを用いて、作製した ECDL が発振する閾値電流付近の光強度を測定した結果を図 3 に示す。図 3 より ECDL の閾値電流は 16.3 mA と分かる。

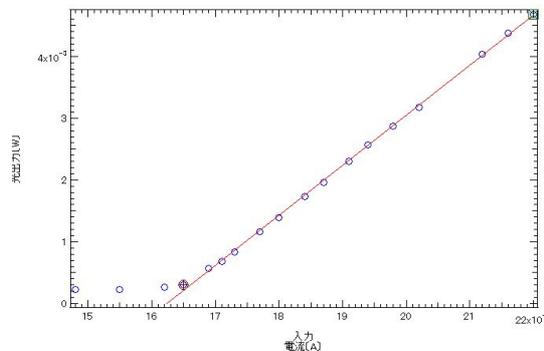


図 3 発振付近の電流-光出力特性

## 3 自己遅延ヘテロダイン法による線幅の測定

### 3.1 自己遅延ヘテロダイン法。

自己遅延ヘテロダイン法とはヘテロダイン法を1つのレーザーで行う方法である。レーザーから出た光を2つに分け、一方を遅延ファイバーなどコヒーレンス長よりも長い光路を経由させると、分けた2つのレーザー光は互いにコヒーレントではなくなる。すなわち互いにインコヒーレントな光源と見做すことができるようになる。さらに片方に音響光学変調器 (AOM: Acousto-Optic Modulator) を用いて周波数シフトを施すと、2つのレーザー光は周波数も位相も異なる光とすることができる。これらのビート信号を検出することで線幅を測定するのが自己遅延ヘテロダイン法である。図4および図5に自己遅延ヘテロダイン法の光学系の概略図と実際の光学系をそれぞれ示す。

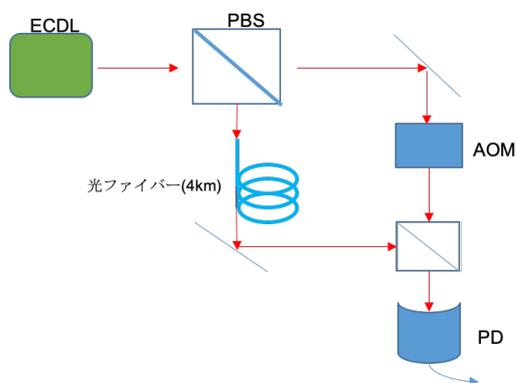


図4 自己遅延ヘテロダイン法の概略図

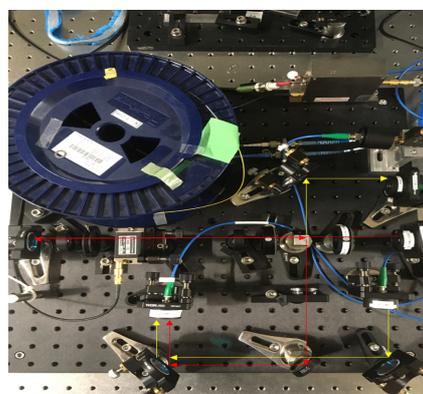


図5 実際の光学系

### 3.2 線幅測定結果

図6に線幅の測定結果を示す。

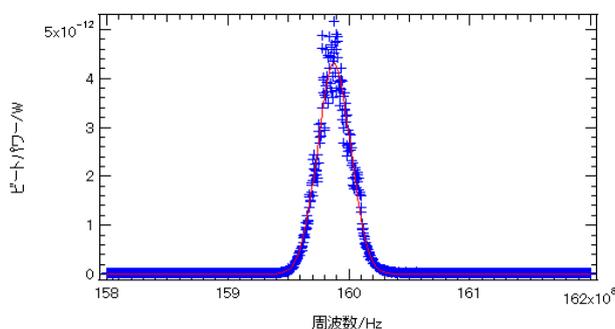


図6 測定したビート信号

図6において青い十字で示された測定値にローレンツ関数によるフィッティングを行った結果が赤線である。この結果からビート信号の線幅 $\Delta\nu$ を求めると、 $\Delta\nu=280\pm 7$  kHz

となった。ビートのスペクトルは2つのレーザー光のスペクトルの畳み込みで表されるため、ローレンツ関数の場合には、その幅は2つの線幅の和となる。したがって、自己遅延ヘテロダイン法においてビート線幅を1/2倍した値が実際の線幅である[10][11]。このことから、作製したECDLの線幅は $140\pm 4$  kHzであると見積もられる。

#### 4 まとめ・展望

本研究の最終目標は実効的な光子間の相互作用を観測することである。これを達成するための前段階として、共振器のモード中に原子をトラップする必要がある。本研究ではまず、原子トラップ用のレーザー光源としての波長860 nmのECDLを作製した。次いで、ECDLについてレンズ等の調整を行い閾値電流の最適化を行なった。最適化の結果、閾値電流は16.3 mAとなった。さらに、自己遅延ヘテロダイン法を用いて線幅の測定も行った。得られたビート信号からECDLの線幅は $140\pm 4$  kHzと算出された。

今後の展望としては

- ・860 nmにおける共振器の正確なフィネス測定
- ・共振器を超高真空中に設置しての実験
- ・原子を介した光子間での実効的な相互作用の観測

などが挙げられる。

#### 5 参考文献

- [1] X. Baillaud, A. Gauguet, S. Bize, P. Lemonde, Ph. Laurent, and A. Clairon, P. Rosenbusch, “Interference-filter-stabilized external-cavity diode lasers”, Optics Communications 266, 609-613 (2006)
- [2] S. Bennetts, et al., Opt. Express. 22, 10642 (2014).
- [3] Linden B, IEEE J. Lightwave Technology. 9, 485 (1991).