

差周波 2 フォノン励起による超広帯域光発生

西岡研究室 1333075 名原大翔

1. 背景

超短パルス光を発生させるために、誘導ラマン散乱を用いた超広帯域光発生の研究を行っている。本研究室では以前、**Chemical Vapor Deposition(CVD)** 単結晶ダイヤモンドを 2 つのチャープ光で励起することにより、広帯域反ストークス光発生の実験を行った[1][2]。同時に発生したストークス側のサイドバンドの間隔は、ダイヤモンドのフォノンの差周波に等しいと考えている。差周波を狭帯域光で励起することで、フォノンの差周波と広帯域光発生を調べることを目的としている。

そこで、本研究では、フォノンの差周波を励起することができる狭帯域の 2 色レーザーの開発を行った。

2. 差周波励起 2 波長レーザーの設計

本研究では、差周波 2 フォノン励起を行う媒質に単結晶 CVD ダイヤモンドを選択した。本研究では、 170 cm^{-1} の周波数差を持つ 2 波長レーザーを作製した。また、光源の周波数差の揺らぎがダイヤモンドのラマン線幅以内に収まっている必要がある。それぞれの光源の周波数揺らぎが、 1 cm^{-1} 以内に収まっていることを条件とした。 1 cm^{-1} は、800 nm 周辺では 30 GHz である。

また、フォノンを励起するためには、高い光強度が必要である。そのため、再生増幅器を用いて増幅を行う。増幅器の利得媒質にはチタンサファイア結晶を用いている。そのため、2 波長レーザー光源の波長は 800 nm 周辺を選択した。

狭帯域光を発生させるために、光源には **Vertical Cavity Surface Emitting Laser(VCSEL)**を用いた。このレーザーは、共振器長が波長に近いことにより、単一モードで発振する。2 色励起を行うので、VCSEL を 2 つ用いた。

VCSEL の発振波長は、レーザーに注入する電流やレーザーの温度によって変化する。使用した VCSEL の発振波長の温度依存性を、図 1 に示す。

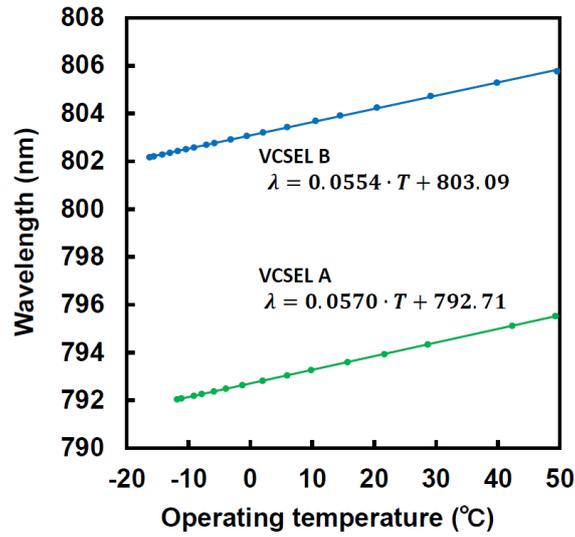


図 1 VCSEL の発振波長の温度依存性。

図 1 に示すように、VCSEL の発振波長は、レーザーに流す電流を一定にした場合、温度に対する変化率は一定であり、測定温度範囲内ではモードホップが発生しないことが分かった。また、レーザーの温度を一定に保った時の、発振波長の電流依存性を測定した。結果を、図 2 に示す。

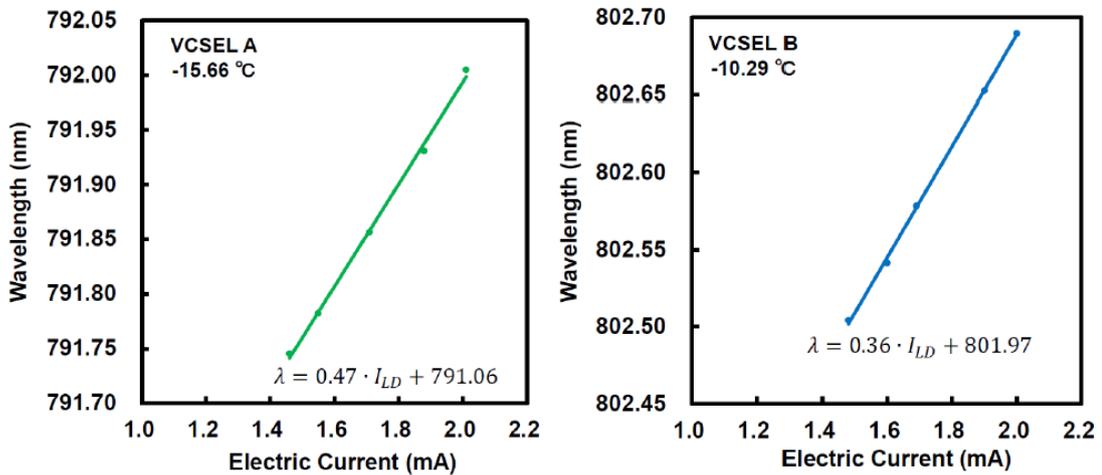


図 2 VCSEL の発振波長の電流依存性

電流を変化させて発振波長を制御すると、レーザーの出力も変化する。また、波長可変域は温度による制御に比べて狭くなってしまう。以上の結果から、注入する電流を一定にしたうえで、温度制御によって 2 波長レーザーに必要な周波数差を達成した。

また、2 つの VCSEL から出た光を結合するために、1 つの半導体レーザー導波路に 2 つ

の VCSEL を結合させた。

図 3 に、作成した 2 波長レーザー光源のセットアップを示す。その写真を図 4 に示す。

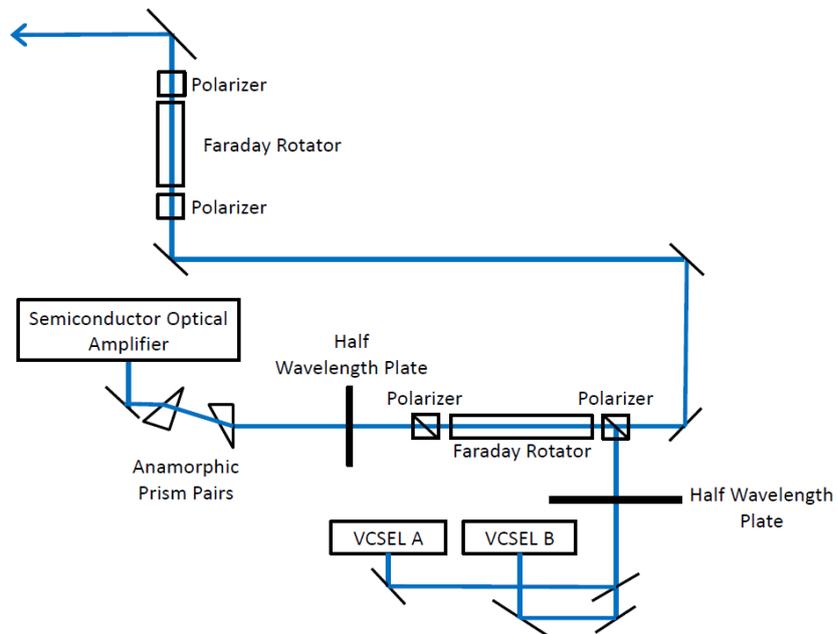


図 3 2 波長レーザーのセットアップ



図 4 構成した 2 波長レーザー

光源の周波数揺らぎが、実験に必要な条件を満たしているかを確認するために、発振周波数安定性を測定した。

使用した分光器の分解能が不足しているため、スペクトル測定では周波数揺らぎを確認することができなかった。そこで、VCSELの温度を測定し、その温度変化から発振周波数の揺らぎを測定した。1時間に渡り20秒間隔でVCSELの温度を測定した。測定した結果を、図5に示す。縦軸のスケールを±15 GHzに拡大した。VCSEL温度は一定であり、発振周波数の揺らぎを測定することができなかった。

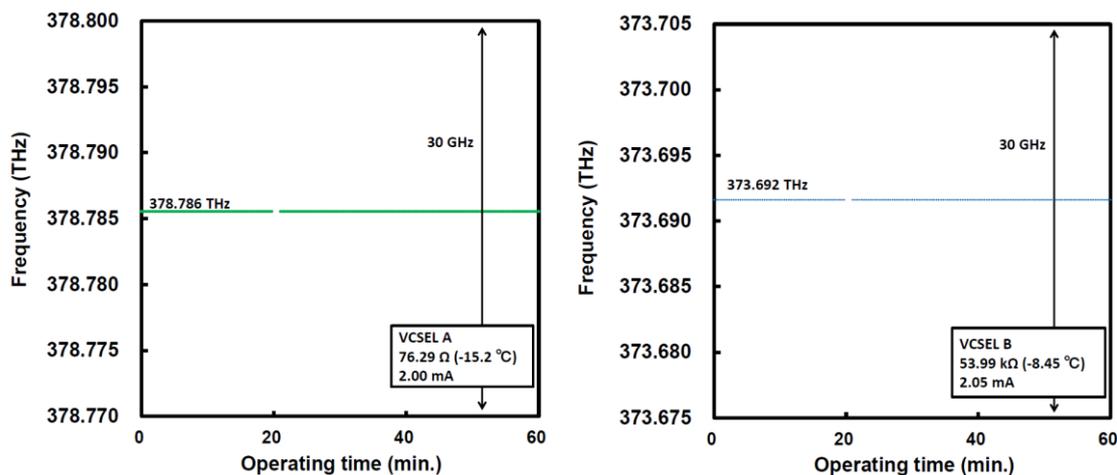


図5 温度測定から求めた発振周波数の揺らぎ

そこで、1時間に渡り10秒間隔でスペクトルを測定し、ガウス関数で近似することによって、発振周波数の揺らぎと半値全幅を測定した。結果を、図6と図7に示す。図6は、縦軸のスケールを±15 GHzに拡大した。

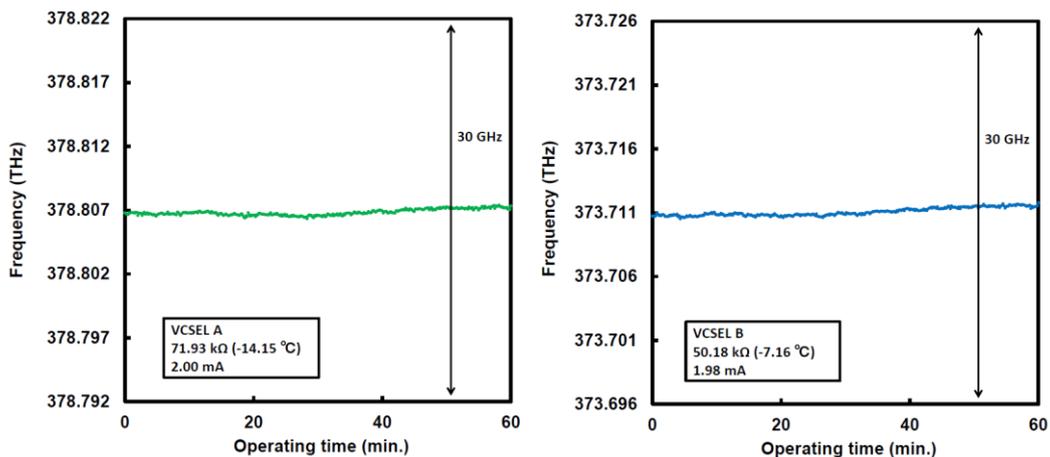


図6 VCSELの発振周波数の測定結果

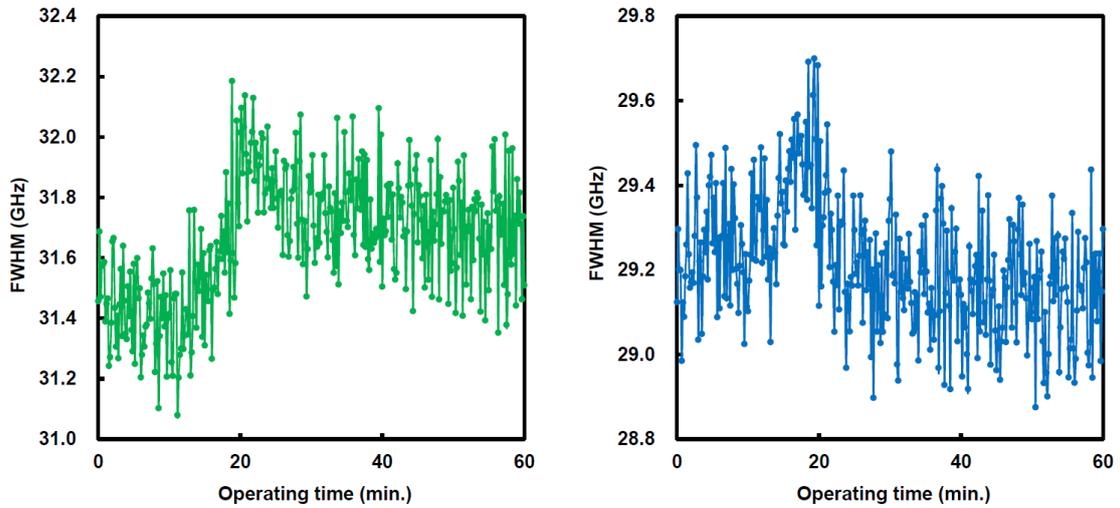


図 7 VCSEL の半値全幅の測定結果

発振周波数の揺らぎは、実験において許容される揺らぎである 1 cm^{-1} 以内であることが確認された。より詳しく測定を行うために、ファブリー・ペロー干渉計を用いたスペクトル測定を計画している。

フォノンの差周波に一致するように VCSEL の温度を固定し、光源の周波数差を固定した状態で、導波路半導体レーザーに 121 mA の電流を注入し、2 波長レーザーのスペクトルを測定した。結果を、図 8 に示す。

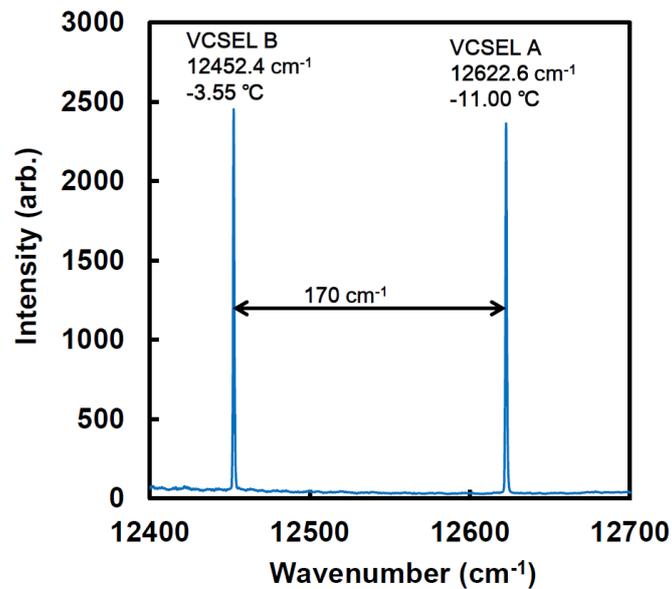


図 8 2 波長レーザーのスペクトル

以上のように、 170 cm^{-1} の周波数差を持った2波長レーザーが達成できた。

誘導ラマン散乱を発生させるためには、より高い光強度が必要となるため、今後は再生増幅器を用いた増幅実験を行うことを計画している。

4. 結論

差周波励起を行うために、2波長レーザーを構成した。光学フォノンの差周波は 170 cm^{-1} で、2波長レーザーの差周波がこの値に一致していなくてはならない。同時に、光源の周波数揺らぎは、それぞれ 1 cm^{-1} 程度に抑えられる必要がある。

2波長レーザーの光源にはVCSELを選んだ。VCSELは、の温度変化を測定して、発振周波数揺らぎを見積もった。その温度安定性から、光源の周波数揺らぎが 30 GHz 以内であることを推測しつつ、より正確に求めるために、エタロンを用いたファブリー・ペロー干渉計を用いて測定を行う。2波長レーザー光源が、実験に有用な光源であることを実証した。

今後は、再生増幅器による増幅を行い、誘導ラマン散乱を発生させることを目指す。

参考文献

- [1] H. Nishioka, "Broadband anti-Stokes generation in a CVD-grown single crystal diamond pumped by two chirped pulses," CLEO S&I, paper CTuX4(2011).
- [2] H. Nishioka, "Stokes suppression and supercontinuum generation by differential two-phonon excitation," Opt. Express Vol. 22, p.p. 26457-26461(2014).