

光周波数コムを用いた半導体レーザーの光周波数安定性評価

日大生産工 (学部) ○吉田 靖典 横井 俊祐

佐野 直哉 谷口 遼紀

日大生産工 石澤 淳

1 まえがき

現在のマイクロ波・ミリ波通信に用いられるハードウェアでは、水晶発振器やPLL、VCOを用いた回路により目的の周波数を作り出している。この手法では物理的上限やミリ波を超えるような周波数帯で用いた際に、ノイズまで拡大することによって、伝送速度の鈍化、伝送品質の劣化が起き、超高速大容量無線通信であるBeyond 5G (6G) や次世代無線通信において大きな足かせとなってしまふ。次世代無線通信では、テラヘルツ波を用いた通信を計画しており、電気的手法では限界に近づいているため、光学的手法を用いて通信を行う事を目標としている。

光周波数コムという特殊な光源と光電変換を用いることで、光周波数コムの特徴である低位相ノイズ性、振幅・位相の高度変復調を用いた超高速・大容量な通信が可能である事を利用し、Beyond 5G(6G)での利用を目指す。その際に用いられる直接波(CW)半導体レーザーの光周波数安定性を確保する必要がある。様々な条件が考えられるが、今回は温度依存性条件についての評価を検討する。

2 提案手法

半導体レーザーの周波数安定性評価は恒温槽の有無の2条件で行う。恒温槽を設計し安価な素材を用いることで、装置を気軽に使えるようする。半導体レーザーは温度依存性が非常に大きく、温度検出器として使用可能なほど温度に依存する。閾電流密度と発振波長に特性として現れる。閾電流密度 J_{th} は温度 T の関数として実験的に表すことができる。 J_0, T_0 は一定値で $J_{th} = J_0 \exp(T/T_0)$ である。温度が上昇すると、レーザー発振に寄与しない電流分が増加する。温度上昇により、屈折率が変化し禁制帯幅が狭くなり、発振波長が長くなる。従って電流を変化させることで、

光出力を一定に保つことができるが、波長を一定にする為には温度を制御するしかない。

今回の実験装置の系をfig. 1に示す。CW半導体レーザーと光コムの差周波数の干渉信号を検出し、フォトディテクタ(PD)によって変換してスペクトラムアナライザにより計測を行う。

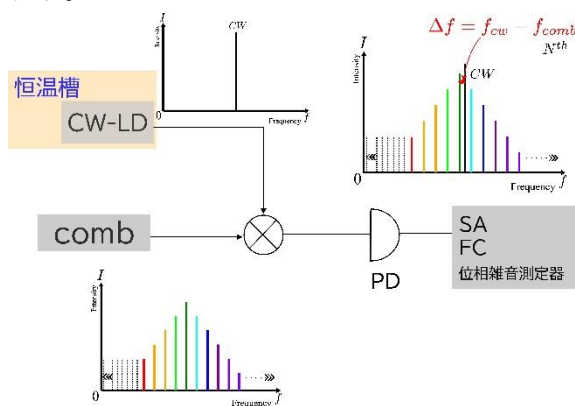


fig. 1 実験装置系

fig. 1 中における略称は SA: スペクトラムアナライザ、FC: 周波数カウンター、PD: フォトディテクタである。

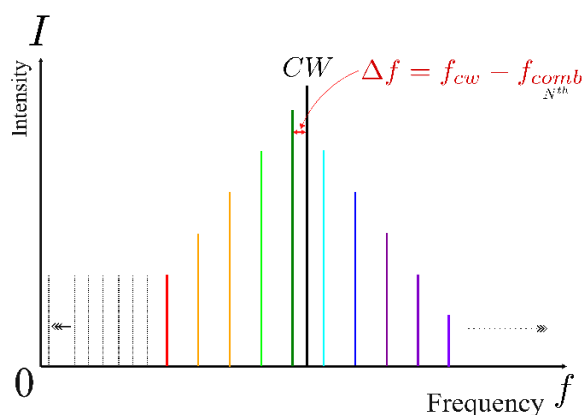


fig. 2 光コムと CW のビートイメージ

Optical Frequency Stability Evaluation of a Semiconductor Laser Using an Optical Frequency Comb

Yasunori YOSHIDA, Shunsuke YOKOI, Naoya SANŌ,
Haruki YAGUCHI and Atsushi ISHIZAWA

光周波数安定性評価については、アラン分散と位相雑音により長期的な安定性、短期的な安定性測定し、評価を行う。アラン分散 $\sigma_y(\tau)$ は高安定な発振器の特性を評価するために考案された尺度で、通常分散では、無限時間平均をとると発散してしまうような雑音特性に関しても、有限の値で記述できる。位相雑音は周波数軸上での短期的な安定性を評価する指標である。²⁾ f_0 を発振器の周波数、 f_k をk番目の周波数、Nを測定の回数、 τ を平均時間とすると、アラン分散は次式で表される。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{f_0} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N-1} (f_{k+1} - f_k)^2}{2(N-1)}} \quad (1)$$

位相雑音 $\varphi(t)$ は位相ゆらぎのパワースペクトル密度を表しており、信号の純度を表す尺度である。中心周波数から一定値（オフセット周波数）における周波数で表し、値が小さいほどノイズ成分の少ない信号であることを意味する。理想的な信号に対して、デバイス固有のランダムノイズ（熱抵抗、フリッカ雑音、ショット雑音等）などによる変調を受けるためである。^{3),4)}

今回の実験のために恒温槽設計製作を行った。加工に伴い木材を基本とし、加工しやすい素材を選択した。

fig. 3 では2台のペルチェ素子を用いた冷却系を検討し制作を行った。fig. 4 では、恒温槽内部の様子を示す。

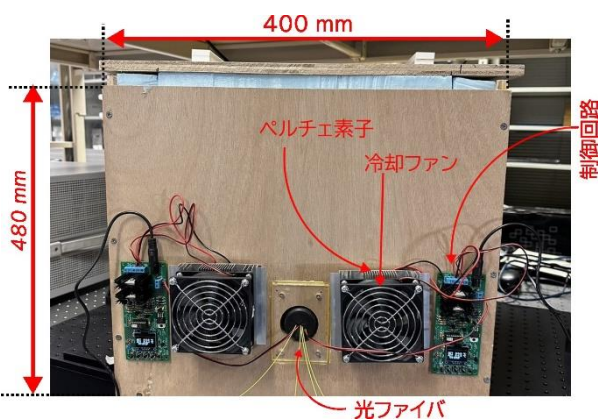


fig. 3 恒温槽を水平方向から見た図

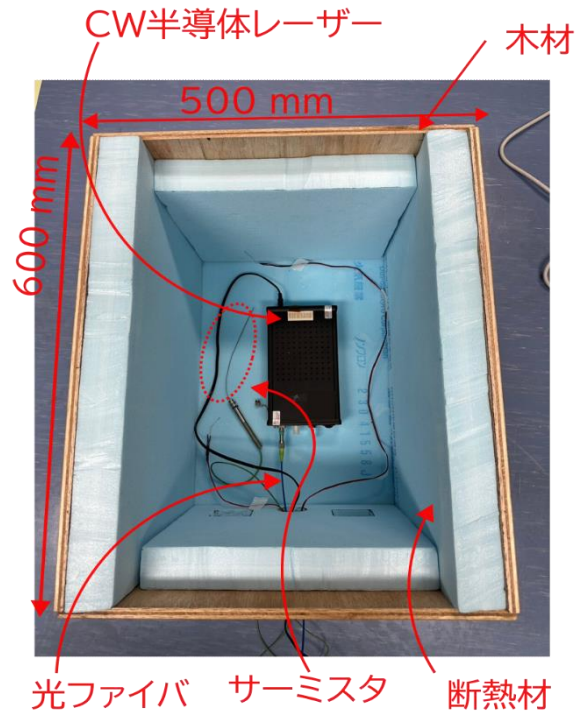


fig. 4 恒温槽の内部

3.まとめ

今回制作した恒温槽では、新しい知見として蓄積し、次の試作につなげていきたい。 ± 0.1 度単位の制御を目標としている。

4.参考文献

1)美濃島 薫,光周波数コムの開発の歴史と革新的応用への展開,電子情報通信学会誌 Vol.103, No.11, 2020, pp.1072-1081

2)今江 理人, 島岡 一博, 飯田 仁志, 島田 洋蔵, ウィダウタ アントン, 堀部 雅弘, ”3 章 電磁波基本測定,” 電子情報通信学会「知識ベース」, 第 12 群 (電子情報通信基礎), 電子情報通信学会, 2011, pp. 1-13.

3)株式会社 大真空,
"WHITE PAPER"~クロックのジッタと位相雑音~,
<https://www.kds.info/wp-content/uploads/2019/02/white-paper-jp-20190205.pdf>,
アクセス日: 2023/10/5

4)今池健, “位相雑音計測装置、および位相雑音計測方法”。

特許番号:特開 2020-148544, 2020/9/27.