

半導体レーザーの発振周波数特性の改善とその応用

土 井 康 平*

Improving and an application of the semiconductor lasers' oscillation frequency characteristics

by Kohei DOI

半導体レーザーは、周波数の揺らぎや発振幅が他のレーザーに比べて大きい、寿命が長く安価であり、メンテナンスが不要である経済性、小型軽量・高光効率・低消費電力であるという使いやすさから、光通信や光記憶装置などの光源として用いられているほか、様々な分野での応用が期待されている。しかし現在、半導体レーザーが応用されている分野の多くは、多少の強度雑音や周波数の揺らぎを問題としない分野であり、今後さらに半導体レーザーの応用分野の拡大を目指すのであれば、強度雑音や発振周波数の揺らぎを改善する必要がある。

本研究は半導体レーザー特有の発振特性を注目しなおし、発振特性改善を行うと同時に、新たな応用範囲を開拓するものである。ことに半導体レーザーの発振スペクトルは他のレーザーに比べて広く、一般的にはその応用範囲に制限を与えるファクターとして認識されている。この広い発振幅を改善する方法として、外部共振器型半導体レーザー (External-Cavity Diode Laser) を構成する方法があり、その発振周波数安定度や発振幅の狭窄化について改善を示した報告が多数ある。特に、これらの報告の中には電気的負帰還と外部共振器型半導体レーザーを併用することで、アラン分散の平方根値で 10^{-4} を超える安定度を得た報告もあるなど、外部共振器型半導体レーザーを構成することによる利益は大きい。

一方、垂直共振器面発光レーザー (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) が、近年になって急速に発展・普及しつつある。VCSEL は高い歩留まりが得られるとともに大量生産が可能であり、且つ高密度実装も可能である。さらに安価な上に低電流で動作し、光通信への応用では数の直接変調にも対応できるなど、新しい光デバイスとして注目を集めている。しかし、今までの半導体レーザーに比べて、VCSEL はその発振幅が著しく広い、限られた光通信用途にしか応用されずにいる。そこで、この VCSEL の持つ欠点について、外部共振器型 VCSEL システムを構成することによって改善を行った。ただし、一般に外部共振器中で半導体レーザーを動作させると光出力変動が顕著になるため、これを抑制すると同時に周波数安定度の向上、ならびに更なる発振幅の狭窄化が得られるダブル光フィードバック VCSEL システムとした。その結果、発振周波数安定度および発振スペクトル幅の両方において良好な結果を得た。

また、一般的にはあくまで雑音であって利用価値がなく、応用するものの性能や測定精度に限界を与える厄介ものの一つに半導体レーザーの周波数雑音がある。一方で、暗号化のための乱数生成の研究が近年活発に行われている。コンピュータのアルゴリズムで生成される“擬似乱数”は生成速度こそ高速で

*新潟大学大学院自然科学研究科

現在 新潟大学工学部非常勤職員

〔新潟大学博士 (工学) 平成22年3月23日授与〕

あるが、真の乱数ではないためセキュリティー上の問題を抱えている。これに対して“物理乱数”は周期性を持たないため安全とされるが、良いソースが無く高速生成が困難であることが知られている。ここで、この“物理乱数”のソースとして半導体レーザーの周波数雑音を利用することを本研究では提案した。カオス発振させた半導体レーザーの光強度雑音を用いて物理乱数を高速生成した報告が昨年“Nature Photonics”並びに“Physical Review Letters”に掲載

され話題を呼んだ。これに対して、本研究では、複雑なシステムを構成して半導体レーザーをカオス発振させなくても、内在的な半導体レーザーの周波数雑音は極めて広帯域なスペクトルを有するため、これを物理乱数のソースとして用いて更なる高速物理乱数生成システムの構築を行い、半導体レーザーの周波数雑音から、現段階においてもの速度で物理乱数を生成することに成功している。