

K 6 磁界印加時における半導体レーザの諸特性変化

～発振波長と光出力のシフトの相関についての検討～

近藤 光正* 大澤 康暁* 瀬戸 祥夫 佐藤 孝 大河 正志 丸山 武男
 新潟大学工学部電気電子工学科 *新潟大学大学院自然科学研究科

1. はじめに

半導体レーザの発振波長(発振周波数)は、レーザ温度、注入電流、組成によって変化するが、磁界によっても変化することが知られており、極低温・強磁界の実験で、磁界印加時に短波長側へのシフトが報告されている⁽¹⁾。しかし、弱磁界におけるシフトとそのシフト機構の詳細な検討はなされていない。

本研究では弱磁界印加時(最大 1.40T)における発振波長シフトの測定を行ってきており^(2,3)、これまでに様々な内部構造を持つレーザで、長波長側へのシフトを得ている。この結果から、我々はレーザ内部の温度上昇が長波長側へのシフトの要因であると考え、波長シフトの磁界依存性や磁界の印加方向による関係などを調べてきた。しかし、波長シフトだけではなく、光出力もシフトするという実験結果とそのシフトの大きさに関する考察から、温度の効果だけではこれらのシフトの説明が困難であることがわかってきた。

そこで本研究では、半導体レーザに磁界を印加し、発振波長シフトと光出力シフトを測定した。そして、シフトの要因を調べるため、発振波長シフトと光出力シフトの相関について検討を行った。その結果から、磁界を印加した際に、電流の流れの変化による温度上昇と縦磁気抵抗効果によるキャリア密度低下という要因により⁽⁴⁾、波長と光出力がシフトするものと考え、シフト機構について考察をしたので以下に報告する。

2. 実験方法

図 1 (a)に波長(周波数)シフトの実験系を示す。周波数シフトの測定にはビート信号を用いる。LD1 は磁界を印加するレーザであり、LD2 はビート信号を得るための参照用レーザである。ここで、LD1、LD2 はともに温度制御(1/100℃以下)されている。この2つのレーザの光軸をビームスプリッタ(BS)とミラーを用いて一致させ、アバランシェフォトダイオード(APD)に入射させ、出力をスペクトラムアナライザでビート信号として検出する。

ビート信号は発振波長がわずかに異なる2つの波を重ね合わせることで得られる。2つのレーザ光の周波数の差で変動する信号である。このことにより、スペクトラムアナライザでは個別には測定できない波長に相当する周波数を測定周波数領域内に変換して表すことが出来る。

図 1 (b)に光出力シフトの実験系を示す。実験ではLD1のレーザ光をパワーメータに入射して、磁界印加による出力の変化を測定した。

また図 2 に印加する磁界の方向を示す。これまでの実験から、磁界の印加方向と半導体レーザの結晶の方

向が波長シフトに関係することがわかっている。そこで、磁束密度ベクトル B と半導体レーザの積層面の法線方向ベクトル n が平行 ($B//n$)、垂直 ($B \perp n$) となる方向で実験している。

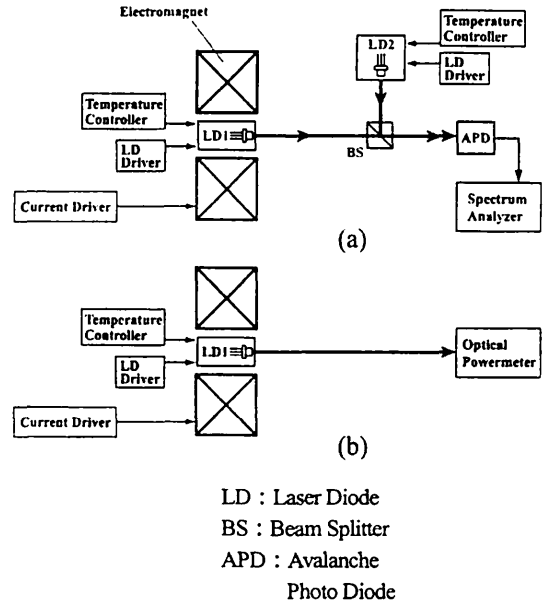


図 1 周波数シフトの実験系

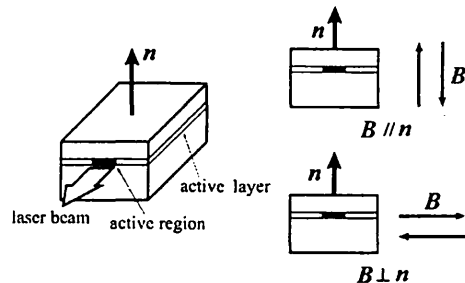


図 2 磁界印加の方向定義

3. 実験結果

実験結果を図 3 から図 5 に示す。図 3 は周波数シフトの磁界依存性、図 4 は光出力の磁界依存性、図 5 は図 3 と図 4 の 2 つから書いた相関関係のグラフである。

磁束密度 B と半導体レーザーの積層面の法線ベクトル n が垂直 ($B \perp n$) のときはほとんどシフトが観測されていないので、平行 ($B \parallel n$) のときのみを結果として表している。このとき、動作電流は 130mA、レーザー温度は 25℃であった。磁界 1.12T 印加時には長波長側に 0.7GHz、低出力側に 0.39mW のシフトが観察された。グラフの傾きは 1.68 で、光出力シフトが 2.15 となった。図 5 は縦軸に周波数変化、横軸に光出力変化をとり、それらの相関特性を見るものである。プロットした○は磁界を 0 から 1.12T まで印加した時の光出力シフト-周波数シフト特性を示している。また、グラフは比較のためにレーザーの基礎特性より算出した温度並びに電流を変化させた時の周波数-光出力変化も表している。Temp. 側へ向いている矢印は温度を上げたときの光出力および発振周波数変化の特性を示している。一方、Current 側に向いている矢印は注入電流を上昇させたときの同様の特性を示している。この周波数シフトと光出力シフトの相関のグラフに、半導体レーザーの基礎特性を考慮すると、シフト機構の要因は温度のみの効果ではないと考えられる。さらに、これまでの実験により得られた結果から、シフト機構を次のように考えている。半導体レーザーに磁界を印加すると、ローレンツ力と縦磁気抵抗効果により、半導体内部の抵抗が上昇し、それによってキャリア密度が変化し、実効キャリアが減少するため光出力が低下する。そして、活性層付近の温度が上昇し、共振波長が伸びるので、波長は長波長側へシフトする。

4. まとめ

本研究は、半導体レーザーに磁界を印加し、諸特性変化を測定し、以下の結果を得た。

- 磁界印加により、周波数シフトは低周波数側へ、光出力シフトは低出力側へシフトした。
- 周波数シフトと光出力シフトの相関関係のグラフを考慮すると、シフト機構の要因は温度のみの効果ではないと考えられる。

5. 参考文献

- (1) I. Melngailis and R. H. Rediker : "Magnetically tunable cw InAs diode maser", Appl. Phys. Lett., Vol. 2, No. 11, pp. 202-204(1963).
- (2) 佐藤 孝, 川島英俊, 星 倫哉, 山本茂樹, 大河正志, 丸山武男, 榎葉 實 : 「半導体レーザーの磁界による発振波長のシフトとその機構の検討」, 電学論, Vol.111-C, No.10, pp.1031-1038(1994).
- (3) 中川孝之, 西家章典, 大澤康暁, 佐藤 孝, 大河正志, 丸山武男, 榎葉 實 : 「磁界による近赤外 MQW 半導体レーザーの発振特性の変化に関する検討」, 信学技報, LQE99-122, pp.43-48(2000).
- (4) 原留美吉 著 : 「半導体物性工学の基礎」, 工業調査会, pp.142-145(1967).

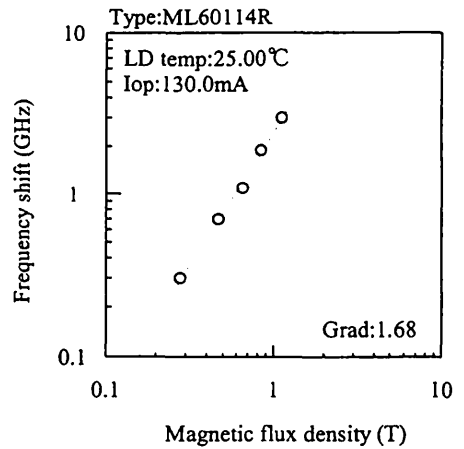


図3 周波数シフトの磁界依存性

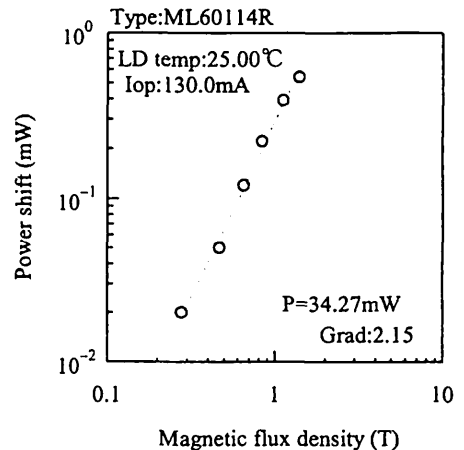


図4 光出力シフトの磁界依存性

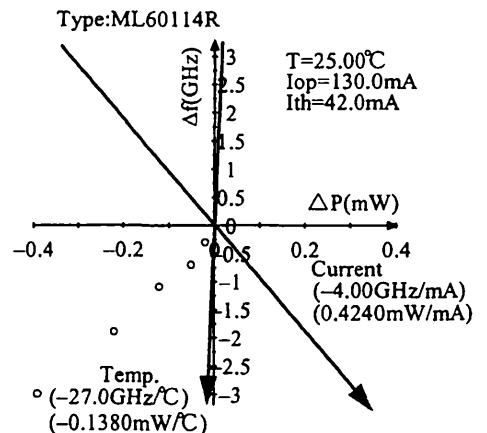


図5 相関関係