

レーザーダイオードのコヒーレント加算の研究

電子工学科 植田研究室 松尾圭悟

1. はじめに

私たちの研究室では、ファイバー型方向性結合器を用いたコヒーレント加算の研究を行っている。この方法は、単一モードファイバーによる伝搬であるために、自由空間のコヒーレント加算において困難な空間モードマッチングの問題が無く、93.5%と高い加算効率を得られている。

コヒーレント加算を行う目的として、シングル横モードでの高出力化・高輝度化があげられる。輝度は、単位面積当たりのパワーである。

レーザーダイオードの利点として、電気 - 光変換効率が良い、小型、軽量などがあげられる。逆に欠点として、ビーム広がり角が大きい、ビーム品質が悪い、高出力に伴いジュール熱が発生するヒータリングの問題等がある。

この欠点を補うためにも複数レーザーのコヒーレント加算が重要になってくる。

このコヒーレント加算の技術をレーザーダイオード (LD) のコヒーレント加算に用い、ビーム品質がよく、高出力なレーザーを得ることを目的とする。

2. 原理

加算実験の実験概略図を図 1 に示す。

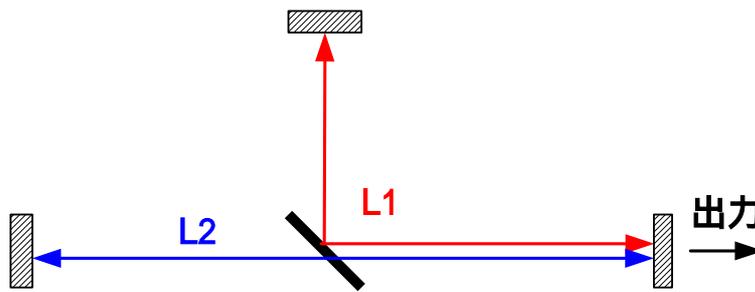


図 1 実験概略図

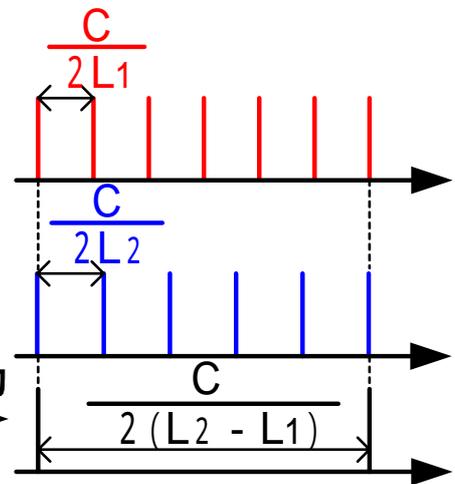


図 2 縦モード間隔

図 1 より、共振器長が L_1 、 L_2 と異なる 2 通りのファブリーペロー共振器が存在していることが分かる。この 2 つの共振器により Y 字型の共振器が組まれている。ファブリーペロー共振器の共振周波数は次式で定義される。

$$\nu = \frac{c}{2L} \quad [L: \text{共振器長}] \quad (1)$$

L_1 、 L_2 と共振器長の異なる共振器の縦モードはそれぞれ図 2 のように存在する。この 2

つの共振器を用いて複合的な Y 字型共振器を組むと、縦モードが一致した周波数が Y 字型共振器の発振周波数となる。この場合、2 通りのファブリーペロー共振器の共振条件を同時に満たしている。

このような原理に基づいて、LD のコヒーレント加算を行った。

3 . 実験結果

AR コーティング ($R=2 \times 10^{-4}$) LD を 2 つ (LD A、LD B) を用いた。LD の HR ($R=1$) 端面と Output Coupler ($R=48\%$) で外部共振器を組み、等分岐ビームスプリッタ (BS) を用いて結合した。ポート A に Output Coupler をおいた場合の実験図 1 と測定結果 1 をそれぞれ図 3 (a) (b) に、ポート B に Output Coupler をおいた場合の実験図 2 と測定結果 2 をそれぞれ図 4 (a) (b) に示す。

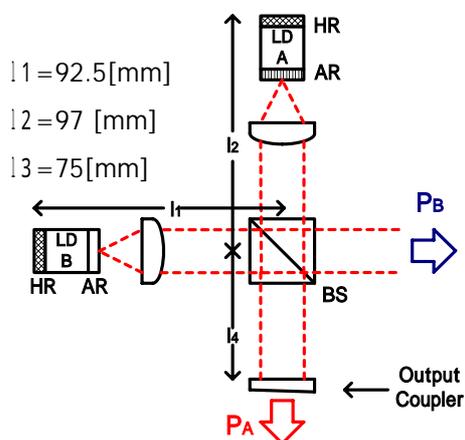


図 3 (a) 実験図 1

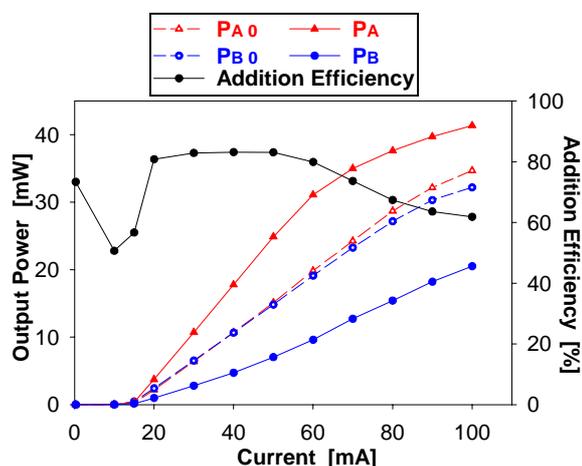


図 3 (b) 測定結果 1

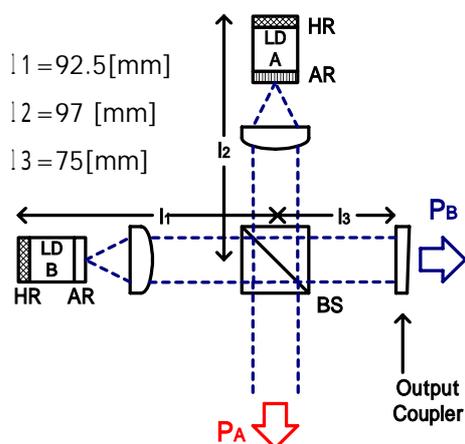


図 4 (a) 実験図 2

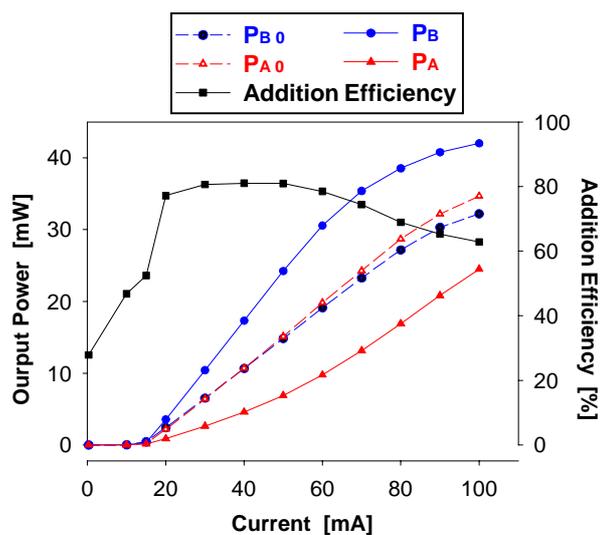


図 4 (b) 測定結果 2

測定結果 1 より加算効率 83.2%、測定結果 2 より加算効率 80.1%を得た。また、Output Coupler の位置を変えてもほとんど同じ結果が得られたことから、出力ポートのスイッチングが可能であることも分かった。

原理で考えたように、Y 字型共振器を組んでいるので、共振器長の差 (L) による縦モード間隔が測定できるはずである。 $L = 4.5\text{mm}$ での発振スペクトルを図 5 に示す。

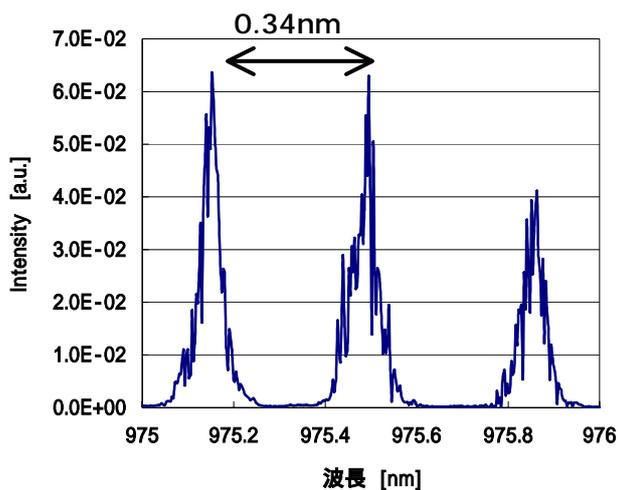


図 5 発振スペクトル ($L = 4.5\text{mm}$)

$L = 4.5\text{mm}$ より求められる縦モード間隔は、 0.11nm である。しかし、測定結果から得られた縦モード間隔は 0.34nm と異なっている。

この理由として、LD には AR コーティングが施してあるが、反射が完全に 0 になったわけではない。このことから共振器として、Y 字型共振器の実効的利得 (γ) と LD 端面間による利得 ($L_D = 0.17\text{nm}$) が共存していると考えられる。この概念図を図 6 に示す。

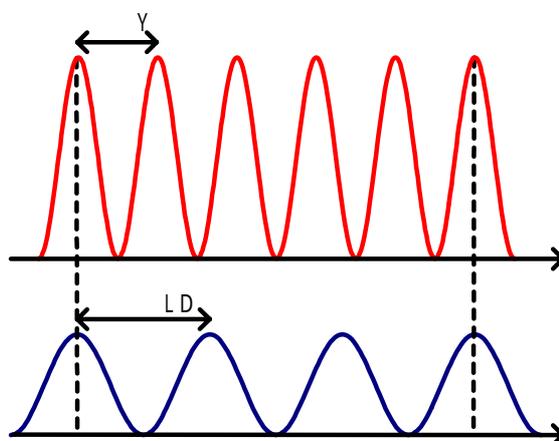


図 6 利得の概念図

図6のように利得が一致する波長で発振する。 γ の整数倍とLDの整数倍が等しいことから次式で表せる。

$$\gamma \cdot m = L_D \cdot n \quad [m, n : \text{整数}] \quad (2)$$

$L = 4.5\text{mm}$ の場合、 $\gamma = 0.11\text{nm}$ 、 $L_D = 0.17\text{nm}$ より $m = 3$ 、 $n = 2$ となり、測定結果とほぼ等しいことが分かる。

次に、 $L = 5\text{mm}$ の発振スペクトルを図7に示す。

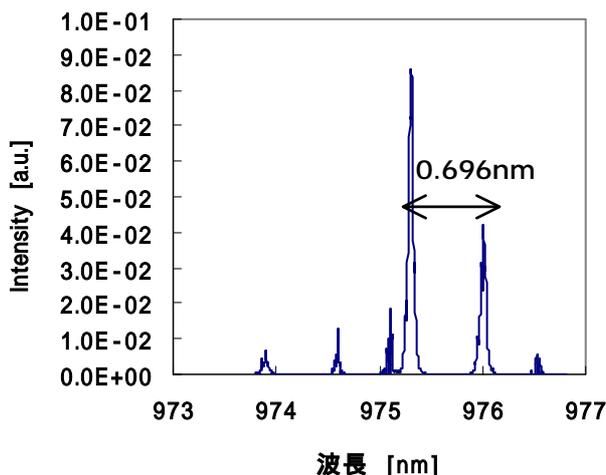


図7 発振スペクトル ($L = 5\text{mm}$)

この場合、 $\gamma = 0.096\text{nm}$ 、 $L_D = 0.17\text{nm}$ より $m = 7$ 、 $n = 4$ となり、測定結果とほぼ等しいことが分かる。

このことから、縦モード間隔は共振器長の差だけではなく、共振器の実効的利得とLD端面間の利得によって決まることが分かった。

4. まとめ

レーザーダイオードのコヒーレント加算において、加算効率 83.4%を得た。また、フィードバックを制御することによって出力ポートのスウィッチングが可能であることも分かった。縦モード間隔について、ファイバーレーザーのコヒーレント加算の原理である Y 字型共振器の考えだけでは解析できず、Y 字型共振器の実効的利得と LD 端面間の利得によって解析できた。

5. 今後の展望

AR コーティング技術の改善する事によって、加算効率が高くなると考えられるため、AR コーティングの改善を行う必要がある。また、コヒーレント加算の原理となる Y 字型共振器の解析をさらに行う必要がある。