

## 電気光学変調コムのASE雑音低減に関する研究

日大生産工(学部) ○黒岩 芽生 佐野 直哉  
和田 知也  
日大生産工 石澤 淳  
日大生産工(院) 杉山 大泰

## 1. まえがき

電気光学変調(EO)コムを雑音検出器として用いて、フィードバック制御を行うことで信号発生器から出力されるマイクロ波やミリ波信号の位相雑音を低減することを目指している。本研究は3台の位相変調器を用いて25 GHzモード間隔のEOコム発生を行った。その際、光増幅器やビートによってEOコムに自然放出増幅光(ASE)雑音が発生する。問題点はASE雑音が大きくなることによって、光パルスの尖頭光強度が低くなり、EOコムの周波数安定化に影響がでることである。

本報告では、EOコムに含まれるASE雑音を低減する為、エタロンモジュールとPDH法によるFabry Pérotフィルタの2つを用いたASE雑音低減結果について報告する。

## 2.1 Fabry Pérot フィルタ

2枚の平面反射鏡あるいは凹面反射鏡をある間隔で平行に向い合せた構造からなる光共振器をFabry Pérot (FP) 共振器と呼ぶ。FPフィルタが共振条件を満たすと、透過光の強度は最大となる。共振条件は、共振器内の光が1往復した時に波長が整数倍 ( $m$ : 整数)になる場合なので、(2.1)で表される。また、式(2.1)の波長 $\lambda$ を周波数に置き換えると共振周波数 $f_R$ は(2.2)で表される。

$$2L = m\lambda \quad (2.1)$$

$$f_R = \frac{c}{2L}m \quad (2.2)$$

式(2.2)より、共振周波数は共振器の長さ(L)で決まり、共振のモードは一定の間隔 $f_{FSR}$  (Free Spectrum Range : FSR)で生じ、式(2.3)で表される。

$$f_{FSR} = \frac{c}{2L} \quad (2.3)$$

共振の鋭さを表すフィネス(F)は $f_{FSR}$ と共振モードの半値全幅  $\Delta f$ 、ミラーのパワー反射率 R とすると、式(2.4)で表される。

$$F = \frac{f_{FSR}}{\Delta f} = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} \quad (2.4)$$

以上より、共振器の長さだけでFPフィルタの共振が定まるため、共振器の長さの変動がより小さいものが求められる。また、フィネスが高い共振器ほど、共振モードが鋭くなり周波数弁別器としての機能は向上する。今回FPフィルタの $f_{FSR}$ を25 GHzに安定することで光コムのスペクトルを透過させ、ASE雑音を除去する。また、今回使用するエタロンモジュールとPDH法によるFPフィルタのフィネスはそれぞれ32.5と1,000である。

## 2.2 PDH法による周波数弁別

周波数弁別とは、レーザに変調を加え、復調することによって、レーザの発振周波数と周波数基準との差であるレーザの揺らぎを検出し、電気信号に置き換えることをいう。

PDH法の基本的な構成を図2.1に示す。

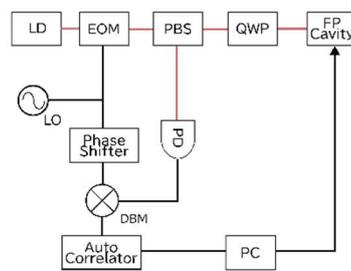


図2.1 PDH法の基本構成図

まず、レーザ光を電気光学位相変調器(EOM)に入射することによって位相変調をかけ、側波帯を発生させる。それを安定かつ高フィネスの光共振器に入射し、側波帯と干渉させて検出する、光ヘテロダイン法を用いて共振情報を取り出す。その検出情報をレーザにフィードバックすることにより、発振周波数を光共振器の共振周波数にロックして安定化させる方法がPDH法である。

位相変調をかけたレーザ光を光検出器(Photo Detector: PD)で検出した際、PDはFP共振器からの反射光を検出するが、共振時にはFP共振器のフィネスの分だけ共振器内を往復した搬送波が検出される。従って、搬送波は時間平均されるため、周波数揺らぎの無い安定な基準周波数となるが、側帯は共振しないため、元のレーザの周波数揺らぎを保持したまま検出される。従って、これらの搬送波と側帯を混合し、ヘテロダイン検波すると変調角周波数のビート周波数信号が検出できる。以上より、数百THzのレーザの周波数揺らぎをRF領域の信号へ移乗させることが可能である。その後、検出信号とLOからの変調信号をDouble Balanced Mixer (DBM)によって混合することによって復調を行う。また、高周波成分をローパスフィルタで取り除けば、位相揺らぎの検出が可能となる。これは誤差信号と呼ばれる。また、Phase Shifterを挿入することによって、復調信号の位相がずれ誤差信号が線形になるため、感度をよくすることが出来る<sup>1)</sup>。

### 3.実験方法および測定方法

短パルスレーザ(フェムト秒の短い時間幅を持って発光を繰り返すレーザ)は連続発振のレーザと比べ高い強度や速い時間応答が可能である。本研究では、位相変調器に25GHzの正弦波信号を強度変調器(IM)と3台の位相変調器(PM)へ印加することで半値全幅39nmの帯域幅を持つEOコムを発生させる。この段階でのEOコムにはASE雑音が多く含まれているため、エタロンモジュールとPDH法によるFPフィルタを用いてEOコムのASE雑音の低減を行った。エタロンモジュールにおいては、共振器の熱膨張率が0となる温度を実測し温度制御を行った。実験系を示したものを図3.1とする。

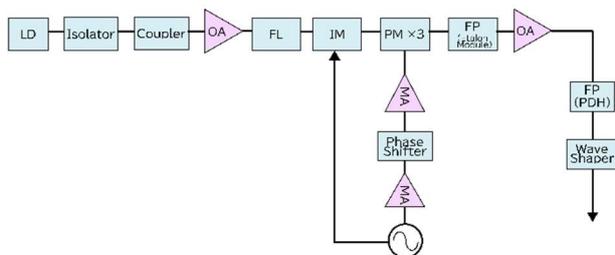


図 3.1 ASE 雑音低減のための実験系

## 4.実験結果および検討

### 4.1 エタロンモジュールによるASE雑音低減

エタロンモジュール内の温度を25.43°Cに設定したとき、最もEOコムスペクトルの透過率が高いことを確認した。エタロンモジュールを通ったことによる損失は約-32.9 dBであった。エタロンモジュール挿入前後の3台の位相変調器を用いたEOコムスペクトルの測定を行った。FPフィルタ内の温度を25.43°Cに設定したとき、最もEOコムスペクトルの透過率が高くなることを確認した。FPフィルタ挿入により、約1桁程度ASE雑音の低減に成功した。図4.1(b)<sup>2)</sup>は低減したスペクトルの様子である。

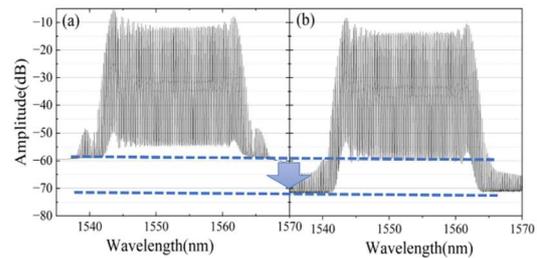


図4.1 エタロンモジュールによるASE雑音低減

### 4.2 PDH法FPフィルタによるASE雑音低減

PDH法によるFPフィルタ挿入前後の3台の位相変調器を用いたEOコムスペクトルの測定を行った。FPフィルタ挿入により、さらに約3桁程度ASE雑音の低減に成功した。図4.2(B)は低減したスペクトルの様子である。

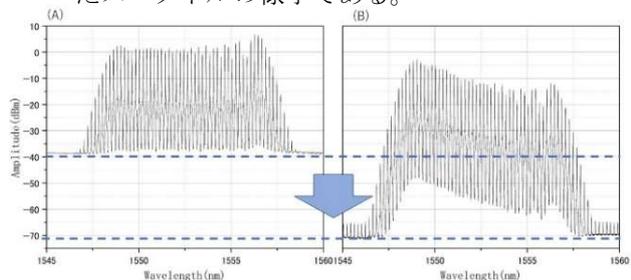


図4.2 PDH法FPフィルタによるASE雑音低減

## 5.まとめ

EOコムに含まれるASE雑音を低減する為、FPフィルタを用いた結果、エタロンモジュールでは約1桁程度、PDH法によるFPフィルタではさらに約3桁程度、ASE雑音を低減することに成功した。

### 参考文献

- 1) 長久敦史. (平成 25 年 2 月 28 日). 広帯域光周波数基準のための超狭線幅光源の開発. pp14-19
- 2) 杉山大泰 電気光学変調コムの ASE 雑音低減に関する研究. pp16-18
- 3) 大島裕貴 850nm 領域の半導体レーザーの安定化.