

# フェムト秒 OPO 共振器の安定化制御

## Feedback control of femtosecond OPO cavity

佐々信介(M1), 伊東泰幸(M2)

S.Sassa and Y.Ito

### • Abstract

In order to maintain the optimum output spectrum of a 1.5 $\mu$ m femtosecond OPO for a long time to use it in squeezed vacuum pulse generation with fiber nonlinearity, we introduce feedback control. The error signal is acquired by the change of polarization state of the intracavity light. The output of homodyne detection is fed to a PID circuitry and controls one of cavity mirrors by a PZT transducer. In order to maintain the optimum output spectrum of a 1.5  $\mu$ m femtosecond OPO for a long time to use it in squeezed vacuum pulse generation with fiber nonlinearity, we introduce feedback control. The error signal is acquired by the change of polarization state of the intracavity light. The output of homodyne detection is fed to a PID circuitry and controls one of cavity mirrors by a PZT transducer,

### 1 はじめに

スクイズド状態は量子もつれ状態に必要な不可欠なリソースである。我々は連続変数のもつれ合い光源を用いた量子テレポーテーションなどの量子情報処理の実現を目指し、光ファイバによるスクイズド光発生実験を進めてきた。光通信波長帯 1.5  $\mu$ m の波長において、ファイバ干渉計で安定な自己位相変調を起こし、真空スクイズドパルスが発生させるためには、高次の非線形効果を効率よく引き起こすために 1.55  $\mu$ m における良質なパルス光源が必要となる。1.55  $\mu$ m のパルス光源としては、ファイバ増幅レーザーがあるが、自然放出による雑音(ASE; Amplified Spontaneous Emission)により厳密なコヒーレント状態の光源になっていない。そこで我々は波長 800 nm Ti:sapphire フェムト秒レーザーを励起に用いた OPO リング型共振器を構築することによってコヒーレント状態の 1.55 $\mu$ m の光を得てきた。しかしこの OPO は時間経過とともにスペクトル波形が変化や、出力強度の変動が大きく安定性に問題があった。

Fig.1,2 にスペクトルと出力パワーの時間変化の様子を示す。本研究ではそれら安定性の問題点を解決した実験について報告する。

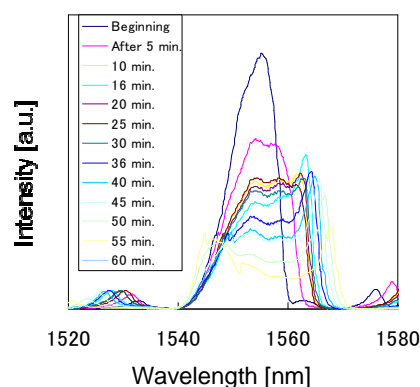


Fig. 1 Temporal change in the OPO output spectrum during 1-hour.

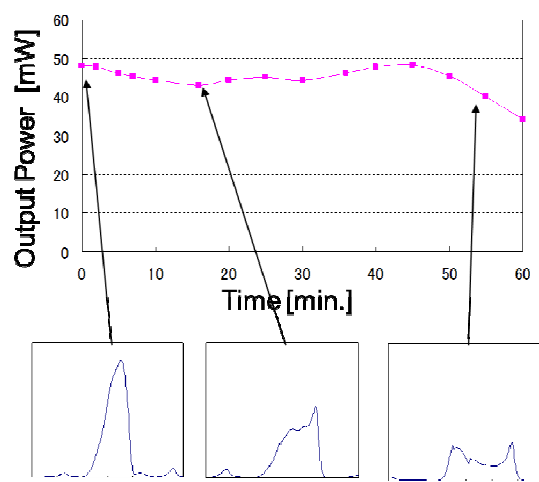


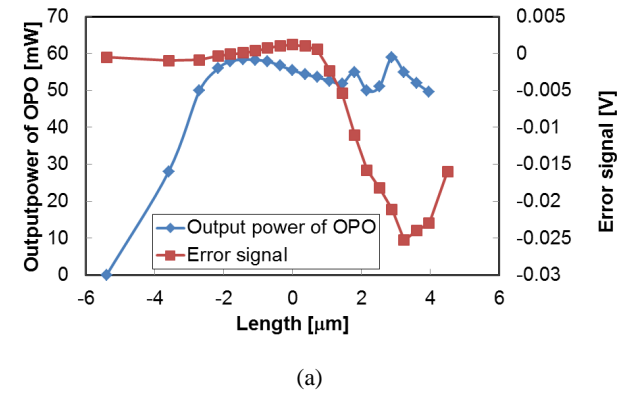
Fig. 2 Temporal change in the OPO output power during 1-hour.

### 2 共振器安定化手法

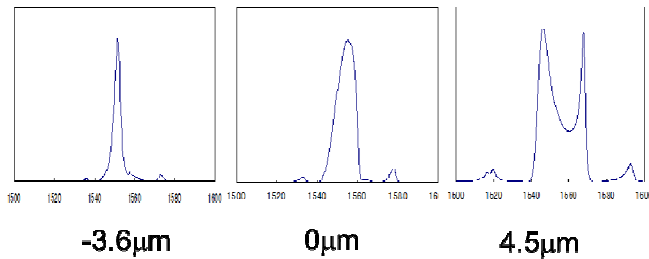
レーザー周波数安定化の方法はいくつかある。代表的な方法として Pound- Drever- Hall 法 [2]と Hansch- Couillaud 法 [3]があるが、我々は後者の方法を用いて OPO の周波数安定化を行った。OPO 共振器内の光の偏光は共振器長が変化して励起レーザーの繰り返し周波数から離調すると、直交偏光成分が生じるので、そのわずかな偏光の変化をエラ

ーシグナルとして利用する。全反射共振器ミラーからの  $1.55\mu\text{m}$  の漏れ光をホモダイン計測することでエラーシグナルを取得し、ミラーに付属させた PZT を PID フィードバック制御することによって共振器長を一定に保った。

共振器長とエラーシグナルの対応関係を Fig.3 に示す。



(a)



(b)

Fig.3 Characteristics of error signal: (a)relation between the error signal and the OPO output power; (b) examples of OPO output spectrum at some cavity length shifts.

Fig.3 は、共振ポイントを  $0\mu\text{m}$  としたとき共振器長を変化させたときのエラーシグナルと出力パワーおよびスペクトル波形の関係を示す。スペクトル波形は非常に細い状態から徐々に共振ポイントに近づき、そしてさらにスペクトル幅が広がりながら波形が崩れていくことが読み取れる。エラーシグナルと共振器長は一定の範囲内で一対一の対応関係にあることが読み取れる。一方出力パワーとスペクトル波形は必ずしも一対一の対応関係にない。そのため単に漏れ光が最大値になるように制御するのではなくホモダイン計測し偏光のずれをエラーシグナルにしなければならぬことが確認できた。

### 3 制御実験

実験セットアップを Fig.4 に示す。励起に用いたレーザーはモード同期フェムト秒パルスレーザーMaiTai (平均出力  $700\text{--}900\text{ mW}$ , 中心波長  $810\text{ nm}$ , 繰り返し周波  $80\text{ MHz}$  パルス幅約  $100\text{ fs}$ , スペクトル幅約  $15\text{ nm}$ ) である。

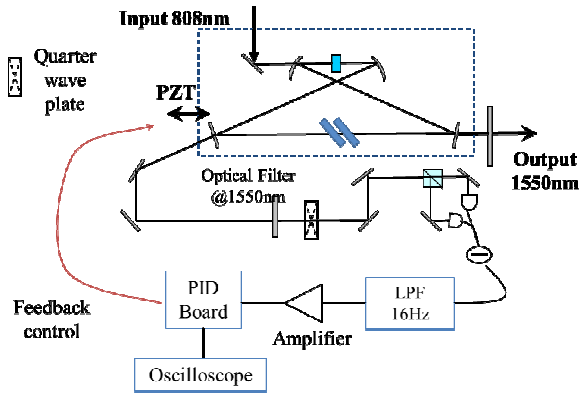


Fig.4 Experimental setup

非線形結晶はオキサイド社製 MgO ドープ PPLN (PPLN; Periodically poled lithium niobate) を用いた。結晶のサイズは断面積が  $0.5 \times 10.0\text{ mm}$  であり、光軸方向が  $1.0\text{ mm}$  である。PPLN の分極反転周期は  $0.1\mu\text{m}$  きざみである。共振器長が励起レーザーの繰り返し周波数に一致し、結晶に信号パルスと励起パルスが同時に入射する時にパラメトリック発振によって  $1.55\mu\text{m}$  に波長変換された光が生成される。

一枚のミラーからの  $1.55\mu\text{m}$  漏れ光の直線偏光からのずれをホモダイン計測することによってエラーシグナルを取得する。ホモダイン計測の測定回路を Fig.5 に示す。偏光ビームスプリッタで分けた光についてのフォトダイオードの差信号を、増幅できる回路になっている。共振器の変動は温度変化や空気の揺らぎなどメカニカルな要因によって引き起こされているので、 $160\text{ Hz}$  の LPF を挿入し高い周波数成分をカットし余計な雑音を除去する。フィードバックにはタートル工業社製 PID ボード T-PID01Z を用いた。PID ボードからの出力は  $\pm 15\text{ V}$  の範囲で PZT に印加する。PZT は 3 つ直列に並べることにより変化量を増やし最大  $\pm 2.7\mu\text{m}$  の範囲で調整が可能となっている。

ホモダイン計測の測定回路を Fig.4 に示す。

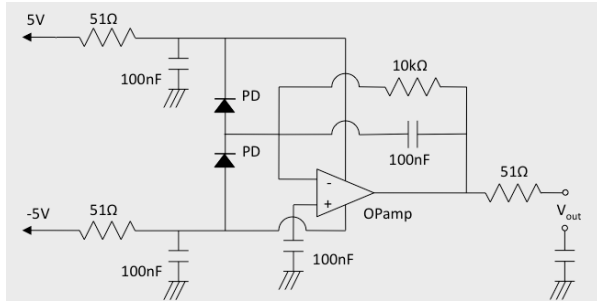
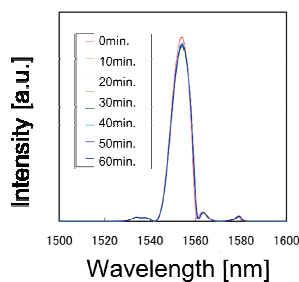


Fig.5 Electric circuit of Homodyne detection

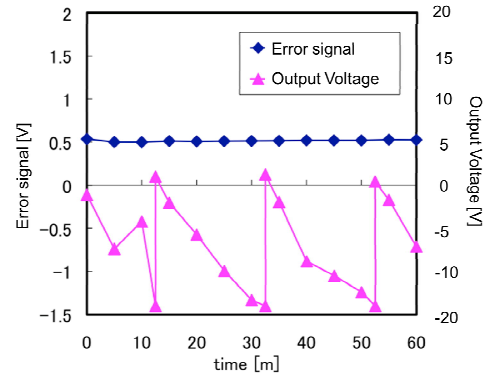
PID ゲインの調整は、まず基準値、P,I,D ゲインを 0 にした状態から PID ボードのスイッチをいれる。エラーシグナルは波長板により出力が 0V 付近になるように調整する。次に I のゲインを少しずつ増やしゆっくりと出力が応答するように調整する。スイッチを OFF から ON にしたときにエラーシグナルが安定させたいところで安定するように、スイッチを ON,OFF しながら基準値を微調整する。スイッチを ON にしたときにエラーシグナルが求める値で安定したら、スイッチを ON にしたまま P と I のゲインを大きくする。今回は変化量が少ないので PI ゲインの調整のみでフィードバックはかかるが、状況に応じて D ゲインも使えばより精度の高い制御になる。

なおPIDボードの入力電圧には十分注意する必要がある。ホモダイン回路によって二つのフォトダイオードの差分をアンプした信号を測定しているが、何らかの原因で片方の光路がささぎられてしまうとバランスが崩れ片方のダイオードからの電圧がアンプされてボードにかかる。すると一気に大きな電圧がかかり故障の原因になるので注意する。

## 4 実験結果



(a)



(b)

Fig.6 Experimental results: (a) temporal change in OPO spectrum ; (b) Temporal change in the error signal and PID circuit output.

実験結果を Fig.6 に示す。Fig. 6(a)はスペクトル波形の時間変化を示す。Fig. 2 とは異なり、1 時間内のスペクトル波形に変化がない。 Fig. 6(b)はエラーシグナルの変動と PID ボードの出力を示す。用いた PID ボードでは±15V の範囲でしか電圧調整ができないため、20 分程度で手動で距離調整を行った。

## 5 まとめ

我々は、Hansch- Couillaud 法を用いて OPO リング型共振器の安定化に成功した。PID ボードによる補償の範囲が狭くロックできる時間が短いことが問題であるが、電圧増幅器を用いることで長時間の制御ができる。

## • References

- [1] 廣澤賢一, 神成研究室 Annual Report 2006-2007 36
- [2]R.W.P Drever et al, Appl. Phys. B **31** 97 (1983)
- [3]T.W.Hansch and B.Couillaud, Opt. Commun.**35**, 441 (1980)