

ラゲールガウスビーム生成用光共振器の安定化

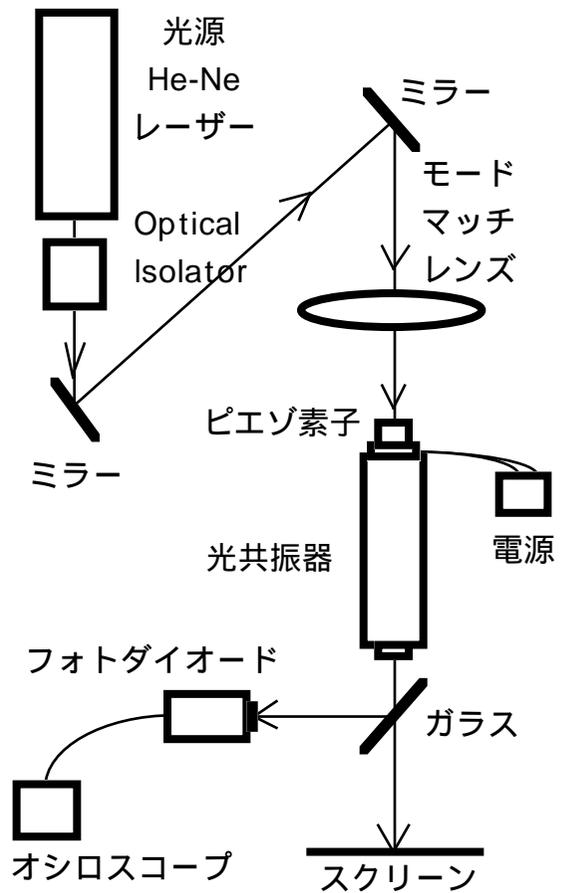
清水和子研究室 9514064 杉山 知章

1 背景と目的

清水研では、高次HGビームを二分し、一方を二枚のシリンドリカルレンズの組みを用いて位相を $\pi/2$ ずらし、再合成してLGビームを生成しています。このときの高次HGビームの生成は、光源レーザーからの光を、 piezo素子による共振器長可変の外部光共振器に入射させて、それぞれのモードの共振周波数を制御して行います。しかし、この piezo電圧の制御は、手動の段階で、これを応用が可能な数時間のオーダーで安定したビームの生成を実現する事は、つきっきりで行う必要があります。そこで、ビームの出力の微小変化、すなわち微分値を piezo素子にフィードバックさせ、この作業を自動化させることが課題となっています。本実験では、微分波形の検出までを行いました。

2 高次HGビームの生成

図1に示すように光学系を配置し、高次HGビームを生成します。光源からのレーザー光を二つのミラーを用いて光共振器への入射角度を調整し、レンズを用いて、光共振器にモードマッチさせます。光源レーザーのビーム径0.37[mm]、光共振器のビーム径0.15[mm]より、レンズにおいて、ビームの複素半径の変換がおこなわれているとして、モードマッチレンズ $f=500$ [mm]、光源レーザーのビームウェイストの位置からレンズまでの距離158[cm]、レンズから光共振器のビームウェイストの位置まで58[cm]と計算し、配置します。その他は、厳密な制約はありません。これら、および piezo電圧の加減より、TEM00、01、02、03、04などTEM0n波を、それぞれにアライメントすることで任意に生成できます。



< 図1 HGビーム生成系 >

3 モード間隔に対するピエゾ電圧の測定

安定化させるためには、まずどの程度ピエゾ素子に電圧をかけなければならないか、知らなければなりません。フィードバックをかける時に電源は、まず任意のモードで共振させるためにかけるDC、そして変調をかけるためのAC、さらにモード維持のための加減DCの三種類、必要となります。最初のDCは、free spectral rangeの2～3倍をカバーできるものが望ましく、ACはモードが外れるほど強いものではつとまりません。最後のDCは、安定させたい時間や、ドリフト速度などを考慮に入れる必要がありますが、参考になる数値といえます。

理論値はHGビームの伝播軸z上の位相の式

$$\theta = kz - (m + n + 1) \tan^{-1} \frac{z}{z_0}$$

から、共振器一往復したビームの位相と出発時の位相との差が、 p (p :整数) であるとして式をたてると、共振周波数の差は、縦モード p の変化に対して

$$\nu_{p+1} - \nu_p = \frac{c}{2l}$$

横モード $m+n$ の変化に対して、

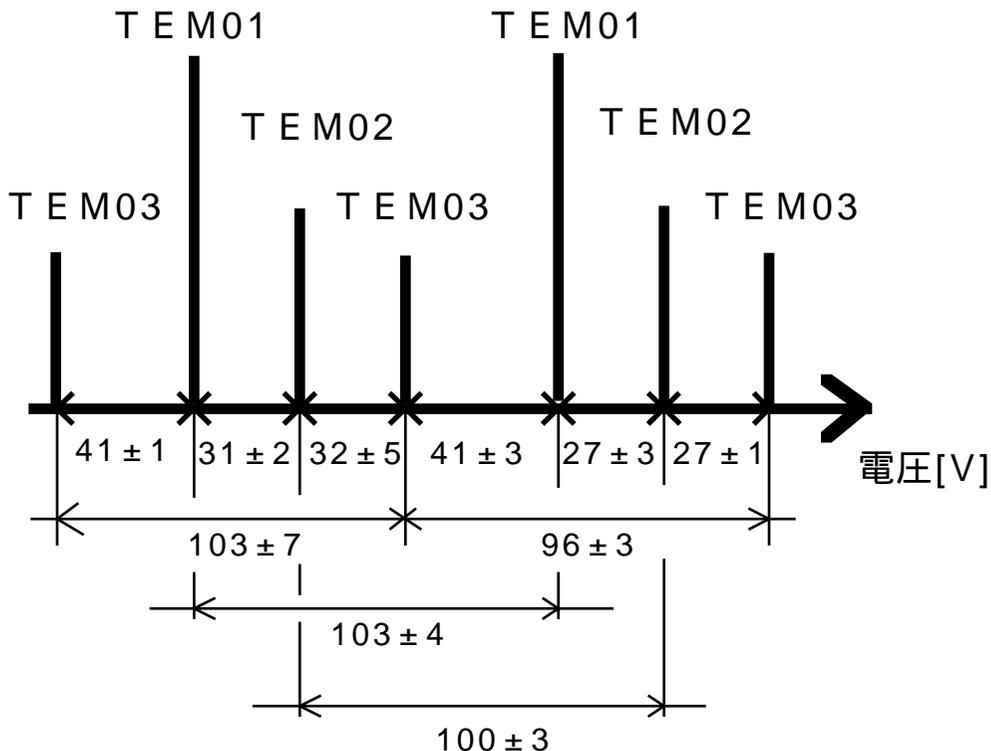
$$\nu_{m+n+1} - \nu_{m+n} = \frac{c}{2\pi l} \left\{ \tan^{-1} \frac{z_2}{z_0} - \tan^{-1} \frac{z_1}{z_0} \right\}$$

がえられます。また、共振器のフィネス F を用いて、透過ピークの半値全幅は、

$$\Delta\nu_{\frac{1}{2}} = \frac{\nu_{p+1} - \nu_p}{F}$$

となります。これらを、光共振器の $F=77$ 、長さ106[mm]を用いて計算すると、縦モード間隔1415[MHz]、横モード間隔443[MHz]、ピークの半値全幅18.3[MHz]となります。

測定は、ピエゾ素子にかける電圧を変化させながら、スクリーン上でモードを確認しながら、フォトダイオードからの出力がそのモード内で最大になる時のピエゾ電圧を記録することで行います。アライメントは、TEM01波、TEM02波、TEM03波が同時にみられる状態で行い、同じ横モードどうしの間隔から縦モード間隔を計算します。実験中のドリフトを考え、間隔のみを結果とします(図2)。free spectral rangeの平均値は、 101 ± 5 [V]となります。また、それぞれの隣り合うモード間隔からfree spectral rangeを計算すると、 100 ± 7 [V]となり、ともに近く、誤差の範囲内であることから、同じモード中のTEM01、TEM02、TEM03波を測定したといえます。透過ピークの半値全幅は、18.3[MHz]より、1.3[V]です。



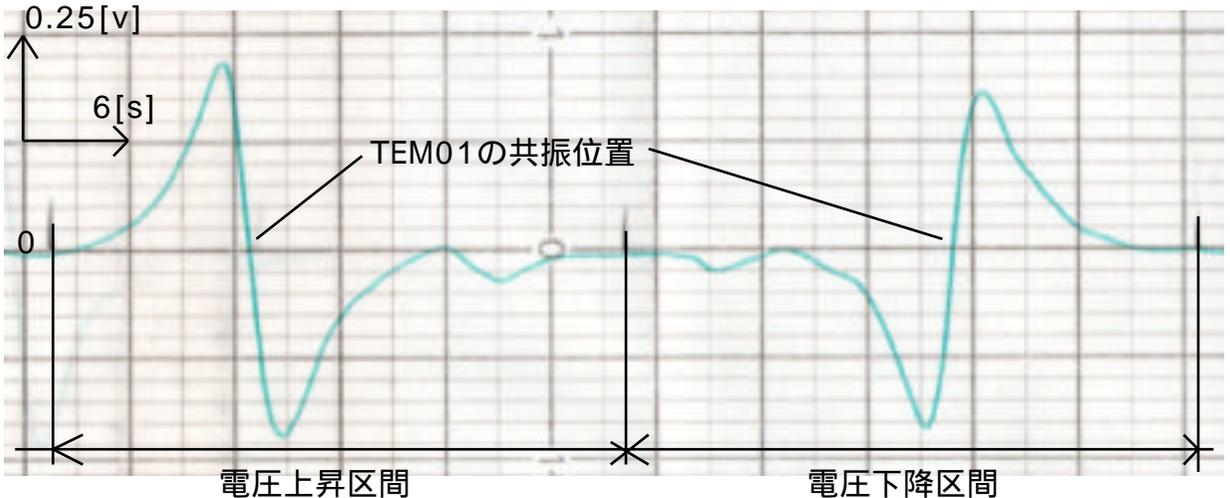
< 図 2 光共振器の透過特性 >

4 微分波形の検出

piezoelectric element against, resonance occurs up to that point, DC voltage is applied. Next, piezoelectric element against, modulation frequency 1 [kHz], ± 0.13 [V] modulation is applied, and it is used as a reference signal for the lock-in amplifier. The magnitude of the AC voltage applied is determined by the output of the photodiode in the oscilloscope, which is almost linear at the peak, and the half-value width is determined by the degree of wave beating. Such a range is called a micro-range.

In order to obtain the differential waveform of the frequency characteristic, it is necessary to quantitatively change the frequency. Specifically, for the piezoelectric element, a sawtooth wave with a period of 32 [s] and a voltage amplitude of 57 [V] is added. The period is faster than drift, and the detection system is within the DC range, and the voltage amplitude is determined by the fact that one peak can be searched with a margin. In this experiment, since the optical isolator could not block the laser, a 1/10 transmission glass was used instead of the optical isolator to ensure stability.

Fig. 3 shows the output of the lock-in amplifier for the TEM01 wave that can be synthesized with the LG beam. This is the role of the error signal as a reference signal. It is possible to obtain the accuracy that can be achieved (the time constant of the lock-in amplifier is 0.3 [s]). This is because the modulation was performed in the micro-range, and the determined time constant and sawtooth wave are not unstable in the detection system.



< 図3 TEM01波の共振周波数周辺の周波数特性の微分波形 >

5 まとめと今後の課題

以上のことから、微分値の検出に際して、 piezoelectric element is 1 [kHz]程度の変調に耐えうる応答性をもっていることが言え、変調幅は、透過ピークの半値全幅の1/10程度で行えば良いといえます。

今後の課題は、ドリフトの特徴を踏まえて、フィードバック系の設計することにあります。本実験中は、レーザーは数カ月にわたって発振させ続け、検出系は、電源を入れて1時間以上放置してから行う事で、初期の激しいドリフトを避けています。フィードバック系もそのように初期のドリフトを避けることとします。

その後のドリフトの様子は、緩やかで大きいドリフトとなります。30~40分以上も向きが変わらない事が殆どで、結果ピーク位置が100[V]以上変わってゆきます。これは、季節など気温の様子などで、必ずしも不変ではありませんが、実験を行っていた時期にはこのような特徴がよくみられ、これに対しても安定でなければなりません。

このようなドリフトに対しては、微分値を、ドリフト追従電圧の加速度のエラーシグナルとして利用することで安定化させられると考えられます。微分値をそのまま piezoelectric element に加える、あるいは積分器を入れて加えることで、安定化させようとするのは、前者は、加えられた電圧が保持できないことから、後者は、時定数が存在する事から、すなわち常に制御開始時を起点に積分する事ができないことから、不可能といえます。

回路としては、制御開始時から、微分値を積算して piezoelectric element に加えられるような回路が挙げられます。このような回路は、アナログ回路では困難で、ADCをつかって、ソフトウェアで積算することが容易であると考えられます。

また、 piezoelectric element にかかる電圧の制限ギリギリにきたときの対処も、設計に盛り込む必要があります。