

1.5 μm 帯の光周波数光源の開発とその評価

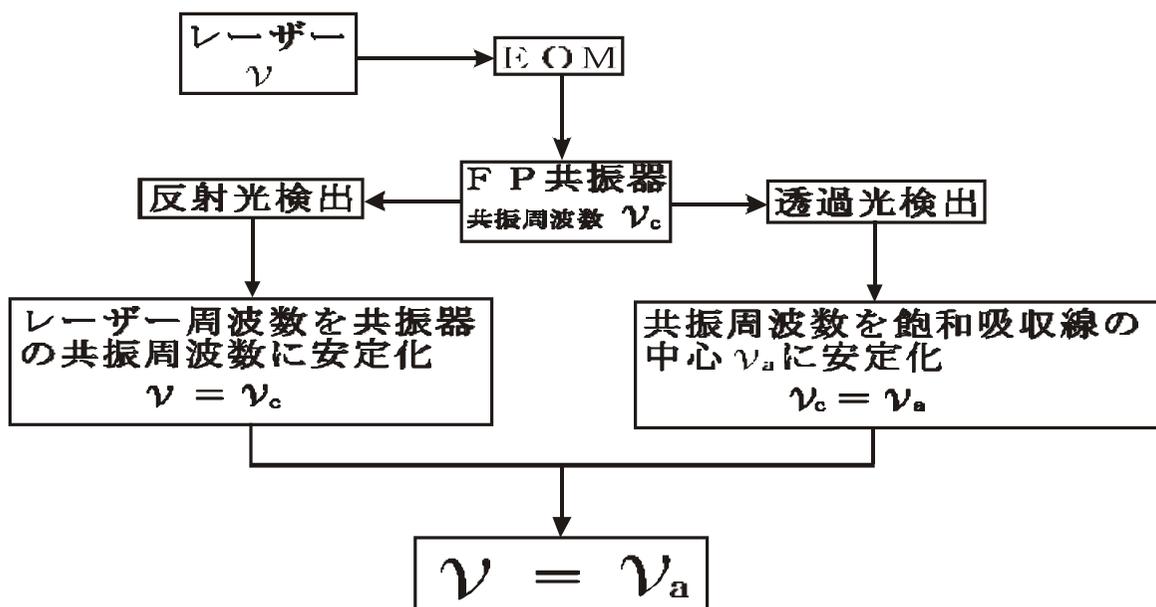
電子物性工学科 中川研究室 三浦 達

背景と目的

映像伝送サービス、高速コンピュータ通信などのマルチメディア通信の広がりに対応して、大容量の情報伝送システムとして1.5 μm 帯の光ファイバー通信における波長多重通信(WDM)の開発が求められている。波長多重通信では $10^{-7} \sim 10^{-8}$ の精度が必要とされている。そこで我々の研究室では、1.5 μm 帯の光ファイバー波長多重通信の各チャンネル周波数設定に必要とされる高精度な光周波数標準の開発、また長さの標準となる波長標準($10^{-9} \sim 10^{-10}$ の精度)の開発を目的として実験を行った。

安定化の方法

アセチレンの光吸収線(飽和吸収線)を用いてレーザーの周波数を安定化する。アセチレンを用いる理由としては、アセチレンは分子構造が対称で、吸収特性が比較的規則正しく、光吸収線の間隔も0.6 nm程度と揃っており、また、 ^{12}C を同位体の ^{13}C に置き換えた C_2H_2 を用いることにより通信用に用いられる波長帯(1.53 ~ 1.565 μm)で光吸収線を得ることができる、という理由があげられる。しかし、アセチレンは吸収が弱く、ごくふつうに使用されるこの波長帯での半導体レーザーの出力では、飽和現象を起こすことはできないため、ファブリー・ペロー共振器を用い、通常の半導体レーザーの出力を増幅させることによりアセチレンの飽和吸収を得ることができる。

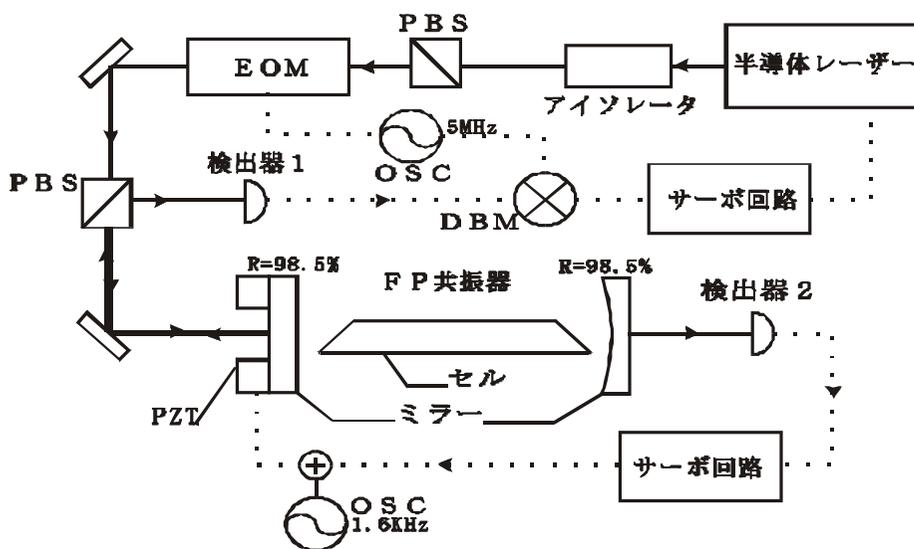


前項に安定化の方法について簡略化したものを示す。

図のように、周波数 ω_0 のレーザー光を電気光学変調器 (EOM) を通して、共振周波数を ω_c のファブリー・ペロー (FP) 共振器に入れる。先ずFP共振器からの反射光を検出することによりレーザー周波数 ω_0 を共振器の共振周波数 ω_c に安定化する ($\omega_0 = \omega_c$)。その上で、次にFP共振器からの透過光を検出することにより共振周波数 ω_c をアセチレンの飽和吸収線の中心の周波数 ω_a に安定化する ($\omega_c = \omega_a$)。このようにして、2つの安定化の手順を踏むことによって最終的にレーザー周波数 ω_0 をアセチレンの飽和吸収線 ω_a に安定化することができる ($\omega_0 = \omega_a$)。

実験装置

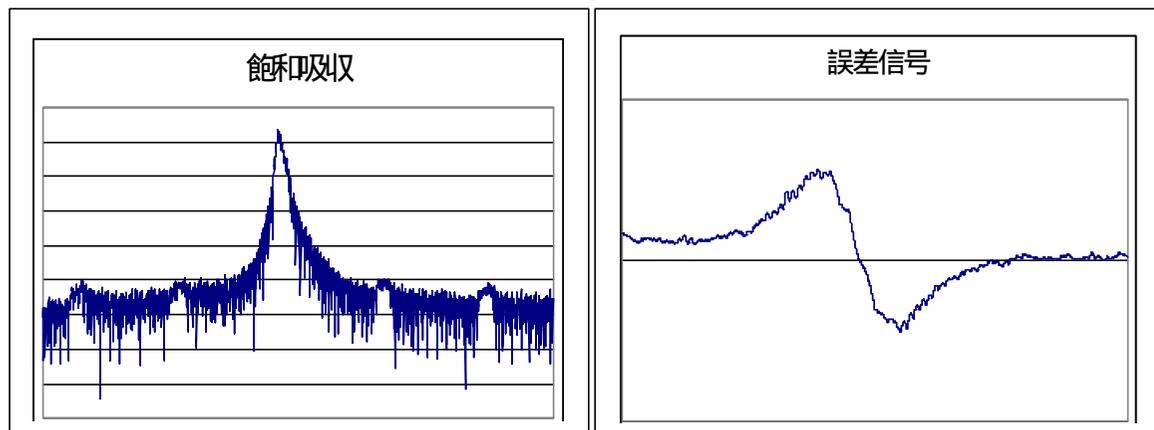
実験装置の概略図を下に示す。



OSC : 発振器 EOM : 電気光学変調器
DBM : ミキサー PBS : 偏光ビームスプリッター

レーザー光はEOMによってサイドバンドがつくられ、FP共振器に向かう。FP共振器の入射側のミラーによって共振器内に入る光と反射される光に分けられる。入射した光は共振器内で共振周波数の定在波をつくる。FP共振器の入射側のミラーで反射された光と、FP共振器からの反射光は共に偏光ビームスプリッター (PBS) によって反射され、検

出器 1 に入る。この信号は E O M の変調周波数と同じ周波数の信号と共に Double Balanced Mixer(DBM)によってヘテロダイン検波され、誤差信号を得る。そしてこの誤差信号をサーボ回路を介してレーザーの駆動電流に負帰還することにより、レーザー周波数を F P 共振器の共振周波数に安定化する。実際に得られた飽和吸収の信号と誤差信号を下に示す。

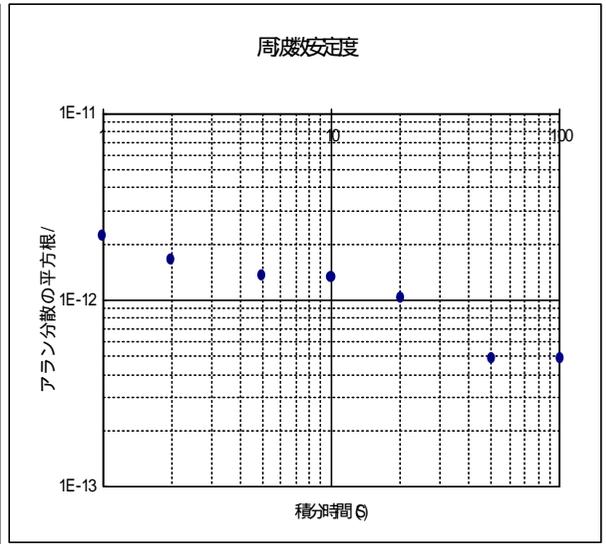
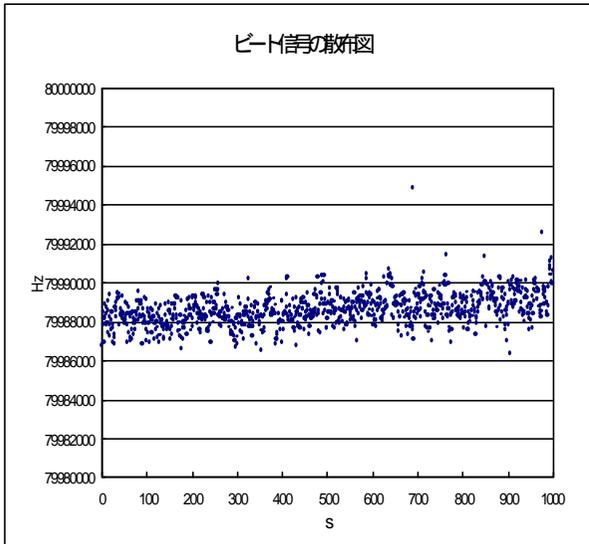


飽和吸収の信号では飽和吸収線の線幅は 2MHz 前後になっている。そして、誤差信号では中心の信号の値が 0 の点でロックをかけている。また、誤差信号にはオフセットがあることがわかる。

そして、このレーザーの安定化の装置を 2 台作り、一方を音響光学変調器 (A O M) を用いて周波数を 8 0 MHz だけシフトさせてビート周波数を測定する。ビートの測定は周波数カウンターを用いて、1 秒間隔でビート周波数を測定し、GP-IB を介してパソコン取り込んだ。

結果

ビート周波数を 1 秒間隔で 1000 秒間測定したときの「ビート信号の散布図」と「周波数安定度」のグラフを次項に示す。



ビート信号の散布図から、測定時間 1000 秒でビート周波数は約 2KHz 以内におさまっている。また、80MHz から約 10KHz のずれがあることがわかる。また周波数の安定度は下の式で表されるアラン分散を用い、レーザーの揺らぎの周波数（アラン分散）とレーザーの周波数の比で評価した。

アラン分散
$$s_y^2(t) = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2 \rangle$$

周波数安定度のグラフからは、安定度は積分時間 100 秒で約 5.0×10^{-13} にまで達していることがわかる。

今後の課題

- ・ 誤差信号の位相調整の性能をよくすること。
- ・ 再現性の向上。

それぞれの対策として

フェーズシフターを改良し位相調整の性能を上げる

誤差信号のオフセットを取り除くことにより、ロックをかける周波

数のずれをなくし、ビートのずれをなくす

ということが考えられる。