

最近の技術から

2周波レーザーの安定化手法と今後の展望

丸目 克彦

横河ヒューレットパッカード(株)電子計測営業本部 〒213 川崎市高津区坂戸 3-2-2

1. ま え が き

レーザーを使った干渉測長方法として、マイケルソンの干渉計が広く知られている。単色光源から出た光は、ビームスプリッターで二つの光に分けられ、一つは可動鏡に、もう一つは固定鏡に向い、それぞれ反射してビームスプリッターに戻る。この時、両反射光が重なり合うことで相互の干渉が生じ、可動鏡が光の1/2波長動くごとに光の明暗が発生する。1回の強度変化で1/2波長の動きがわかることになり、光の波長が正確にわかっているれば、強度変化の回数を数えることでその移動距離が求められる。光の強度変化をセンサーで取り出すために、あるトリガレベルを設定して電気信号へ変換する。ところが、反射光が大気や反射鏡面の悪化などにより、その強度が50%以下になるとトリガレベルに達せずに測定不可能になってしまう。また、光の明暗のみの情報であるために、移動方向はわからない。このようにDCレベルの動作をするために、マイケルソンの干渉計をDC干渉計と呼んでいる。

このような問題点を取り除くために、2周波光源を使って位相差を周波数の変化量として取り出すAC干渉

計方式が高分解能のレーザー干渉計に使われている。AC/DC干渉計どちらの手法でも光の波長をいかに安定して得られるかが、測長データの再現性に相当する。一般には、0.01 ppm以上の波長安定度が必要といわれている。ここでは、2周波ゼーマンレーザー光源の光共振器の長さを温度で制御するサーマルチューニング方式について紹介する。

2. レーザー光源の構造と波長安定化の手法

現在のレーザー光源には波長安定化 He-Ne レーザーを使っており、発振モード TEM₀₀ で動作するように設計してある¹⁾。レーザー発振を行う光共振器にはヒーターがコイル状に巻きつけられている。ヒーターは、光共振器を暖めかつその温度を検出することに使われる。ここに流す電流を制御し、光共振器の温度を一定に保つことで、光共振器の両端の二つの鏡の間隔を一定に保ち、発振するレーザー波長を一定に保つ。

光共振器は永久磁石の筒に収納され、レーザー発振軸方向に磁束がかけられる。632.8 nmの波長のレーザー光はゼーマン効果により別の二つのエネルギーレベルへ遷移し、基底状態へ戻る。このとき発生する二つの周波数の差は約2.8 MHzで、それぞれのレーザー光がλ/4板で垂直および水平偏光がかけられて出力される。このうち約20%が波長安定化回路用にサンプルされる。波長安定化の制御ループには二つあり、第1段階がウォームアップモード、第2段階がオプティカルモードである。

2.1 ウォームアップモード

ウォームアップモードでは、光共振器の温度を動作温度へ近づけることを目的としている。図1にウォームアップモードループのブロック図を示す。光共振器の温度は電圧で検出され、動作温度は相当する規定電圧との差が誤差信号として出力される。誤差信号は増幅されて、ヒ

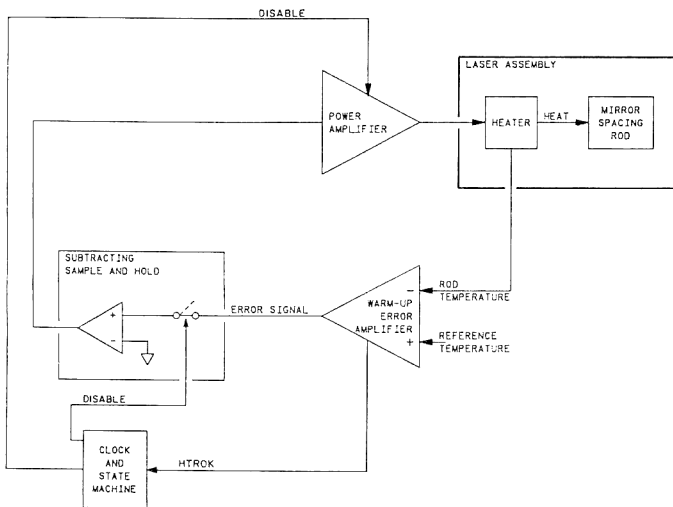


図1 ウォームアップモードブロック図

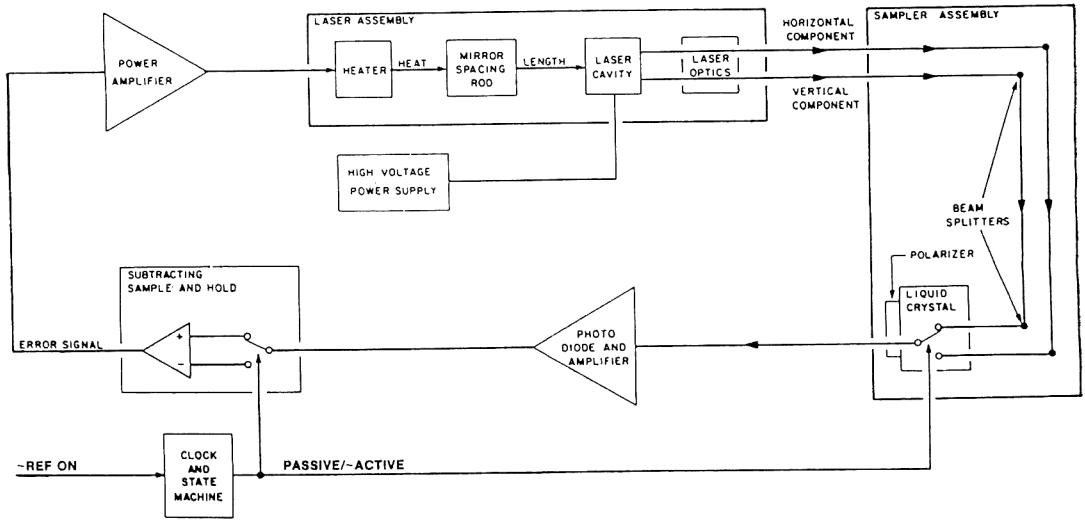


図2 オプティカルモードブロック

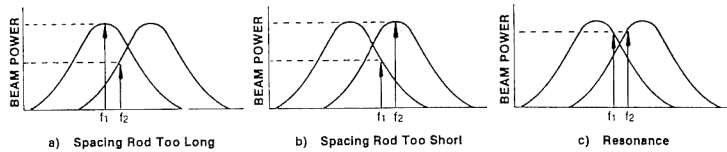


図3 レーザーチューブチューニング特性

ーターを暖める。この動作は、25.6 秒間隔で行われる。誤差信号がゼロになれば光共振器の温度は動作温度に到達したことになり、このウォームアップモードは終了し、オプティカルモードへ移行する。

2.2 オプティカルモード

オプティカルモードでは、ウォームアップモードで動作温度に到達した光共振器の温度をさらに追い込んで、発振周波数を安定させることを目的としている。図2にオプティカルモードループのブロック図を示す。二つの周波数のレーザー光のパワーをそれぞれ2.56秒おきに検出し、その誤差をヒーターアンプへ入力する。レーザー光のゲインカーブはわかっているため、図3に示すように二つの周波数のゲインレベルが等しくなるようにヒーターを制御する²⁾。

この結果、長期周波数安定度(ライフタイム)で、0.01 ppm を実現している。これは、光共振器の長さの1.27 nm の変化、温度の0.003°C に相当する³⁾。

3. 今後の展望

256 MDRAM 量産を実現するために、ステッパなどのX-Y ステージの位置決めを使用されるレーザー干渉計

への高分解能化への要求は非常に高くなっている。

0.01 ppm 以上の波長安定度をもつレーザー光源とサブナノメートル分解能の電気系で256 MDRAM 時代に十分対応できると考えられる。

4. む す び

現在、波長安定化手法や、半導体レーザー、偏波面保持光ファイバ、非線形誤差の除去など、さまざまな研究開発が行われている。これらの技術が使われた使いやすいレーザー干渉計システムがはやい時期に市販されることが期待される。

文 献

- 1) R. H. Grote: "Manufacturing the laser tube," Hewlett Packard J., April 1983, 34 (1983) 17-18.
- 2) Hewlett Packard Co.: 5517B Laser Head Operating and Service Manual (1987) pp. 8-5-8-23.
- 3) R. C. Quenelle and L. J. Wuerz: "A new micro-computer-controlled laser dimensional measurement and analysis system," Hewlett Packard J., April 1983, 34 (1983) 3-13.

(1993年2月1日受理)