

安定性の高いマイクロ波発振器の開発

液体ヘリウムで冷却したサファイアで 10^{-15} の安定度を実現



渡部 謙一

わたべ けんいち

k.watabe@aist.go.jp

計測標準研究部門
時間周波数科 時間標準研究室
研究員
(つくばセンター)

入所以来、高安定マイクロ波発振器の研究・開発に従事してきました。今後は、開発した発振器を国際単位系の「秒」を校正する産総研の一次周波数標準器や、光周波数計測へ応用する研究などを行っていきたく考えています。

関連情報：

● 参考文献

[1] K. Watabe et al., Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 9234.

[2] K. Watabe et al., IEEE Trans. Instrum. Meas. 56 (2007) 632.

● 共同研究者

柳町真也、池上健、大嶋新一（産総研）、John G. Hartnett、Clayton R. Locke（西オーストラリア大学）

安定度の高い発振器

周波数の変動がきわめて小さい高安定な発振器には、水晶発振器、セシウム原子発振器、ルビジウム原子発振器、水素レーザーなどがあります。これらの発振器は、通信・放送や計測における基準信号発生器に使われます。一方、低温に冷却したサファイアを使った発振器は、マイクロ波領域で最も安定な発振器です。この低温サファイア発振器は、計量標準や相対性理論の実験的検証などに利用されています。計量標準への応用としては、国際単位系の「秒」の定義に基づいて1秒を発生する一次周波数標準器と呼ばれる装置の信号源に使うことができます。

液体ヘリウムで冷却したサファイアを使ったマイクロ波発振器

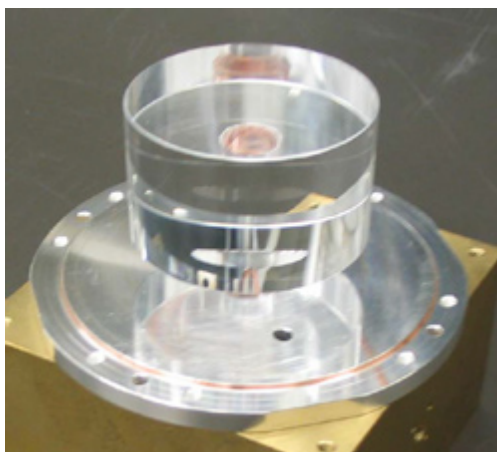
サファイア(写真)は低温にするほど、誘電体損は小さくなります。また、円筒のサファイア共振器を励振する電磁界モードとしてウィスパーリングギャラリーモードを使うと、電磁界エネルギーを共振器の中に効率良く閉じ込めることができます。その結果、電気的なQ値(熱損失係数)が高くなります。また、サファイアによってはその製造過程で混入するわずかな常磁性の不純物の影響で、共振周波数の温度係数の正負が逆になる零温度係数温度が液体ヘリウムの温度付近で現れます。サファイアを零温度係数

温度で温度制御すると、安定度の高い発振器が実現できます。私たちは、西オーストラリア大学と共同で、液体ヘリウムクライオスタットを使って10K(ケルビン)以下まで冷却したサファイアを基にしたマイクロ波発振器を開発してきました。

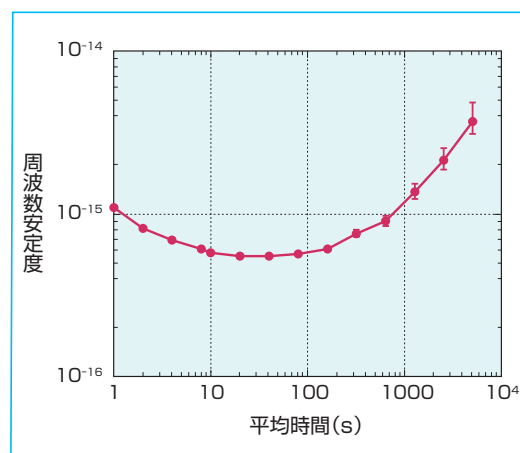
一般に発振器の周波数変動を評価するとき、それ以上に性能が良い発振器と比較する必要があります。私たちが開発した発振器の場合、これを上回る性能の既存の発振器がないため、2台の同等品を製作しました。その結果、周波数安定度が平均時間1秒で 1×10^{-15} (周波数を1秒間平均したときの変動が15桁目)の発振器を開発することに成功しました^[1](グラフ)。これは、定常的に信号を供給できるマイクロ波発振器としては世界最高の性能です。これまで、この発振器は光周波数の計測に使われる光コム基準信号に使われてきました^[2]。

今後の展開

今後、これを産総研の一次周波数標準器の信号源として使い、世界の時刻システムである国際原子時の校正をより高精度に行っていく予定です。また、産総研では将来の「秒」の定義の改訂に向けて光原子時計を開発していますが、そのレーザーを評価する発振器としても使われるでしょう。



直径 5 cm、長さ 3 cm のサファイア単結晶



低温に冷却したサファイアを基にした発振器の周波数安定度