

高精度周波数測定による光励起遠赤外レーザ 共振器のQ値評価の提案

Proposal of the evaluation of cavity Q factor of optically
pumped FIR lasers by precise frequency measurements

○堀 利浩、有賀 規 通信総合研究所

Toshihiro HORI, Tadashi ARUGA Commun. Res. Lab.

Abstract

For improvements of optically pumped FIR lasers, to know the cavity Q factor seems very useful for evaluation of effective field confinement. However, the parameter has not been reported yet, to our knowledge. The frequency characteristics can be measured very precisely by heterodyne mixing. Here, for the measurement of the Q factor, the precise measurement of spectrum bandwidths of signals is proposed, by harmonic mixing with very accurate MMW frequency sources. The influence of cavity Q factor on the spectrum bandwidth is estimated much more than that by the spectrum bandwidth of gain medium and that of MMW signal sources.

1. はじめに

ミリ波、サブミリ波、遠赤外領域で、室温動作かつ連続発振が可能な光励起遠赤外気体レーザは、分子回転による吸収準位が数多く存在するこの周波数領域で有力な計測用光源になるものと期待される。実用上の問題は、レーザ分子を励起するために励起用レーザ（ほとんどの場合 CO₂ レーザが使用される）を必要とするので、励起用レーザとレーザ共振器本体と2つの共振器を必要とし、装置が大型化することである。このため励起効率を高めたり、共振器での閉じ込めを強化して、小型化、大出力化、高効率化が図られている。具体的には、レーザ共振器の入力鏡、出力鏡を閉じ込めを良くするように改善したり ([1])、緩衝ガスを添加して下位準位の緩和を促進したりされてきた ([2])。レーザ共振器の構造は、単純なファブリペロー共振器構造では波長が長く回折により強く閉じ込まらないので、導波路を使って閉じ込めを強化している。

共振器による閉じ込めを強化して、小型化を進めていることから、特性改善の程度を知るために、定量的な目安として共振器の Q 値を知りたいものである。どの程度の改善がなされたのか、どんな共振器構造が適しているのかを評価、判断することができ便利だと考えられる。しかし筆者らが知る限り、光励起遠赤外レーザの共振器の Q 値の報告を見た経験がない。共振器の Q 値を測定すること自体が、特性を改善することと同程度の仕事となり、そこまで行う余裕がないためではないかと考えている。

どんな共振器であれ、必ず共振周波数と共振器の Q 値は存在するはずであり、上記の理由により測定することが望まれる。以前に行った光励起遠赤外レーザの発振周波数高精度測定の実験 (Fig.[1], Fig.[2]) を振り返って考えている時に、発振スペクトルの短期スペクトルバンド幅（今後簡単にバンド幅と呼ぶ）を測定すれば、近似的に共振器の Q 値を測定できたのではないかと考えられたので、本発表で共振器 Q 値の測定の提案と題して発表することにした。

2. 遠赤外気体レーザの周波数特性の高精度測定

光励起遠赤外気体レーザは、各種レーザの中で最も周波数が低いレーザである。発振周波数は、ミリ波帯発振器を通信したものより低いものもあり、マイクロ波、ミリ波帯で培われた技術を使うことにより周波数を非常に精密に測定できる。このためこのレーザを、フェーズロックをかけて周波数のスペクトルバンド幅を非常に狭くした安定なミリ波源出力と高調波周波数ミキシングし、周波数特性を発振中心周波数を主に測定してきた ([3], [4])。以下にその実験内容と結果の概要を説明する。Fig.1 に周波数を測定した時の装置構成を、Fig.2 に、周波数ミキシングによって得られ

た IF 信号をスペクトラムアナライザで見た例を示す。

IF 信号のバンド幅は、光励起遠赤外レーザ発振のバンド幅と通倍されたミリ波信号のバンド幅の影響を受けている。ミリ波信号は国内周波数標準信号を通倍したものにフェーズロックしたものを使用しているので、実際にはミリ波信号のバンド幅の影響はほとんどないと考えてよく ([5])、光励起遠赤外レーザのバンド幅のみが IF 信号に影響していると考えて良い。

3. 共振器の Q 値測定と共振特性評価の提案

2. では、周波数ミキシングによって得られた IF 信号のスペクトルのバンド幅はほとんど光励起遠赤外レーザのバンド幅と考えてよいことを述べた。レーザ発振の発振中心周波数 Ω とバンド幅 $\delta\omega$ は、媒質利得の中心周波数 Ω_g とバンド幅 $\delta\omega_g$ 、共振器の中心周波数 Ω_c とバンド幅 $\delta\omega_c$ とを用いて、式 (1),(2) で与えられることが知られている ([6])。

$$\Omega = \frac{\delta\omega_c}{\delta\omega_g + \delta\omega_c} \Omega_g + \frac{\delta\omega_g}{\delta\omega_g + \delta\omega_c} \Omega_c \quad (1)$$

$$\delta\omega = \frac{\delta\omega_g \delta\omega_c}{\delta\omega_g + \delta\omega_c} \quad (2)$$

媒質利得のバンド幅は、ドップラー広がりや圧力広がりによっていると考えられていて、いずれも数 MHz のオーダーである。この結果、利得のバンド幅もその 2 乗和の平方根で数 MHz となる ([7])。

一方測定される IF 信号のバンド幅は、最大でも 10kHz 程度しかない ([8])、共振器の共振バンド幅が、発振バンド幅をほとんど決めていることがわかる。この様子は、実験結果から式 (1),(2) をプロットすればよりはっきりすると考えられる。以上のことから、IF 信号のスペクトルのバンド幅を kHz 以下程度の精度で測定できれば、共振器の共振バンド幅を測定していることになり、共振器の Q 値を測定できることがわかる。これにより共振特性の評価も可能になる。

4. まとめ

光励起遠赤外レーザではレーザ共振器の Q 値測定結果の報告を聞いたことがない。そこで周波数のスペクトルバンド幅の小さなミリ波源と周波数ミキシングをして周波数を精密測定し、kHz 以内の精度で発振スペクトルのスペクトルバンド幅がわかれば、共振器の Q 値の測定が可能となるものと期待される。この測定は、遠赤外レーザの特性を改善する場合に、共振器の閉じ込め強度を定量的に評価する良い目安になると考えられる。

参考文献

- [1] M.S. Durschlag and T.A. Detemple, Appl. Opt., Vol.20, p.1245, 1981.
- [2] T.Y. Chang and C. Lin, J. Opt. Soc. Am., Vol.66, p.362, 1976.
- [3] 堀, 広本, 通信総合研究所季報, Vol.42, p.397, 1996.
- [4] 堀, 広本, 通信総合研究所季報, Vol.42, p.417, 1996.
- [5] J.L. Stewart, Proc. IRE, Oct., p.1539, 1954.
- [6] 霜田, 矢島, “量子エレクトロニクス (上)”, 裳華房, 1975.
- [7] 島津, “分光化学分析のためのレーザー”, 学会出版センター, 1986.
- [8] L. R. Zink, P. DeNatale, F.S. Pavone, M. Prevedelli, K. M. Evenson and M. Inguscio, J. Mol. Spectr., Vol.143, p.304, 1990.

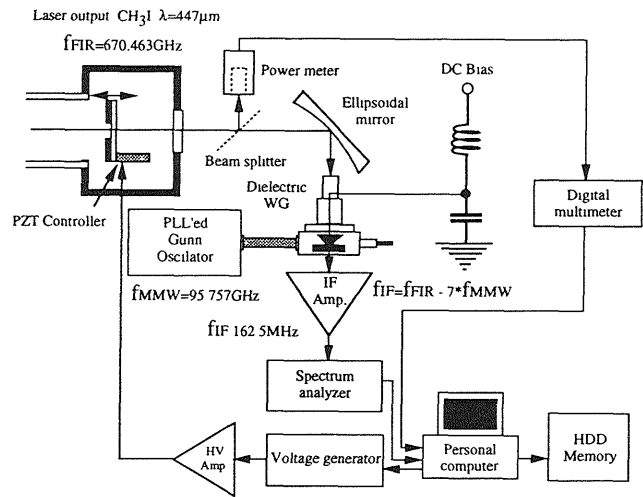


Fig.1 Configurations of the experiments for precise frequency measurements

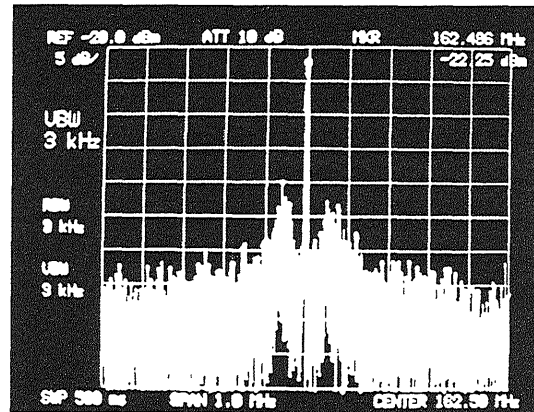


Fig.2 Obtained IF signal by frequency mixing with a millimeter wave signal source