

Infrared Laser Distance Measurement with
Microwave-Frequency Light Modulator.

中山 茂

Shigeru NAKAYAKA,

京都工芸繊維大学 工芸学部

Kyoto Institute of Technology, Faculty of Industrial Arts.

S1 はじめに

数十kmの距離を約 10^{-7} の精度で測定するレーザー測距システムの開発を目標として、光変調式測距法が最適と考え、まず、3GHzの変調器の試作・変調特性の測定をおこなった。

精度 10^{-7} での精密測距には、多波長のレーザーが必要で、さらに、長距離測距には、散乱損失の少ない波長が必要なので、He-Neレーザーの赤色 $0.633\ \mu\text{m}$ と近赤外線 $1.15\ \mu\text{m}$ について調べた。

S2 マイクロ波・光変調器の試作

変調器としては、進行波形があるが、マイクロ波電力を有効に活かすには高Q値の共振器がよい。また、縦形変調と横形変調とがあるが、横形ではアライメントや2個の同じ結晶がわることから、縦形変調がよいと思われる。

結晶によって一定の電場がかかるにはTMの共振モードが必要で、さらにレーザービームの断面で同じ位相差を得るには電場が一定でなくてはならない。そこで、円筒共振器では断面での電場が一様ではないので、ギャップ型のような電場分布を持つre-entrant形共振器をもちいた。電気光学結晶としては縦形変調にちいりる正方晶(42m)系のADP, KDP, KD*Pがあるが、小さな $\tan\delta$ を持つKDP結晶を使う。結晶には損失があるので小さな断面積を持つものがよく、 $4\times 4\text{mm}^2(\text{A})$ のKDP結晶をもちいた。結晶の長さLにはマイクロ波走行時間による限界があり、 $L_{\text{max}} = \lambda_m / 2n = 33\text{mm}$ 以下にある必要があり15mmとした。共振器の励振にはTMモードをおこなせる磁界結合ループをもちいた(Fig. 1)。

変調器を3GHzで動作させるには、共振周波数は、無結晶の場合で4GHzにちいりように設計する。共振周波数 f の理論式は、 $C_0/\epsilon_0 = (\pi r_0^2 - A)/d$,

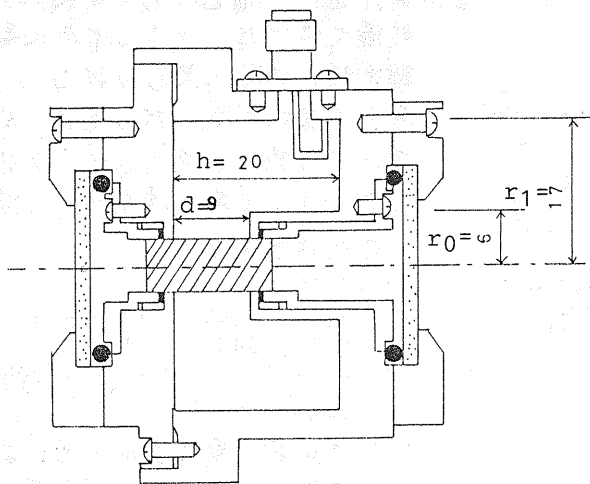


Fig. 1 Microwave light modulator

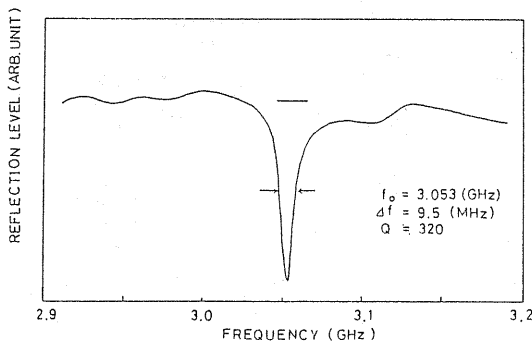


Fig. 2 Resonance curve of the re-entrant cavity.

$$C_1 = 4\epsilon_0 r_0 \ln(e l_m / d), C_2 = \epsilon_{KDP} \epsilon_0 A / d \quad \text{とおくと、}$$

$$f = 30 / 2\pi [h(C_0 + C_1 + C_2) \ln(r_1 / r_0) / 2\pi \epsilon_0]^{1/2}$$

$$= 2.97 \text{ [GHz]}$$

ただし、 $l_m = [(r_0 - r_1)^2 + h^2]^{1/2} / 2$, $\epsilon_{KDP} = 21$ である。また、共振器のQ値は、無結晶時では

$$Q_{ul} = (h / \delta_s) (2 \ln(r_1 / r_0)) / [2 \ln(r_1 / r_0) + h(1/r_1 + 1/r_0)] = 4070$$

となるので、結晶がある時には、

$$Q = (C_0 + C_1 + C_2) / [C_0 \tan \delta + (C_1 + C_2) / Q_{ul}] = 287$$

となる。ただし、 $2\pi\delta_s = \sqrt{\lambda_p / 30}$, $\rho = 2.8 \times 10^{-6}$ ohm cm, $\tan \delta = 0.007$ である。Fig. 2 に示すようにほぼ実験値に等しい。しかし、マイクロ波による結晶への熱効果で周波数が安定するまで、約10分ほどかかる (Ref. [1])。

S3 変調特性の測定

変調器の動作は光学的位相差 Γ によって評価されて、マイクロ波の入力ピーク・パワー P に依存する。一般に、位相差は $\Gamma = \pi V / V_\pi$ (rad) で与えられて、 V は入力電圧、 V_π は結晶と波長とによって異なる半波長電圧である。そこで、 λ カ・パワー P は結晶と共振器で損失されるものと、

$$V = [P / \omega (C_0 \tan \delta + (C_1 + C_2) / Q_{ul})]^{1/2}$$

となるから、各波長に対しては

$$\Gamma \approx 0.09 \sqrt{P} \text{ at } \lambda = 0.633 \mu\text{m}$$

$$\approx 0.04 \sqrt{P} \text{ at } \lambda = 1.15 \mu\text{m}$$

と計算できる。

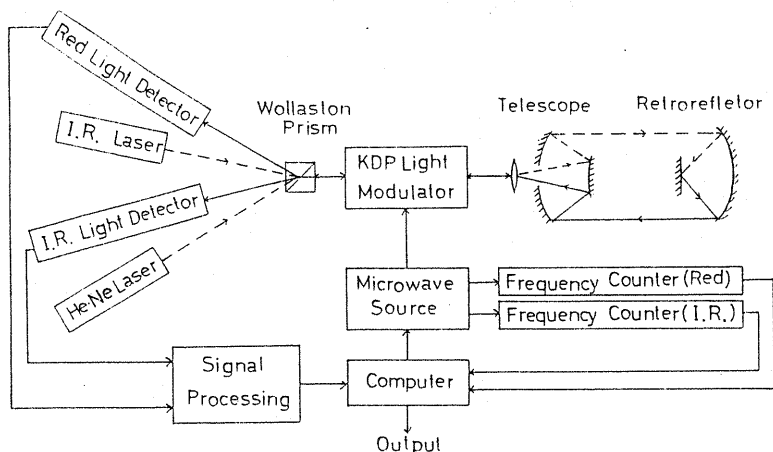


Fig. 4 Two-color distance-measuring instrument.

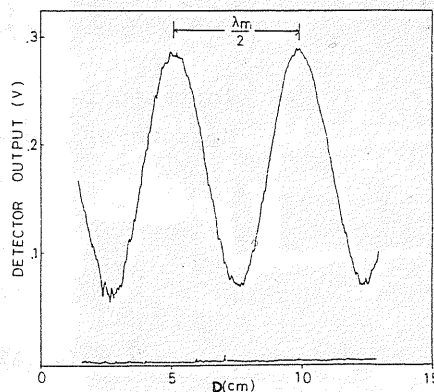


Fig. 3 Light intensity as a function of path length ($\lambda_m = 9.8$ cm).

測定値は波長 $\lambda = 633$ nm に対して、入力 $P = 1$ W で $\Gamma = 0.08$ rad であった。 $P = 20$ W 程度を利用するので、変調度としては35%ほど期待できる。

S4 多波長レーザー測距儀

この変調器を叩かっでFizeauの実験を行った (Fig. 3)。反射板をもちいてるので、半波長周期の波が得られる。

大気の大散性を利用し大気屈折率の変動を消去するため、多波長レーザー測距儀によくもちわれるのは赤 633nm と青 442nm である。しかし、この測距儀では青色光の大きな散乱損失のために約10kmまでの距離しか測定できない。また、この2波長だけでは気温気圧の変動は消去できるが、水蒸気圧による変動は消去できない (Ref. [2]-[3])。

ここで、青色レーザーにかわるものとして、赤外光 1.15 μm を考えてみた (Fig. 4)。乾燥大気に対しては、十分に長距離測距が可能と考えられる。水蒸気を含む大気に対しては、水蒸気による吸収があり、マイクロ波のかわりに水蒸気項の補正に役立つ可能性もある。

References

- [1] K. Fujisawa, IRE Trans, MTT-6 344 (1958).
- [2] L.E. Slater and G.P. Huggett, J. Geophys. Res., 81 6299 (1976).
- [3] 中山 茂, 電気学会・光による移動体の標記技術調査専門委員会資料 (昭和58年6月10日)