

# CO<sub>2</sub> レーザ用ダブルプリズム減衰器

Variable Double Prism Attenuator for CO<sub>2</sub> Lasers

斎藤 成文\*・小関 健\*

Shigebumi SAITO and Takeshi OZEKI

## 1. 緒言

マイクロ波帯, ミリ波帯において, cut off mode の減衰特性を利用した標準リアクタンス可変減衰器が広く用いられている. frustrated total reflection<sup>1)</sup>を用いる Double Prism Attenuator (以下 DPA と略) は光波帯への, この拡張として考えられる. 可視光領域における DPA は, E. R. Schineller<sup>2)</sup>によって, サブミリ波における DPA は, J. W. Dees<sup>3)</sup>によって報告されている. 可視光領域で有用な回転偏光子型減衰器等の形式が, 困難を含む赤外線領域では, DPA は最も有用な可変減衰器の一つとなる可能性がある. しかも, サブミリ波から赤外線領域が DPA 実現の最適波長領域である. それは, 可視光領域での DPA は表面研磨, 機械的安定度に非常に困難があり, ミリ波帯以下では, Quasi Optical に使用するときには回折の影響の大きなことによる<sup>4)</sup>. 赤外線領域 (CO<sub>2</sub> レーザ波長領域) では, 0.1 μ 級電気マイクロメータと同

程度の機械的安定度と表面研磨技術により, 十分な動作特性を有する DPA の実現が可能である.

今回試作した DPA の動作は次のとおりである.

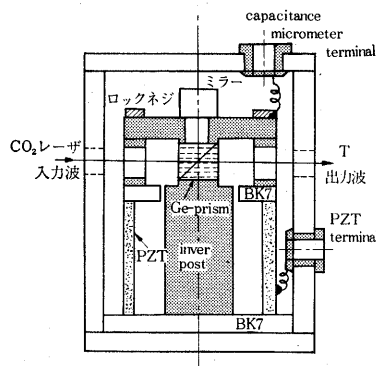


図1 試作 CO<sub>2</sub> レーザ用 DPA  
Ge の double prism gap (C) を PZT 圧電素子により可変にし, この間隙の形成する静電容量を利用した capacitance micrometer により間隔  $d$  を実測して, 減衰量を決定する. 構造は図1に示すとおりで, 入射角  $\phi=45^\circ$ , Ge 屈折率  $n=4.0$  における間隙  $d$  と減衰量  $(ATT)_{dB}$  との関係は図2となる. すなわち, 減衰パラメータ  $\mu \gg 1$  では, 次式に示すごとく, 間隙  $d$  に対して減衰量  $(ATT)_{dB}$  は線形な変化をする.

$$(ATT)_{dB} \doteq 40\pi (d/\lambda) \sqrt{n^2 \sin^2 \phi - 1} \log_{10} e + 10 \log(K_1/4)$$

$$\text{減衰パラメータ } \mu \doteq 2\pi (d/\lambda) \sqrt{n^2 \sin^2 \phi - 1}$$

$$\text{ここに } K_1 \doteq (n^2 - 1)^2 / 4n^2 \cos^2 \phi (n^2 \sin^2 \phi - 1) \\ \lambda \doteq \text{真空中光波長}$$

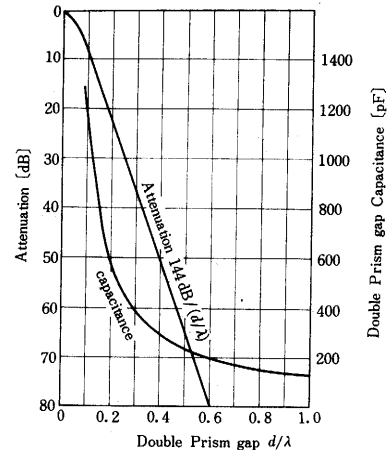


図2 DPA 減衰量と double prism gap の関係および対応する capacitance micrometer 指示

ここでは, TE 波 (全反射における入射面に光波境界が, 垂直な波) について述べることにする.

この報告は DPA の誤差因子の検討及び試作 DPA の動作特性に関する報告である.

## 2. 誤差因子の検討

(1) 間隙測定誤差: Ge double prism の形式する静電容量より double prism 間隙  $d$  を決定する過程に生ずる誤差因子には次のものがある. すなわち, (a) 浮遊容量, 接合容量の補正 (b) fringing field capacitance の変化 (c) double prism 平行度変動である. これらの中で, (a) は double prism 間隙の十分大なる条件での静電容量をもって浮遊容量とすることで補正する. (b) は double prism 間隙は数 μ であり, 断面寸法は  $10^3$  以上大きく無視できる. (c) の double prism 平行度不良に基づく間隙誤差  $\Delta d_0$  は次式で評価される.

$$\frac{\Delta d_0}{d_0} \doteq \frac{\Delta C}{C_0} \doteq \frac{1}{3} \left( \frac{a \tan \theta}{d_0} \right)^2 + \frac{1}{5} \left( \frac{a \tan \theta}{d_0} \right)^4$$

ここに,  $d_0$  平均間隙, 平行度不良角  $\theta$ , 断面寸法  $a$  である. 平行度不良による誤差は図3に示すごとく,  $\theta \leq 3 \times 10^{-5}$  rad で変動誤差 0.1 dB 以下が実現できる.

(2) 入射角変動誤差: 入射角  $\phi$  の変動誤差は, DPA の開口角 (入射角変動許容量) を決定する. 入射角変動  $\Delta \phi = 10^{-3}$  rad に対する入射角変動誤差を入射角  $\phi$  に対して図示すると図4となる. したがって, 入射角変動誤差からも, 入射角  $\phi = 45^\circ$  付近が最適である. また入射角変動誤差は, 減衰量とともに増大する. 入射角変動誤差許容量 1 dB における開口角は  $2.8^\circ$ , 0.1 dB 誤差級

\* 東京大学生産技術研究所 第3部

研究速報

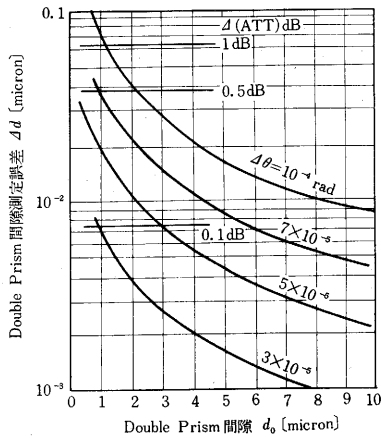


図 3 double prism 間隙測定誤差

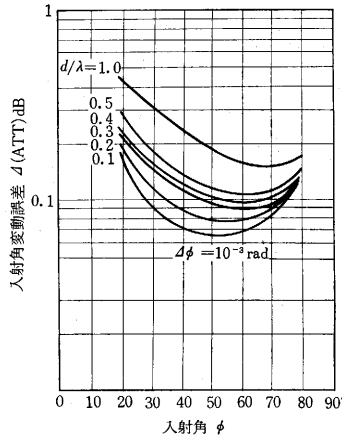


図 4 入射角変動誤差

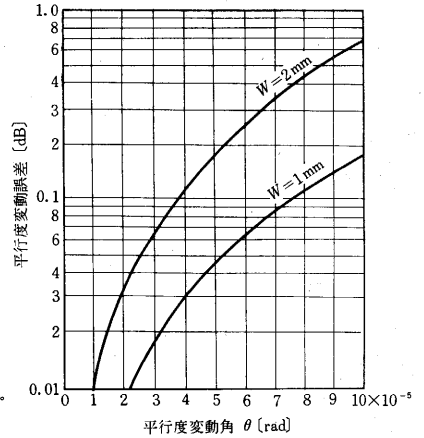


図 5 平行度変動誤差  
(減衰パラメータの空間的变化にもつづく誤差で 2W はレーザービーム径である)

では開口角17分程度となる。

(3) 平行度変動誤差: double prism 間隙をはさむ平行境界の平行度変動は前述の誤差以外に, 減衰パラメータ  $\mu$  が空間的に変化することによる誤差を生ずる。この平行度変動誤差  $\Delta(ATT)_{dB}$  は,

$$\Delta(ATT)_{dB} \approx -\frac{20}{3} \Delta^2 - \frac{4}{3} \Delta^4 \text{ (dB)}$$

で与えられる。ここに

$\Delta \equiv 2\pi/\lambda W \tan \theta \sqrt{n^2 \sin^2 \phi - 1}$ ,  $2W$  はレーザービーム径である。平行度変動角  $\theta$  に対して  $\Delta(ATT)_{dB}$  を図示すると図 5 となり,  $\theta = 3 \times 10^{-5}$  rad で平行度変動誤差は 0.1 dB 以下となる。

(4) その他の誤差因子: その他

の誤差因子として散乱誤差, 温度および機械的ドリフトがある。double prism の表面および結晶の光学的不均一性に基づく散乱は, double prism air gap において, cut off でない mode を生じ, DPA の最大減衰量を制限する。詳細な議論は省略するが, 80 dB 程度の最大減衰量は可能と推定される。また温度, 機械的ドリフトは, 原理的には, double prism 間隙の実測により回避できるが, 実用上の対策が必要である。

3. 試作 DPA と実験結果

CO<sub>2</sub> レーザ用 DPA における機械構造上の問題点を調べる意味で, 図 1 に示す様な簡単な構造の DPA を試作した。構造の要点は次のとおりである。

1. Ge double prism: 比抵抗 40Ωcm 程度の単結晶で一辺 10 mm 表面研磨精度  $\lambda/20$  程度 ( $\lambda=10.6\mu$ )
2. PZT: PZT-7 の円筒で外径 38 mmφ, 長さ 30

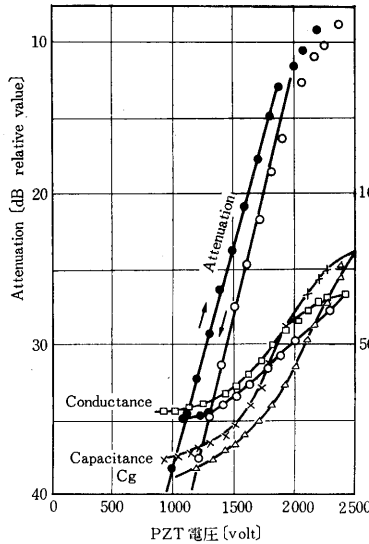


図 6 DPA hysteresis

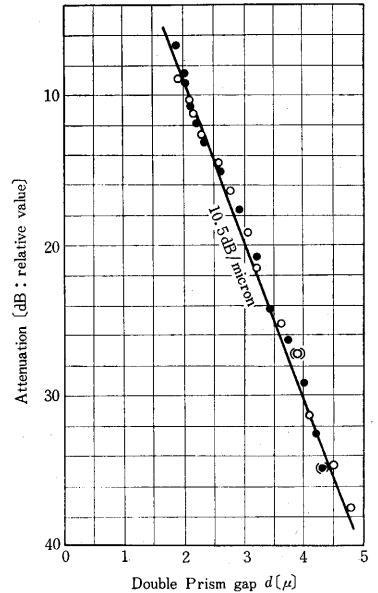


図 7 DPA 減衰定数  
double prism gap は静電容量から決定

mm, 肉厚 2.5 mm, 電極は円筒内外面に Ag 焼付加工。

3. 熱膨張補償は考慮していない。
  4. 接着材にセメダイン C およびカナダバルサムを用いた(機械的安定度不良)。
  5. Capacitance micrometer 用電極は, Ge prism 側面に銀ペースト(Doupoint 4817)にて形成し, 静電容量を Capacitance bridge で測定する
- CO<sub>2</sub> レーザ(出力 2 Watts)を用い, 試作した DPA の動作特性を求めた。PZT 電圧に対する減衰量 (ATT)<sub>dB</sub>, 静電容量を図示すると図 6 となる。すなわち, PZT 電圧に対して減衰量は, hysteresis を示す。この hysteresis

の原因は、機械的ドリフトによるもので、PZT 圧電率の非線形の寄与は小さいと考えられる。浮遊容量を補正した静電容量より求めた double prism 間隙に対して減衰量を図示すると図 7 となり、hysteresis は消去され、減衰量バラッキは 0.5 dB 以下となる。減衰定数は 10.5 dB/micron で、理論値 13.6 dB/micron との差異は、double prism 間隙平行度の系統的变化に帰因すると推定される。温度制御のない実験室雰囲気での温度特性および機械的ドリフトを含んだ double prism 間隙変動は 0.04 micron/分であった。

#### 4. 結 論

CO<sub>2</sub> レーザ用 DPA (Double Prism Attenuator) における誤差因子と試作結果について報告した。

誤差因子の検討から

1. Double Prism 間隙平行度は、静電容量から Double Prism 間隙を求める過程と減衰パラメータ空間分布の影響と同程度に誤差に寄与する。平行度変動角  $\Delta\theta \leq 3 \times 10^{-5}$  rad で誤差 0.1 dB 以下となる。
2. 散乱誤差により DPA の最大減衰量が決まり、dynamic range は 70 dB 程度と予想される。
3. 入射角変動許容角および使い易さから入射角  $\phi \approx$

45° が最適である。

試作結果から

1. CO<sub>2</sub> レーザ用 DPA において問題となる機械的安定度不十分に基づく hysteresis は、Ge Double Prism の形成する Capacitance micrometer により Double Prism 間隙を測定することにより解消される。
2. 試作 DPA 程度の機械精度でも、減衰パラメータの再現性は良好である。

以上より結論として、0.1  $\mu$  級電気マイクロメータと同程度の機械的安定度の実現により 0.1 dB 誤差の DPA も十分可能性があると言える。DPA は CO<sub>2</sub> レーザ用可変減衰器として最も有用なものの一つとなる可能性を支持する基本的実験結果が得られたと信ずる。

(1968年10月25日受理)

- 文献 1) 久保田広:「応用光学」岩波全書  
 2) E. R. Schineller: "Variable optical double prism attenuator" Symposium on Quasi Optics p. 157 (1964)  
 3) J. W. Dees: The Microwave Journal, p. 48, September (1966)  
 4) 島田禎督: "ダブルプリズム円形 TE<sub>01</sub> モード可変減衰器" 電通誌 50, 1595 (1967)

(p. 34 よりつづく)

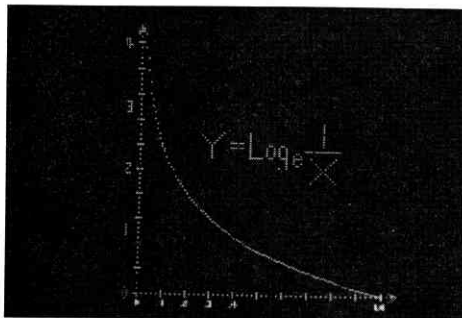


図 3

試験的なプログラムを作成し、FACOM 270-10 から

ディスプレイ装置への情報伝達の実験を行なったときのグラフの例を図 3 に示す。512 点全部を送るために要する時間は約 1 秒である。

#### 結 言

以上述べたごとくこの装置は簡単な構成のディスプレイ装置を目的として試作したものである。現在実験中の装置ではとくに CRT の部分の性能が低いが、これを大型の高速、高精度のものと取替え、各回路の性能、グラフの質、表示方法などについて研究を進めたい。さらに、このようなディスプレイ装置の応用分野とそれにとり必要な図形エレメントの発生回路その他の改善方法について検討中である。(1968 年 10 月 29 日受理)

