



Title	光パルスの位置測定装置
Author(s)	榊原, 勝昭; Sakakibara, Katsuaki; 金谷, 幸次 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 41, 187-198
Issue Date	1966-08-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40798">https://hdl.handle.net/2115/40798</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_187-198.pdf



# 光パルスの位置測定装置

榊原勝昭・金谷幸次・児玉信之

藤木茂夫・鈴木道雄

(昭和41年5月6日受理)

## A New Technique for Measurement of a Position of Pulsatory Light Beam by Using Some Optical Attenuator

Katsuaki SAKAKIBARA, Kouji KANAYA, Nobuyuki KODAMA  
Shigeo FUJIKI and Michio SUZUKI

### Abstract

A new technique for the precise measurement of a position of pulsatory light beam by using a triangular-type optical attenuator has been found. The principal arrangement is shown in figure 6, and the apparatus in our experiments is presented in the photograph VI.

The optical attenuator converts the variations of light beam position into intensity variations. These intensity variations can be memorized electrically by memory synchroscope through a multiplier phototube. Consequently the position of pulsatory optical beam can be readily observed.

A triangular cell filled with a solution of cupric sulfate was used in our experiments as a converting attenuator. Our apparatus can accurately detect the displacement of 2/9 mm, and the data is shown in figure 10 and photograph IX.

The necessary pulse width of light in order to detect its position is determined by the sweep time of memory synchroscope, and so generally it is one micro second.

### 目 次

1. 緒 言 .....	188
2. 目 的 .....	188
3. 実 験 .....	189
3.1 光源 (ruby laser) の特性 .....	189
• 構 造 .....	189
• 持 続 時 間 .....	190
• 出 力 .....	190
3.2 光パルス位置測定装置 .....	193
• 原 理 .....	193
• 減 衰 物 質 .....	194
4. 結 論 .....	197

## 1. 緒 言

laser, 特に ruby laser の単色性, 高出力及び理想的な平面波であると言う特徴は, 光を用いて (直接・間接を問わず) 自然界から情報を得ようとする殆んど全ての実験にとって極めて魅力的である。これは, その様な実験と情報を繋ぐ理論の大多数が, 用いる光源を単色, 平面波と仮定している事から当然な事である。即ち, 単色, 平面波である光は光源一般としての理想であるばかりでなく, ruby laser の第3の特徴である高出力と言う事は, その散乱光を利用しようとする実験に於いて特に力を発揮する事が出来る。なぜなら, 散乱光を利用する場合実験の対象となり得る範囲は, 装置の検出能力及び光源の出力によって制約されるが, 光学実験で極めて popular な光源の一つである mercury lamp (50 W, 4358 Å) に比較して  $10^4$  倍もの出力を持つ ruby laser でも割合 simple な装置であり, 且つ取り扱いも簡単であるからである。

このように laser の利点のみを列挙して来ると, 既存の光源の全てに laser がすぐにも置き替えられそうに思えるが, それがすぐには実現され得ない理由がいくつかある。一つは ruby laser の出力が不安定である事であり, 一つはそれがパルス状である事等である。ruby laser 等が既存の光源に較べて本質的に優れている点を有しながら, 既存の光源に取って替る事を押し止めているそのパル性に打ち勝つ手段の simple ではあるが有力な一つを我々は研究した。研究の動機は, ruby laser をパルス状のまま光散乱光度計の光源に利用しようとした事にあるが, 研究の結果は, ruby laser に限らず, パルス状の光一般に対しても, 又, 連続光に対しても利用出来るものとなった。

## 2. 目 的

光を用いる実験では殆んど常に, その波長に対する屈折率が問題とされる。又, 屈折率の測定は, 光ビームの位置の測定に還元される。この光ビームの位置測定に関する従来の方法はパルス状の光に対しては, 屈折率を知るに充分なこの位置の測定が思うにまかせず ruby laser 等の本質的に優秀な光源の潜在的活用範囲の一分野へ通ずる扉を閉ざす一因となっている。我々の実験目的は, 屈折率等を測定する過程でなくてはならない光路の検出 (光ビームの位置測定) をパルス状の光に対しても可能にする装置を作り上げる事であった。

我々の用いた原理を従来のそれと較べながら, 一通り簡単に説明する。連続光に対する位置測定に普通用いられる方法を第1図に示す。即ち, 光路の前面で, 光電子増倍管等の光電効果を有するものを仲介として電流計と対をなす光学スリットを移動し, メーターのふれが最大となる点を見つけ, その点をマイクロメーターで読み取ると言う方法である。この方法は持続時間が数ミリ second と云った光パルスに対しては全く順備がなされていない。

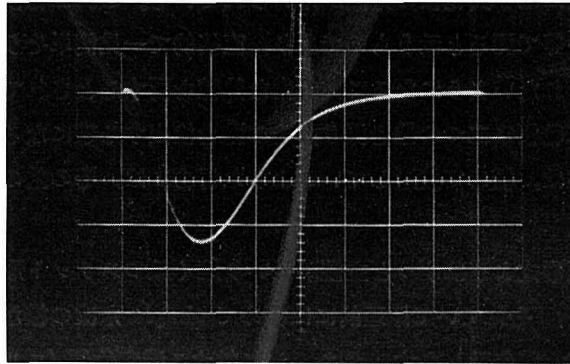
先ずメーターの機械的な mechanism が追従するには少なくとも数秒の持続時間が必要で



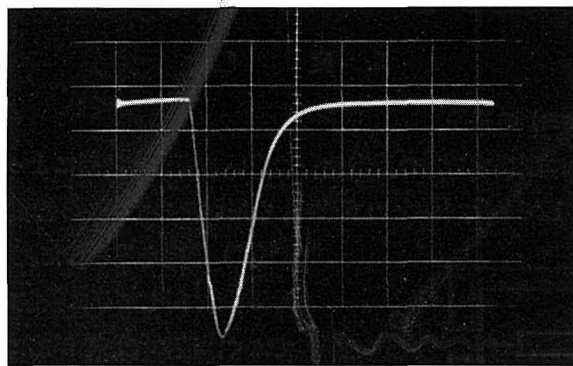
charge した約 600 joule の energy を与える。すると 5 ミリ second 前後の時間で放電する。さて、第 2 図は laser head の縦断面を示めしているが、横断面は楕円になっており、全体として楕円筒になっており、それを鏡張りにしてある。楕円の一つの焦点に Xe-flash lamp を置いてあるので、それから出た光は直接又は四面の鏡で反射されて他の焦点にある ruby rod に入っている仕掛けになっているのである。

### 持続時間

これは Xe-flash lamp の持続時間よりも多少短くなり、3 ミリ second 程度である。これは flash lamp の場合と同様に、光を光電子増倍管に受け、その出力を memory scope に記録させる事により測定した。



**Phht. I** Pattern of discharge by Xe-flash lamp. One section of horizontal axis equals  $5 \times 10^{-4}$  second.



**Phot. II** Pattern of radiation by ruby laser. One section of horizontal axis equals  $5 \times 10^{-4}$  second. Sudden departure distinguishes this from the discharge pattern of Xe-flash lamp.

### 出力

この測定は次のように行なった。先ず普通の連続光を光電子増倍管を仲介に memory scope に入れその入力を読み取る。次に光電子増倍管を置いた位置でのその光の照度を求め、

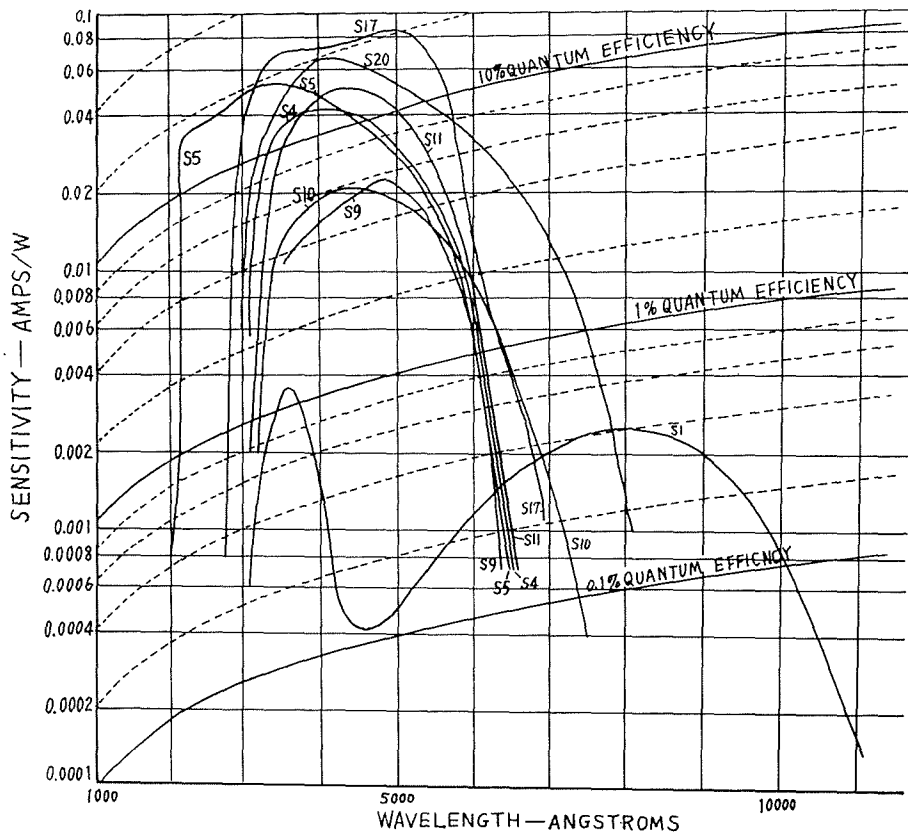
それと光電子増倍管の受光面の面積とから、光電子増倍管に入った絶対光量を求めた。即ち、連続光を用いて一つの波長の光に対する光電子増倍管の平均陽極感度を求めたわけである。光電子増倍管の波長間の相対感度は第3図の如く与えられている。従って、laserの光電子増倍管を通じての memory scope への入力が判明すれば、この laser の絶対光量が判るわけである。これらの事情は下の式によった。

$$L = I \times S \quad (1)$$

$L$  は光電子増倍管への絶対入射光量で単位は  $\ell m$  であり、 $I$  は光電子増倍管の受光面での照度であり単位は  $\ell m/cm^2$  であり、 $S$  は光電子増倍管の受光面の面積で単位は  $cm^2$  である。又波長  $\lambda_1$  の光に対する光電子増倍管の平均陽極感度  $A(\lambda_1)$  は

$$A(\lambda_1) = \frac{V(\lambda_1)}{L(\lambda_1) \Omega} \quad (2)$$

で与えられる。この時  $V$  は memory scope への入力であり単位は volt であり、 $\Omega$  は光電子増倍管の負荷抵抗である。 $\lambda_1$  を基準にした  $\lambda_2$  の相対感度を  $k$  とすれば



第3図 Response curves of photocathode surfaces. Our multiplier photo-tube has the curve of S 10.

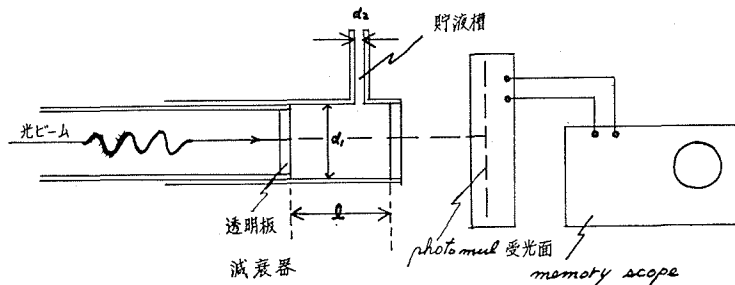
$$A(\lambda_2) = kA(\lambda_1) \quad (3)$$

なる式で、 $\lambda_2$  の波長に対する光電子増倍管の平均陽極感度は与えられる。更に、 $\lambda_2$  の波長に対する (2) と同様な式を作り、結局、光電子増倍管への  $\lambda_2$  の絶対入射光量  $L(\lambda_2)$  は

$$L(\lambda_2) = \frac{1}{k} \cdot \frac{V(\lambda_2)}{V(\lambda_1)} \cdot L(\lambda_1) = \frac{S}{k} \cdot \frac{V(\lambda_2)}{V(\lambda_1)} \cdot I(\lambda_1) \quad (4)$$

で示めされる事となる。

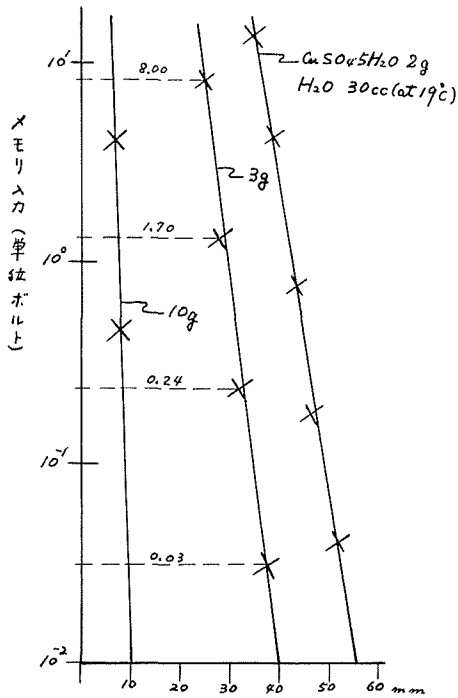
laser beam の断面積は光電子増倍管の受光面面積よりも小さいので、光電子増倍管への入射絶対光量が、laser の発振全光量となる。従って、laser 光での memory scope への入力が判かれば、その発振全光量を知る事が出来るが、光電子増倍管の直線感度領域がメモリー入りに換算して 0.01 volt から 30 volt 程度であるので直接受光するには laser が強すぎる。そこで次のような補外法により、光電子増倍管で直接受光した場合の出力 (=memory scope 入力) 相当量を求めた。これは強度  $L_0$  なる光が減衰係数  $d$  なる媒質を  $l$  だけ通過するとその強度は  $L = L_0 e^{-dl}$  に落ち、通過距離を横軸に、その強度を縦軸に片対数グラフに描けば  $L - L_1 = (L_1 - L_2) (l - l_1) / (l_1 - l_2)$  なる直線になると云う理屈に従うものである(但し、 $l_1, l_2, L_1$  及び  $L_2$  は実測値である)。減衰媒質としては  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  の水溶液を用い、装置としては第 4 図に示めたものを用いた。



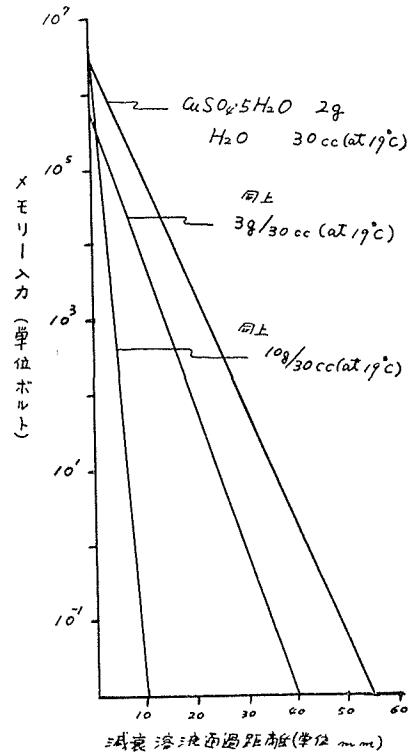
第 4 図

種々の濃度に対する  $l$  と  $L$  の関係の実測値を第 5 図の (1) で示めし、これを補外したものを第 5 図の (2) で示めた。この様にして、laser の光電子増倍管を仲介とした memory scope の入力が  $10^6$  volt の order である事を知った。laser の出力は本来の実験と間接的な関係を持つだけであるが、ruby laser 等の出力測定に関する最良の方法と云ったものが確立されていないようなので、我々の用いた方法をあえて詳しく述べた。

$10^6$  volt と云う値と (4) 式とから光電子増倍管への絶対入射量 (=laser の発振全光量) は約  $3 \text{ } \ell\text{m}$  である事が判かる。更に、laser beam の断面を半径  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$  (=ruby rod の断面半径) として照度を計算すると、約  $1.5 \times 10^5 \text{ lux}$  となり、この beam は半径  $5 \times 10^{-4} \text{ m}$  まで簡単に絞られるので、約  $4 \times 10^8 \text{ lux}$  までの光が簡単に得られるのである。これは 50 W の mercury lamp の  $4358 \text{ \AA}$  を普通の手段で取り出し  $5 \times 10^{-4} \text{ m}$  まで絞った beam の数万倍の照度に当



第5図(1) 硫酸銅溶液による ruby-laser の減衰の様子



第5図(2) 補外法による ruby-laser 出力

たり、パルスである事が差支えなければこんなに強い光が ruby laser によって簡単に得られるのである。我々の研究結果は、或る点でパルスである事を差支えないものにする事が出来るのである。

### 3.2 光パルス位置測定装置

#### 原 理

これは第6図に示めたものである。今知りたいのは光路 b の光路 a からのずれである。前に述べた通り、従来の方法は図中の減衰器の代りにスリットを配し、それをマイクロメーターで移動すると云うものであり、これは、光が連続であるぶんには差支えない。これはパルスに対しては無効なので、我々はスリットの代りに3角形の減衰物質を置いたのである。そうすると光路が違えば、減衰物質を通過する距離が異なり、通過後の光には、強度の差が生ずるのである。光は減衰器の入射面の何処かに当たれば良いのだから、スリット形式の時のように、光路を探す目的でスリットの移動と光の発振と云う手順を多数回繰り返す必要がないのである。

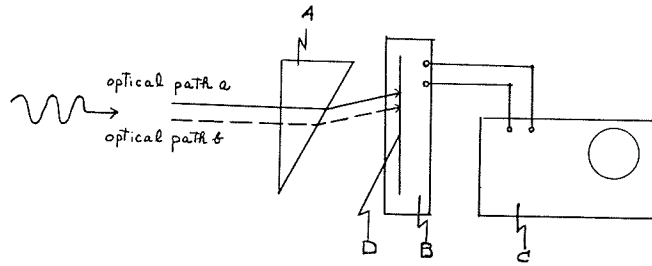


Fig. 6. The principle scheme of the position measurement of pulsatory optical beam

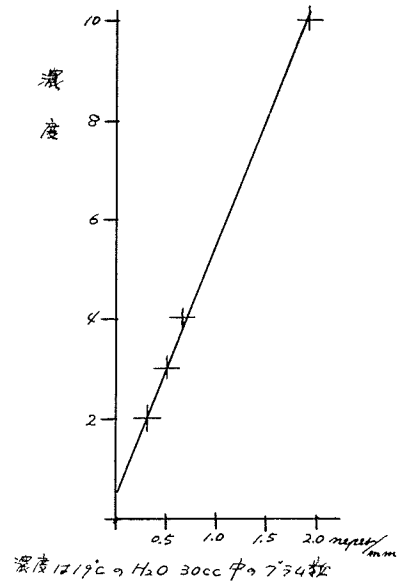
- A. converting attenuator      C. memory synchroscope  
 B. multiplier photo-tube      D. area with photoelectric effect

### 減衰物質

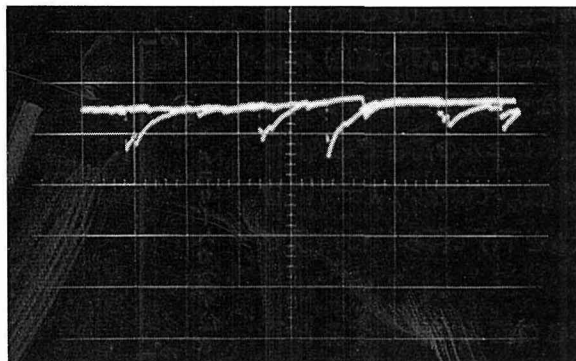
常温で液体であるので簡単に形が変えられ、且つ手近な材料として硫酸銅の水溶液を用いたわけであるが、この濃度と減衰係数の関係は第7図の如く実験的に得た。これは第4図の装置でピストンを出し入れする事によって、貯液槽の長さ  $l$  を種々変化させ、減衰物質の厚さと透過光の強度の関係を各々の濃度で求め、第5図の(1)の如きグラフを描き、各々の直線の勾配を求め、その勾配を plot したのが第7図である。

我々の研究の動機が光散乱光度計の光源として ruby laser を利用しようとした点にあったので、位置検出の精度は 0.1 mm を一応の目安とした。光散乱光度計は、高分子を媒質とする稀薄溶液からの散乱光の強度は、他の factor が同じならばその分子量に比例すると云う原理に従うものであり、散乱光から分子量を求めようと云う装置である。これには、高分子稀薄溶液の用いた光に対する屈折率が必要であり、散乱光に対する検出部の感度等から測定可能な分子量に制約が加わるが、それでも位置検出には 0.1 mm までの精度が通常要求されるのである。

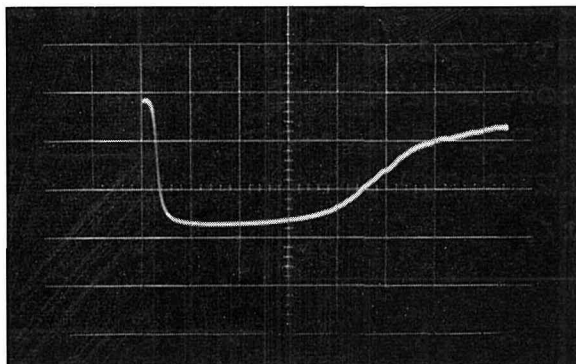
我々の装置でのこの精度は、減衰物質の減衰係数と memory scope の螢光面の分解能によって制約を受けるので、この点に関する検討を必要とした。memory scope の機能としては、100 volt から  $10^{-3}$  volt 程度まで観測可能であるが、光電子増倍管の暗電流の存在及び飽和電流の存在の為に実際は 40 volt 程度から 0.01 volt 程度までが観測可能であるに過ぎない。このように光電子増倍管を memory scope の前段に接続する memory scope の機能は若干低下してしまうが、我々の目的にはこの低下した機能でも充分である。暗電流及び飽和電流の状態を写真 III 及び写真 IV に示めた。さて、Braun



第7図 濃度と減衰定数の関係



**Phot. III** Pattern of dark current of multiplier photo-tube at  $10^3$  volt. One section of horizontal axis equals  $5 \times 10^{-4}$  seconds and the other equals  $5 \times 10^{-2}$  volt.



**Phot. IV** Pattern of saturating current of multiplier photo-tube at  $10^3$  volt. One section of vertical axis equals 20 volt.

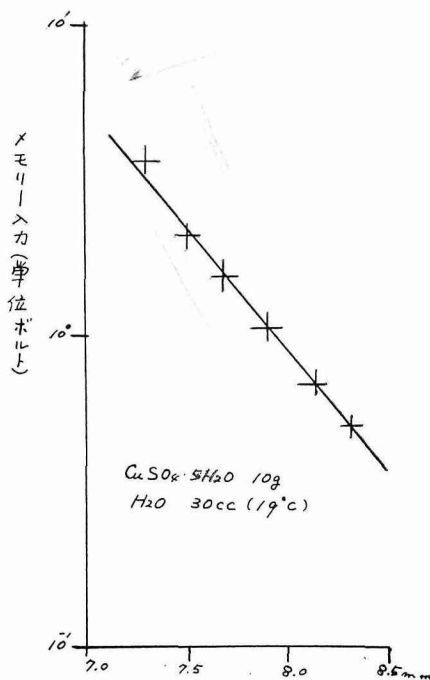
tube の螢光面上での解像度はせいぜい 1 mm 程度であり、これらの事を考慮して、濃度 10 g (19°C で 30 cc の  $H_2O$  に溶けている硫酸銅のグラム数) の溶液の厚さを 0.2 mm ずつ変えて、その時の光電子増倍管からの出力を memory scope で撮したものが写真 V であり、それをグラフにしたのが第 8 図である。写真 V から判るように、減衰物質の厚さが 0.1 mm 変化しただけでもその提出が可能である。

従って、例えば第 6 図に示めた如く、減衰物質を入射面と終端面とが  $\pi/4$  になるように置けば、0.1 mm までの光パルスの位置測定が可能であるとの見通しとなったのである。

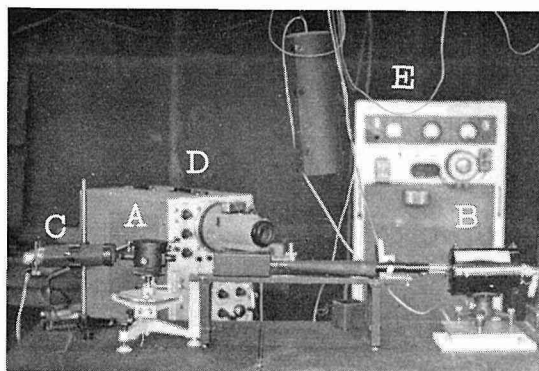
写真 V は memory scope を同一感度にして置いたものであり、この感度を変えたり、光源の強度を適当に変えたり更に種々の減衰係数の物質を選らばば 0.1 mm よりもずっと小さな差まで検出出来る。さて我々が作った実際の光パルス位置測定装置は写真 VI に示めす様なものである。写真 VI の箱 A の中に写真 VII で示めす 3 角形のセルが入っており、その中に硫酸銅溶液を満たしてある。

B の方の 3 角セルに濃度 10 g (19°C で 30 cc の  $H_2O$  に溶けている  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  の重量) の硫酸銅溶液を満たして行なった測定の結果が第 9 図と写真 IIX である。これはセルの高さで 13.4 mm から始まって、高さで (液厚ではない) 1 mm 間隔で 10.4 mm までビームを下げ得られた結果である。

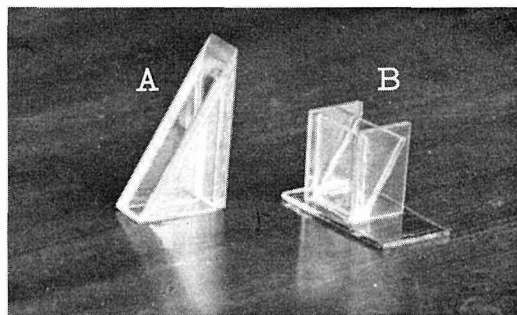
これは溶液の厚さの変化に換算すると約 8 mm から 6 mm まで変化した事に相当している。この写真は溶液の厚さに従って透過光の強度が exponentially に変化している事をきれいにみせている点の特徴である。又、セルの高さで 10.4 mm から 2/9 mm 間隔でビームの入射点を下げつつ 8 点をプロットしたのが第 10 図と写真 IX である。このへんの数字が整数でない理由はビームを上下さず機器の機能と減衰器を構成しているセルが 3 角形である事による。



第 8 図



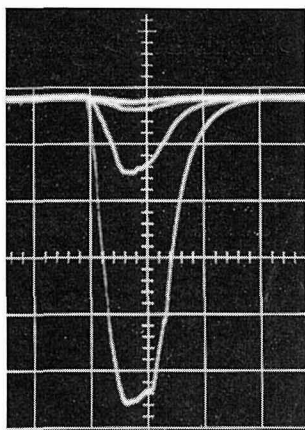
Phat. VI Apparatus for precise measurement of position of pulsatory light beam.



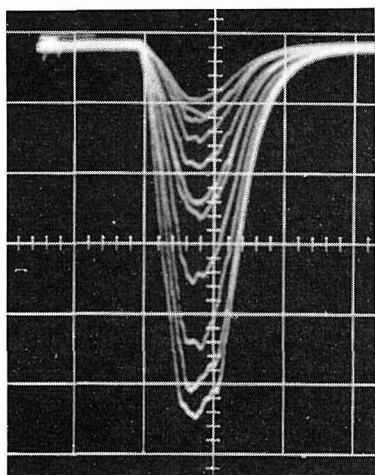
Phat. VII Triangular-type cell used as a converting attenuator with the solution of cupric sulfate.

第 10 図は第 9 図の部分とよく一致し、又、第 9 図は予備的実験で得られた結果である第 8 図に驚く程よく一致している。

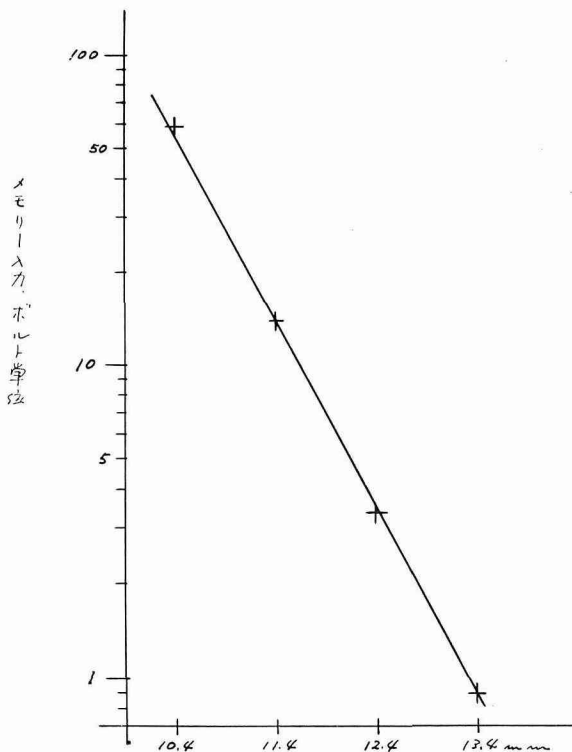
持続時間 3 ミリ second, 出力  $l$  m の ruby laser の位置測定が 2/9 mm まで可能である事が実験的にわかった。この限界は、減衰物質の減衰係数や減衰曲線のどの部分を用いるか等により決まるものであり、これらを適当にえらびさえすれば、これよりずっと細い検出が可能であると考えられる。又、検出に必要な光パルスの持続時間は memory scope の機能により定



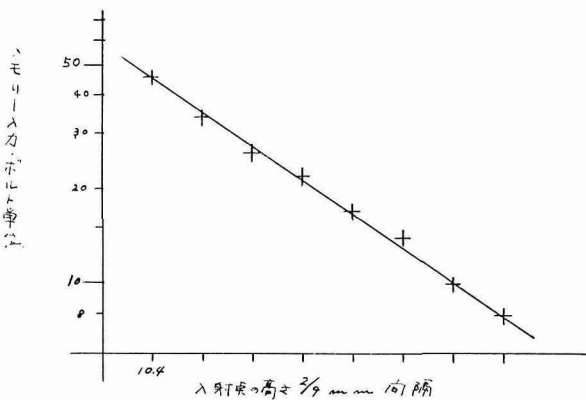
Phot. VIII General relation between position and intensity of optical beam.



Phot. IX Detailed relation between position and intensity of optical beam.



第9図 3角セルによる減衰器の全体的傾向  
横軸は入射点の高さである



第10図

まり、一般に約  $10^{-6}$  second あれば充分である。

#### 4. 結 論

laser によって従来とは異質な強力な光源が実現されてから、harmonic wave の強度から高分子の大きさについての情報を得ようと云う提案や、分子量や形と云った静的な属性につい

ての情報の外に溶液中での分子の振舞と云った動的な属性についての情報とつながる Doppler shift の研究等が話題となり始めた。これらの実験装置は従来の光散乱光度計の改良によっても実現され得ると考えられるが、その時必要とされる強力な光源としては、目下の所 ruby laser が種々の意味で手近ではないかと考えられる。これをパルス状態で用いて、これに対する屈折率を測定するに先ず充分と云える程度にまで位置の測定がなされた事は、ruby laser を更に一歩上記の様な新たな実験装置への利用に近づけたのではないかと思う。我々の考案、研究した装置の一つの応用例を挙げて結論に代えた。

#### 参 考 文 献

- 1) Physical Chemistry of Macromolecules. Charles Tanford.
- 2) The Journal of Chemical Physics (1964). Scattering of Optical Harmonics by Macromolecules. Richard Bersohn.
- 3) Journal of Polymer Science. vol. ISSUE 174. The Low Angle Light Scattering of Polytetrafluoroethylene Films. Marion B. Rhodes and Richard S. Stein.
- 4) The Journal of Chemical Physics. Doppler Shift in Light Scattering. R. Pecora.
- 5) 昭和 40 年度電気四学会連合全国大会講演予講集 418. レーザー光の減衰率測定.
- 6) 同上, 419. レーザー光の位置測定.  
(5)・(6) 共に北海道大学工学部 鈴木道雄・榑原勝昭・兎玉信之・金谷幸次.
- 7) 化学の領域, 増刊 70 号, 光散乱実験法.