

ADP 光変調器

鳥飼 安生・藤森 聡雄・李 孝雄

は し が き

電気的入力に応じて光の強さを变化させる光変調器は、フィルム録音を始め、高速度シャッタ、変調光源、ストロボスコープ、光線電話、距離測定器等種々の用途があるが、その型式も下記のようにいろいろあり、それぞれ特徴を有している。

1. 機械的振動体によるもの
2. 放電管によるもの
3. 超音波を用いるもの
4. ケルセルを用いるもの
5. ADP (KDP) を用いるもの

以上のうち、100 kc 以上の高い周波数の変調器として適当なものは後の3者であるが、超音波によるものは用いる光学系からの制約により周波数は約 1Mc 以上に限られ、またケルセルは普通ニトロベンゼン液が用いられるが、これは有毒なガスを発生し、強電場の下で分解するなどの欠点があり容易に用いられない。

最近 ADP の電気光学的性質を利用した光変調器が注目され、わが国でもその開拓を目的とする研究委員会が設けられて活発な研究発表が行われている。当研究室では最近主として高い周波数の振動現象の解析に用いる ADP 光変調器の開拓研究を行って来たが、いろいろ面白い現象も見つけれ、新しい応用面も開かれるようになった。本稿では ADP 光変調器の原理と応用について最近の結果を交えてご紹介したい。

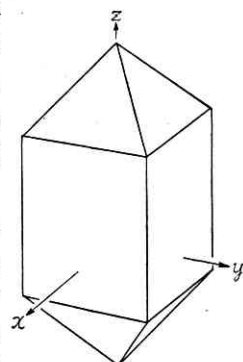
ADP 単結晶とその性質

ADP (Ammonium Dihydrogen Phosphate, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) は、1935 年スイスの Busch と Scherrer¹⁾ によりはじめて作られ研究された人工結晶の一つで、はじめはその圧

電効果が注目され、特に戦時中から戦後にかけて、水中音響機器材料として水晶、ロッセル塩に代るものとして量産され広く用いられたが、その後その電気光学的効果の大きいことが見つけられてから、光学の応用の面で分野が次第に広まって来ている。

物性論的には、ADP は広い意味での強誘電的結晶でその中でも特に KDP グループに属して KDP (KH_2PO_4) と同型の結晶形を持ち、キューリー点 (-125°C) の上下でそれぞれ常誘電性、反強誘電性を示す。結晶は水溶液から温度降下法または恒温法により育成されるが (第 1 図)、結晶水を含んでないので風解せず潮解も起しにくい。結晶形はキューリー点以上で正方晶系の $V_d = D_{2d}$

(または 42 m) に属し、外形は第 2 図のごとくで、 z 軸が 4 回回映軸、 x 軸、 y 軸共に 2 回対称軸となる。この対称性からこの結晶に関する諸定数のテンソル成分を書くと、誘電率、屈折率などの 2 階のテンソル、圧電定数、電気光学定数などの 3 階のテンソル、弾性定数、光弾性定数などの 4 階のテンソルについてそれぞれ次のようになる。



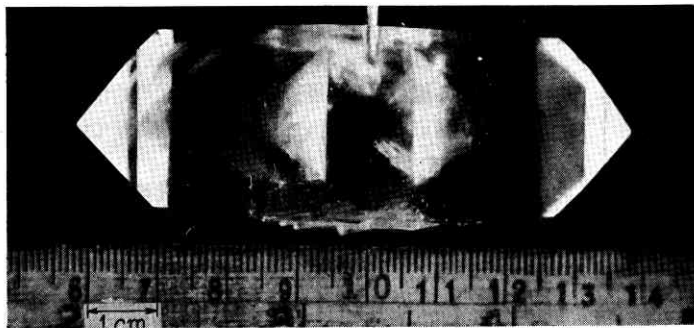
第 2 図 ADP, KDP の結晶形

$$\begin{pmatrix} \epsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{pmatrix} \quad (\text{誘電率 } \epsilon \text{ の例}) \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{36} \end{pmatrix} \quad (\text{圧電定数 } d \text{ の例}) \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{pmatrix} \quad (\text{弾性定数 } c \text{ の例}) \quad (3)$$

KDP は ADP と同時に発見され研究された人工結晶で、ADP と同様に水溶液から育成され、結晶は同形で特に電気光学的性質は ADP よりすぐれているが、わが国では ADP ほど



第 1 図 結 晶 図

生産されてはいない。以下の議論は KDP にも適用できるものであり、第 1 表の定数表には ADP, KDP の両者を並べて書いた。

ADP 結晶の電気光学的性質

一般に結晶内の屈折率は方向によって異なり屈折率楕円体と呼ばれる一つの楕円体であらわされる。その主軸を x, y, z , 主軸方向の屈折率をそれぞれ n_x, n_y, n_z とすると、屈折率楕円体は、

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1 \quad (4)$$

となる。

この結晶に外から電場を加えると、屈折率楕円体の主軸の長さとその方向が変化して次の形となる。

$$\left(\frac{1}{n_x^2} + a_1\right)x^2 + \left(\frac{1}{n_y^2} + a_2\right)y^2 + \left(\frac{1}{n_z^2} + a_3\right)z^2 + 2a_4yz + 2a_5zx + 2a_6xy = 1 \quad (5)$$

点対称のない結晶では、上式の a_i は電場の一次関数となり²⁾、

$$a_i = \sum_{k=1}^3 r_{ik} E_k \quad (6)$$

で与えられる。ここに、 E_k は電場の成分、 r_{ik} は結晶の電気光学定数である。

ADP のようなピエゾ結晶の場合には、電場 E_k による結晶の歪みにもとづく複屈折効果が純電気的効果に加わるので、(6)式の r_{ik} は free な結晶 (r_{ik}) と clamp された結晶 (r_{ik}') とで異なり、両者の間に次の関係がある。

$$r_{ik} = r_{ik}' + \sum_{m=1}^6 p_{im} d_{km} \quad (7)$$

ここに、 p_{im}, d_{km} はそれぞれ光弾性定数および圧電定数である。

さて ADP 結晶は室温では正方晶系 V_d の対称をもち、 z 軸を光軸とする単軸結晶であるので、(4), (5)式の n_x, n_y, n_z は

$$n_x = n_y = n_o, \quad n_z = n_e \quad (8)$$

(n_o, n_e はそれぞれ常光線および異常光線に対する屈折率) となり、さらに (2) で与えられる対称性と (5), (6) から、電場の下における屈折率楕円体は^{3) 4)}

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{41}(E_x yz + E_y zx) + 2r_{63}E_z xy = 1 \quad (9)$$

と書かれる。

光変調器としてよく用いられるのは、 z 軸に垂直に切り出した z -cut 板の両面に電圧を加えて E_z のみある場合で、(9) 式で $E_x = E_y = 0$ とおくと、

$$\frac{x^2 + y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{63}E_z xy = 1 \quad (10)$$

となり、 E_z の印加により結晶は双軸となり、屈折率楕円体の主軸は 45° 回転し、主軸の大きさは電場と共に直線的に変化する。すなわち、主軸の方向を ξ, η, ζ とすると、 ζ 軸は z 軸と一致し、 ξ, η 方向は x, y 方向を二

等分する方向で、 ξ, η, ζ を用いてあらわすと (10) は次のようになる。

$$\frac{\xi^2}{n_o^2}(1 + n_o^2 r_{63} E_z) + \frac{\eta^2}{n_o^2}(1 - n_o^2 r_{63} E_z) + \frac{\zeta^2}{n_e^2} = 1 \quad (11)$$

これから、 $n_o^2 r_{63} E_z \ll 1$ とすると、 ξ, η, ζ 方向の屈折率 n_ξ, n_η, n_ζ は

$$\begin{cases} n_\xi = n_o - \frac{1}{2} n_o^2 r_{63} E_z \\ n_\eta = n_o + \frac{1}{2} n_o^2 r_{63} E_z \\ n_\zeta = n_e \end{cases} \quad (12)$$

となる。

厚さ d の z -cut 板の両面に透明電極をはり電圧 V をかけた時に z 方向の光に対する位相差 Γ_z は

$$\begin{aligned} \Gamma_z &= \frac{2\pi}{\lambda} d(n_\eta - n_\xi) \quad (\lambda \text{ は光の波長}) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} d n_o^3 r_{63} E_z = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{63} V \end{aligned} \quad (13)$$

となって、位相差 Γ_z は結晶の厚さ d に関係なく、その両面に加えた電圧 V に比例するという重要な関係が得られる。

また位相差 Γ_z は (13) 式より結晶の電気光学定数 r_{63} に比例するが、この定数は先に述べた通り結晶が free であるか、clamp されているかによって異なり、両者の間の関係は (7) 式から (2), (3) を参照して、

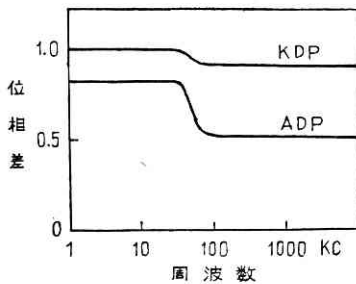
$$r_{63} = r_{63}' + p_{66} d_{36} \quad (14)$$

となる⁵⁾。実験的には、加える電圧の周波数を変えて行った場合、結晶の形状、大きさで定まる弾性的な共振周波数以下と以上とでの定数の差としてあらわれ(第 3 図)、共振周波数より低い周波数では結晶は free と考えられて、(14) 式の第 2 項が加わるが、高い周波数では piezo-electric な変形が加えた電圧の変化に追従し得ないため定数は r_{63}' のみとなると考えられる。しかし、後でも述べるのとおり、結晶の形状を適当にして高周波の弾性変形を起り易いようにすると、(14) 式第 2 項の効果も現われてくる。

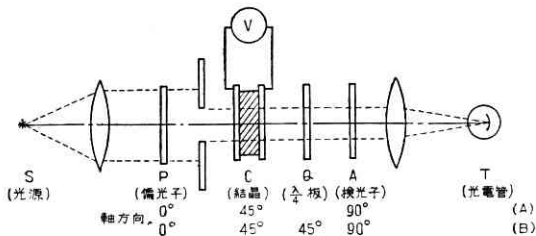
第 1 表 電気光学効果に関する諸定数

	A D P	K D P
密度 (g/cm ³)	1.805	2.338
誘電率 ϵ_z	14.0	21.3
圧電定数 d_{36} (cm/statvolt)	148×10^{-8}	69.6×10^{-8}
屈折率 n_o	1.5254	1.5095
n_e	1.4798	1.4684
電気光学定数 r_{63} (cm/statvolt) ($\lambda = 546 \text{ m}\mu, 22^\circ\text{C}$)	-2.54×10^{-7}	-3.15×10^{-7}
光弾性定数 p_{66}	-0.078	-0.071

第 1 表に電気光学の効果に関する諸定数を ADP と



第3図 位相差 Γ_z の周波数特性
2.5 cm 平方の結晶につき KDP の
低周波値を1とした相対値で示す。
第3図は Γ_z の周波数特性
を KDP の低周波値を1とする相対値で示した。



第4図 ADP 光変調器光学系

ADP による光変調

第4図(A)に示した光学系で、結晶の呈する位相差を Γ としたときの透過光量を I とすると次式が成立つ。

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\Gamma}{2} \quad (15)$$

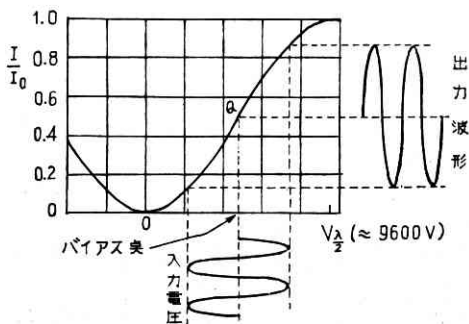
ここに I_0 は Γ が π の奇数倍のときの I の値で I の最大値である。

(15) の Γ に (13) の Γ_z を代入すると、

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\pi n_o^3 r_{63} V}{\lambda} \quad (16)$$

が得られ、結晶の両面にはりつけた透明電極間の電圧と透過光量との関係を与える式となる。

(15)および(16)式より、透過光量と結晶の位相差または結晶に加えた電圧との関係を 546 m μ の単色光に対して図示すると、ADP z-cut で free な結晶の場合第5図



第5図 ADP 光変調器動作曲線

図には光学的バイアスを加えたときの動作を示している

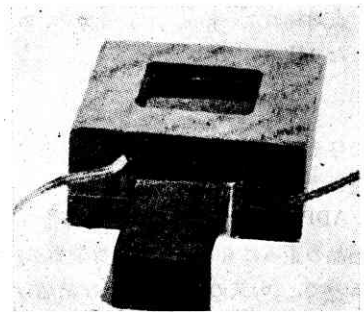
のようになる。

第4図(B)のように、結晶の後に4分の1波長板を軸方向を45°にしておくと、同図(A)で結晶の位相差が $\frac{\pi}{2}$ だけ増えたことと同等になり、第5図で動作点が0点からQ点に移る。これを光学的 bias と称し、光変調は図に示したように linear となる。rms 2,000 V の交番電圧を加えた場合、変調率は約80%であるのに対して、歪み率は3%程度であるので、0~2,000 V にわたって linear な無歪変調ができる。

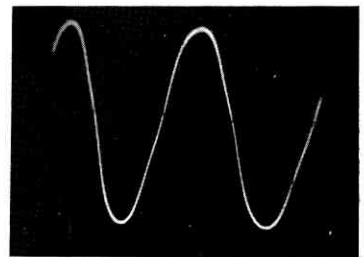
高周波ストロボスコープ

第4図(B)の光学系を用いれば結晶に加えた電圧と同じ周波数で光変調を行わせることができ、その周波数特性は第3図に示した曲線に従って、結晶の共振周波数(普通 30 KC 前後)までは平坦であるので、フィルム録音や光線電話用の音声周波数光変調器が容易に得られる。

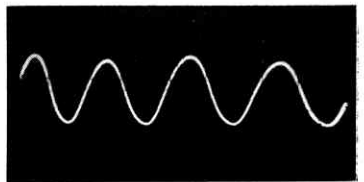
第6図は米国の Carpenter⁶⁾ が発表したフィルム録音用の光変調素子であって、撮影機の中に組みこまれるようになっている。変調光を光電管で受けブラウン管上に描くと第7図に示した像となり、4分の1波長板(第4図Q)を除くと、像は(a)から(b)に移って第5図での動作点の移動を裏付けている。



第6図 ADP 光変調素子(Carpenter)



(a) 4分の1波長板を入れる



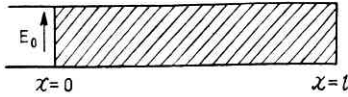
(b) 4分の1波長板を除く
第7図 光変調器動作例
50 cycle, 1,000 volt

上の場合、結晶にはりつける透明電極としてはネサガラスが効果的に用いられ何の支障もない。ネサガラス

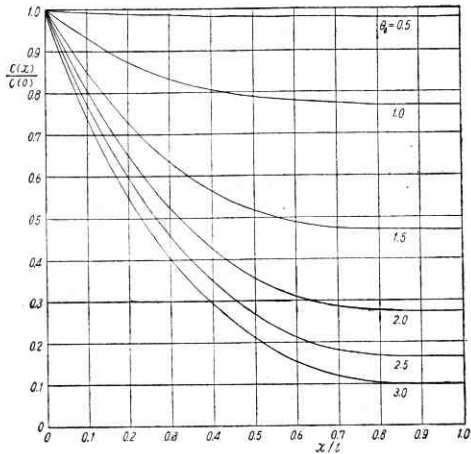
は硝子板の上に酸化錫の薄膜が焼き付けられたもので、可視領域で透過率がよく(85~95%)、しかも電気抵抗が1 cm² 当り数百 Ω ~数千 Ω という性質を持ち、最近流行の光増幅器用として develop されたものであるが、現在への応用にも非常に有用である。しかしその抵抗値は金属箔などに比べるとやはり大に過ぎるので、次に述べる

高周波領域での使用にはいろいろと注意を要する。

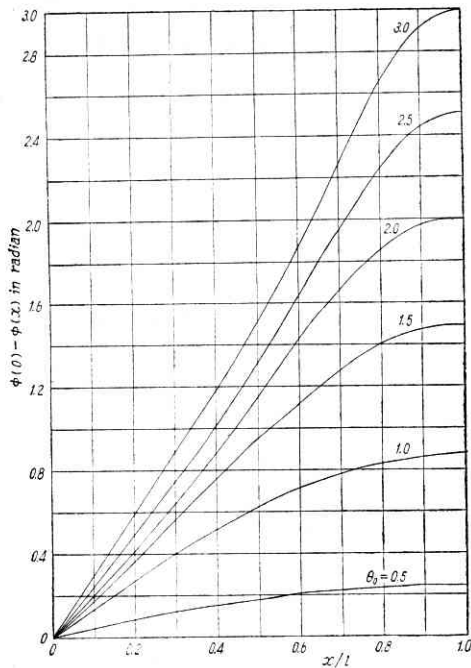
われわれは 1Mc 前後の高周波用ストロボスコープに ADP を応用すべく研究を進めて来たが、ある広さに亘って一様な明るさであるためには、透明電極としてネサガラスを用いるほかない。ネサガラスの抵抗値から生ずる支障のうち第一に考えられるのは、ADP 内の電圧分布の問題である。ネサガラスと ADP の組み合わせを抵抗、



第 8 図 ネサガラスと ADP の伝送回路



(a)



(b)

第 9 図 抵抗容量伝送回路の電圧振幅分布 (a) と位相分布 (b)

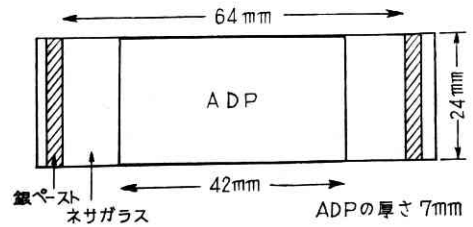
容量よりなる伝送回路と考え(第 8 図)、その一端に正弦波電圧 E_0 を加えたときの端から x の点における電圧 $E(x)$ を計算すると、

$$E(x) = E_0 \frac{\cosh \theta_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right) (1+j)}{\cosh \theta_0 (1+j)} \quad (17)$$

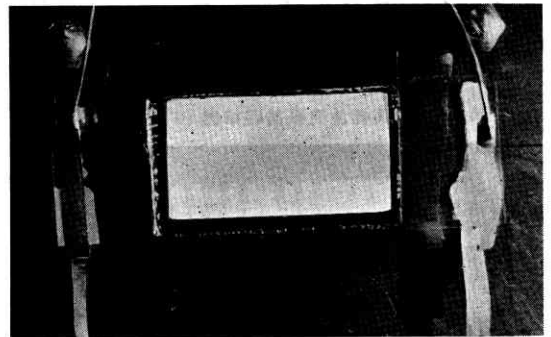
となる。ただし、 l は ADP の長さ、 $\theta_0 = \sqrt{\omega RC/2}$ 、 ω は角周波数、 R はネサガラスの抵抗 (両面の和)、 C は ADP の容量である。

$E(x)/E_0$ の振幅および位相分布を θ_0 を parameter としてあらわすと第 9 図 (a), (b) となる。図から $\theta_0 < 0.5$ ならば電圧分布は結晶全般に亘って一様であると見て差支えない。

試料として小林理研製のものから $24 \text{ mm} \times 42 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ の 90° z-cut の矩形板を切り出して両面を光学的に研磨し、科研管研究室でネサガラスをはりつけてもらった。寸法図と外観は第 10 図 (a), (b) の通りである。ネ

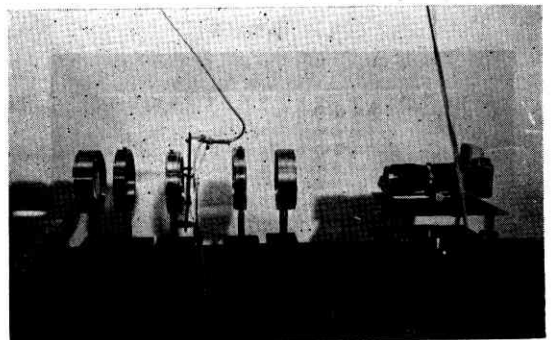


(a)



(b)

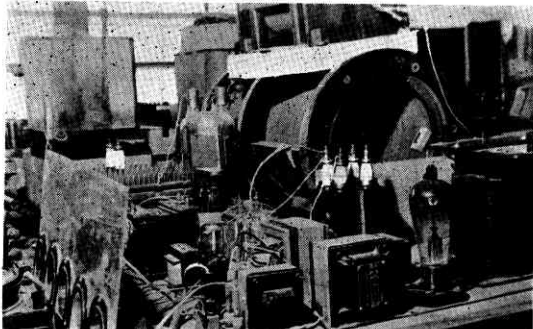
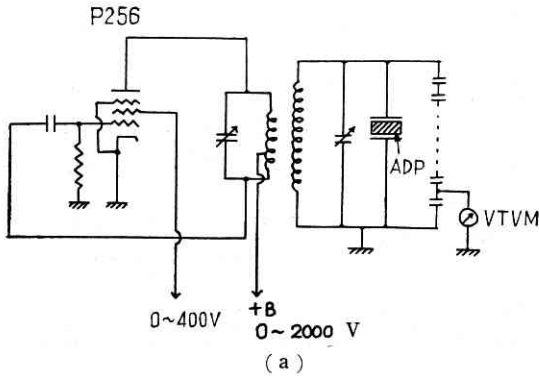
第 10 図 ADP 光変調素子の寸法図 (a) と外観 (b)



第 11 図 ADP 光変調子撮影装置

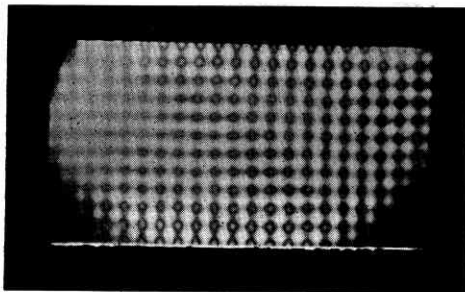
サガラスの抵抗はそれぞれ $380\ \Omega$, $740\ \Omega$ で (ADP と接着部分ではそれぞれ $250\ \Omega$, $490\ \Omega$), ADP の容量は $18\ \text{pF}$ と計算されるので, 周波数 $1\ \text{Mc}$ のとき, $\theta_0 \approx 0.2$ となって電圧分布の点では心配ない。

高周波における結晶の動作をよく調べるため, 第4図の Q を除いて結晶の面に焦点を合わせて写真をとるようにした (第11図). 第12図 (a), (b) は発振器の回路図

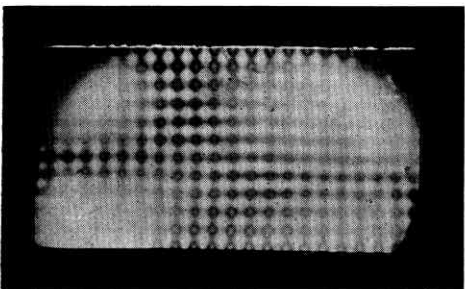


(b)

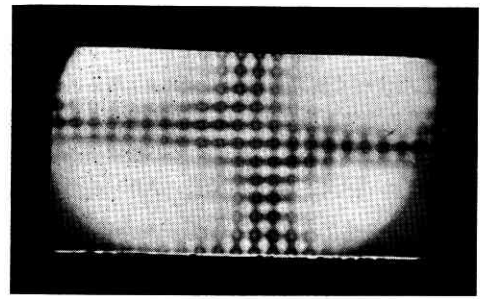
第12図 高周波発振器回路図 (a) と外観 (b)



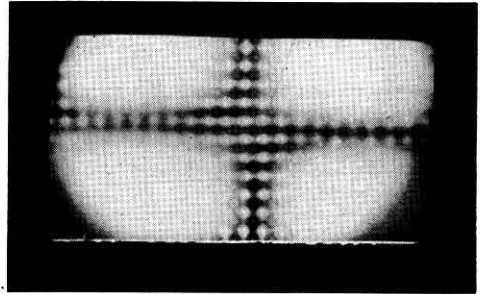
(a) 印加直後



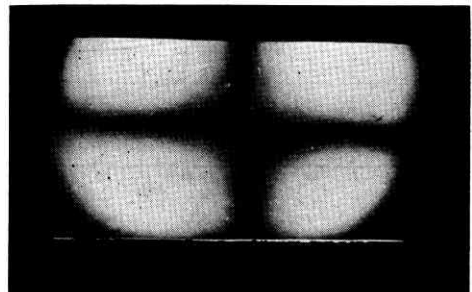
(b) 印加後 30 秒



(c) 1 分後



(d) 3 分後



(e) switch off

第13図 $1\ \text{Mc}$, $1,000\ \text{volt}$ 印加時における ADP 光変調子の動作

と装置の外観で, 周波数 $500\ \text{kc} \sim 1.5\ \text{Mc}$ で結晶に $2,000\ \text{V}$ までの電圧を供給する。

光源として高圧水銀灯を用い, $1\ \text{Mc}$, $1,000\ \text{V}$ の電圧を結晶に与えて観察すると (カメラはアサヒフレックス), 第13図 (a) のように格子状に縞が現われ, その交点は円形の環状でちょうど水玉模様になっている。ここで電圧をかけたまま経過すると, 四隅から次第に白濁してついに中央だけ十字形に残り (同図 (b)~(d)), その後電圧を除いてもこの十字形は残っている (同図 (e))。これはネサガラスの酸化錫薄膜に電流が流れて発生したジュール熱による温度上昇が ADP と薄いガラスとで異なったため, 主としてガラス内に生じた stress によるもので, ストロボスコープとして非常な障害であり, ここにネサガラスの限界が存する。電圧をさらに上げるかもっと薄い結晶を用いると結果はさらに破壊的で, 現にこの実験の前に $1.2\ \text{mm}$ の厚さのものについて行ったところ数百 volt で白煙を上げて壊れてしまった。

電流による発熱効果でネサガラス使用の周波数限界が決まり、100 kc あたりが上限とされている。しかし、電圧は 1,000 volt を越えないようにし、なるべく短時間だけ作用させ、また発生熱は扇風機で冷すようにして、一応高周波での実験を行った。

ここで元に戻って、どうして高周波電圧により水玉模様が生ずるかという問題であるが、これは明らかに結晶内に生じた弾性波によるものとして説明される。ADP *z*-cut に電圧を加えると、そのピエゾ効果により *shearing stress* を生じ、*x* 方向および *y* 方向の *standing shear waves* を誘起する。光弾性効果によりこの弾性波の呈する光学的位相差が純電気光学的効果による位相差に加わってその結果位相差の式は

$$\Gamma = A \cos \omega t + B \sin kx \cos \omega t + C \sin ky \cos \omega t \quad (18)$$

の形となる。上式右辺の各項は順次にそれぞれ純電気光学効果、*x* 方向および *y* 方向の *standing shear waves* による効果を示している。

(15) 式で $\Gamma < 1$ とすると近似的に

$$I = I_0 \sin^2 \Gamma/2 \approx I_0 (\Gamma/2)^2 \quad (19)$$

とされるので、これに (18) 式を代入して、

$$I \approx \frac{1}{4} I_0 (A \cos \omega t + B \sin kx \cos \omega t + C \sin ky \cos \omega t)^2 \quad (20)$$

写真フィルム上には *I* の時間的平均としてあらわれ、

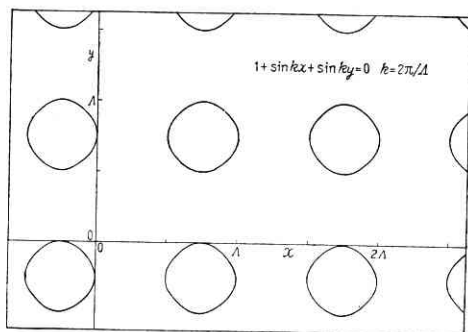
$$\bar{I} = \frac{1}{8} I_0 (A + B \sin kx + C \sin ky)^2 \quad (21)$$

に比例した明るさで分布している。

像の黒い模様は $\bar{I} = 0$ として得られ、

$$A + B \sin kx + C \sin ky = 0 \quad (22)$$

で与えられるが、特に $A=B=C$ の場合を曲線に描くと第 14 図となり、先に得た水玉模様をよく説明している。

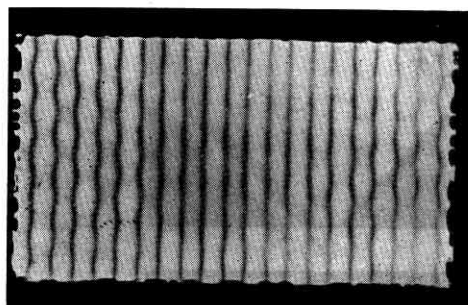


第 14 図 $1 + \sin kx + \sin ky = 0$ 曲線図

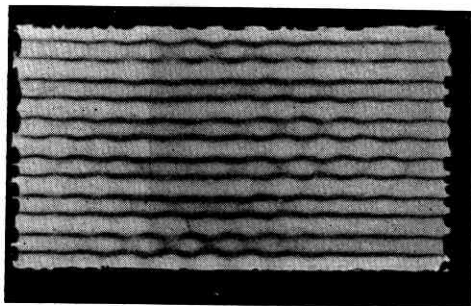
一般に $A \approx B \approx C$ であるので、 $A:B:C$ の種々の値について曲線を同様に描いておいて第 13 図の模様と比較することにより、逆に第 13 図の模様を呈すべき $A:B:C$ が逆算されるのであるが、これを計算してみると大体 10:8:8 の比となっている。ところで計算によると、周波数が結晶内での弾性波の共振周波数からずれている場合には、(22) 式の $A:B:C$ は近似的に (14) 式の

$r_{63}' : p_{66}d_{36} : p_{66}d_{36}$ と一致すると見なされ、ADP の場合にはこれが大体 10:8:8 となり正に実験結果とよい一致を見せている。

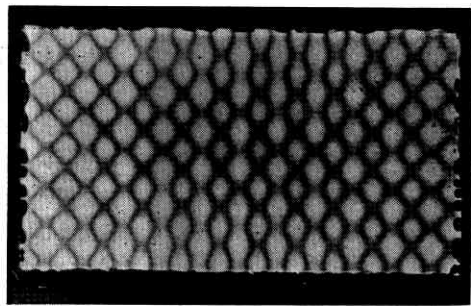
なお周波数が共振周波数に近づくと、当然上の比は光弾性効果によるものの方が勝ってくるので、したがって



(a)



(b)



(c)

第 15 図 共振付近の模様

周波数と $A:B:C$ は

(a) 465 kc, 10:50:8

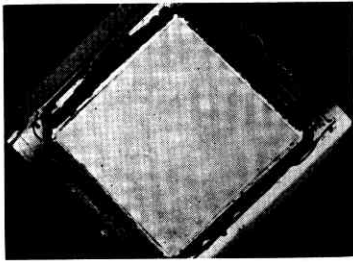
(b) 500 kc, 10:8:50

(c) 510 kc, 10:50:50

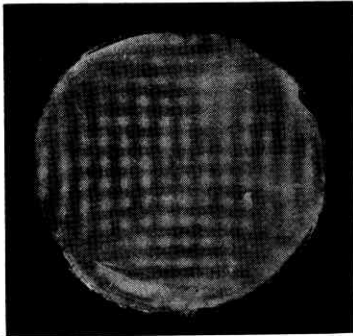
得られる模様も変わってくる。第 15 図 (a), (b), (c) はそれぞれ横方向、縦方向および両方向の弾性波に対して共振に近い場合を示している。

さて位相差 Γ の値は場所によって異なり、特に第 14 図の曲線の内と外では符号が逆であるので、ストロボスコープとして用いるには具合が悪い。結晶全面の光の強さが一様に変化することが望ましいので、そのためには曲線のひろがりのできるだけ小さいことが必要であるが、それには A と B, C の比の大きいものが都合が

よい。ADP ではその比が 10:8 であったが、先に述べた KDP ではその比が 10:2 程度となるので、KDP の方が高周波ストロボ用としてははるかに適当であると結論される。

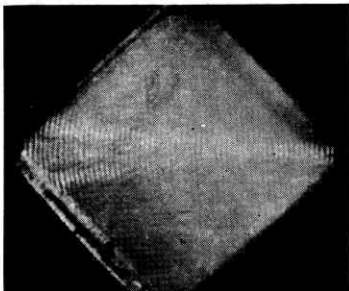


(a)



(b)

第 16 図 45°z-cut(a)および円形 z-cut(b)における弾性波発生の模様



第 17 図 収斂音場のシュリーレン像のストロボ写真 (1 Mc)

ム concave 振動子 (村田製作所製) を用いて撮影したストロボ写真が第 17 図である。

高速度シャッタ

放電現象、爆発現象、高速度運動体等の研究用として、ADP を用いた高速度シャッタが実用化している⁸⁾。光学系は第 4 図(A) に示したもので、(16)式が動作式として用いられるが、電圧 V が非常に短時間のパルスの時には、式中の r_{63} の代りに (14) 式の r_{63}' を使わなければならないので、ADP の場合最大透過率を与えるには約 15 kV、KDP の場合 8~9 kV のパルスが必要とする。

結晶の両面にはりつける透明電極としては、電気抵

抗の小さいものを用いる場合には弾性波の影響をなるべくなくすことが必要である。そのためには 90° z-cut の代りに適当な他の cut を用いればよい。第 16 図は 45° z-cut および円形 z-cut について行ったときの弾性波発生の模様を示すがその起り難い様子がはっきり出ている。

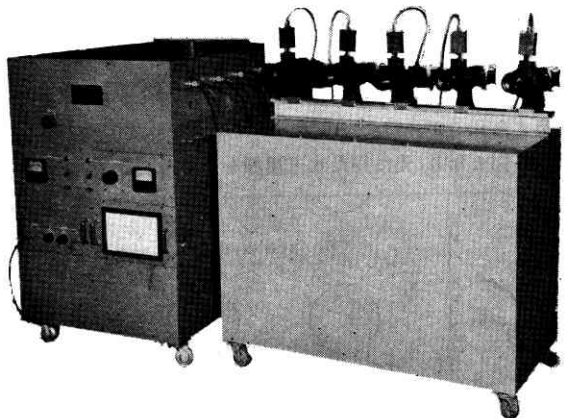
上記の 45° z-cut を用いた光変調器で実際に振動体を撮影した例を示そう。対象として超音波のシュリーレン像を用いた⁷⁾。音源として径 50 mm、曲率半径 100 mm の 1 Mc のチタン酸バリウム

抗の小さいものが望ましいので金の蒸着膜を用い格子状またはリング状につけて (第 18 図)、膜の間の透明な部分に光を通すようにする。これは電極の端における電場分布の彎曲を利用しているのであるから、膜間の間隔は結晶の厚さと同程度以下にしなければならない。

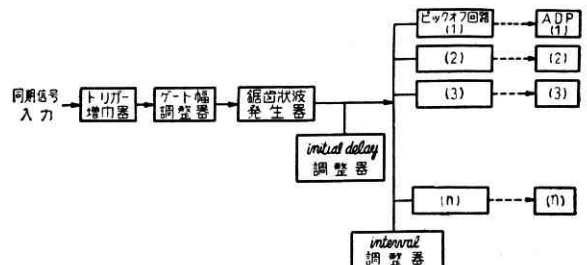
第 19 図は市販されている高速度シャッタ装置とその回路系統図で、

光束開閉時間は $1 \mu\text{s} \sim 0.1 \mu\text{s}$ であり、現象から 0~20 μsec の時間間隔で順次に数回の撮影を行うことができる。

Piezo-Optic Resonator と音声の分析合成装置



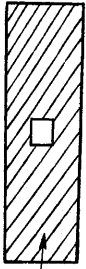
(a) 外観



(b) 回路系統図

第 19 図 高速度シャッタ装置 (沖電気)

高周波ストロボスコープ、高速度シャッターでは弾性振動の望ましくない点からいっても ADP より KDP の方が有利であるが、ADP の piezo 効果を逆に利用して特定の周波数だけで光変調を行う装置を作ることができる。小林理研の小川氏⁹⁾は、ADP の 45° z-cut の短冊片



銀ペースト

第 20 図
Piezo-Optic
Resonator

の両面に銀ペーストを塗って電極とし、電極の中心部に窓を設けて（第 20 図）、これを第 4 図の光学系に入れて交流電圧を加えると、その周波数が短冊片の縦振動の共振周波数と一致した時だけ光を通すことを利用する一種の filter を考案、develop した。これを piezo-optic resonator と称し、このような短冊片の長さを少しずつ変えてならべることににより一種の周波数分析装置が作られる。

さらに藤村・小川両氏¹⁰⁾は ADP piezo-optic resonator を element として用い

た第 21 図に示すような音声の分析合成装置を作った。音声の分析には上述の方法を用い、resonator 群の後におかれた感光フィルムに visible speech pattern を記録するのである。resonator の共振周波数はその大きさの関係から 40~50 kc が都合がよいので、音声信号で 50 kc を振幅変調し、その下側帯波を各 resonator の電極に並列に入れるのである。また音声の合成には、感光フィルムの代りに visible speech pattern として記録されたもののネガをとったもの、あるいは始めから反転現象したものを、分析の時の各 channel の光量の分布と同じ透過光量の分布を得、光電管に集めて speaker に導く。resonator の電極に与える信号は、前の分析さるべ

き音声信号の代りに繰返しパルスあるいは鋸歯状波を用い、その高調波をもって各 resonator を駆動するのである。pattern にはこのほかに pitch, hiss および intensity control などをもってのおおの独立に変化されるが、特に pitch や音色に影響を与えることなく演奏速度を自由に換えられる点など従来の方法に比べて優れている。

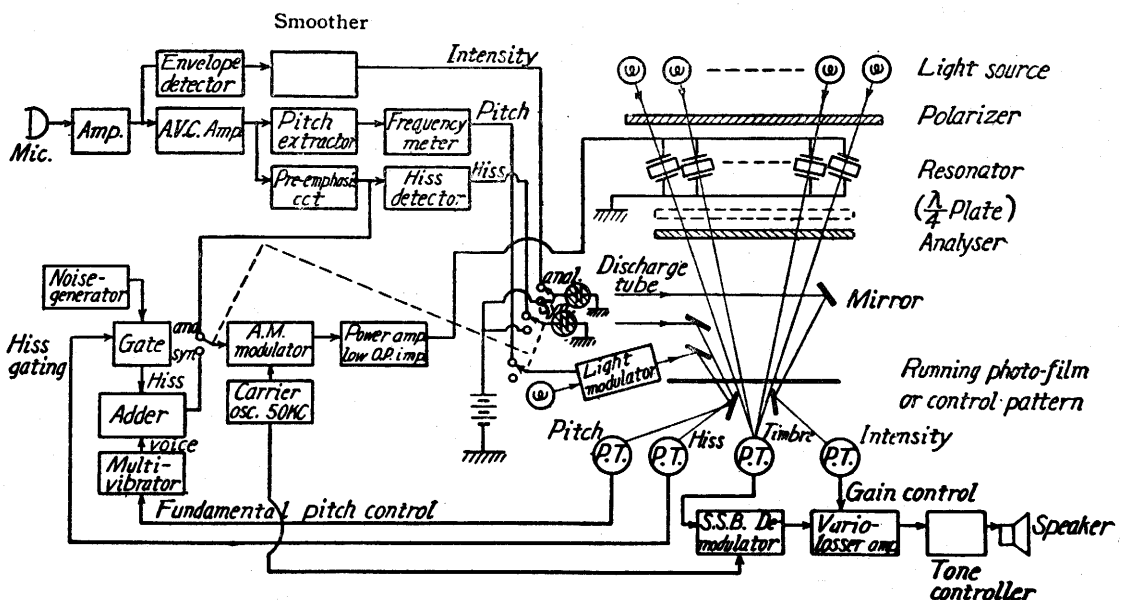
結 語

ADP を用いた光変調器の原理とその応用例 3 種について述べた。紙面の都合上割愛したが、偏光フィルタ、電場測定、距離測定器、偏光計などほかにもいろいろと応用は広い。

本稿を終えるに当たり、装置・試料等についていろいろご援助いただいた小林理研の丸竹正一氏と小川智哉氏、科研の難波進氏、沖電気の和地洋平氏、村田製作所の河合次男氏および当所の久保田教授に厚く感謝の意を表す。なお本研究費の一部は文部省科学研究費の援助によるもので、あわせて謝意を表す。（1958. 8. 5）

文 献

- 1) G. Busch and P. Scherrer; Naturwiss. **23** (1935), 737.
- 2) F. Pockels; *Lehrbuch der Kristallographie* (Leipzig, 1906).
- 3) B. Zwicker and P. Scherrer; Helv. Phys. Acta, **17**, (1944), 346.
- 4) B. H. Billings; J. Opt. Soc. Am. **39** (1949), 797, 802.
- 5) R. O'B. Carpenter; J. Opt. Soc. Am. **40** (1950), 225.
- 6) R. O'B. Carpenter; J. Acoust. Soc. Am. **25** (1953), 1145.
- 7) 鳥飼, 根岸; 生産研究 **4** (1952) 85.
- 8) B. H. Billings; J. Opt. Soc. Am. **42** (1952), 12.
- 9) 小川; 応用物理 **26** (1957) 259.
- 10) 藤村, 小川; 応用物理 **26** (1957) 520.



第 21 図 音声分析合成装置（藤村，小川）