

# 波長板を用いたレーザ光用可変移相器

Variable Phase Shifter for Laser Light Using Birefringent Crystals

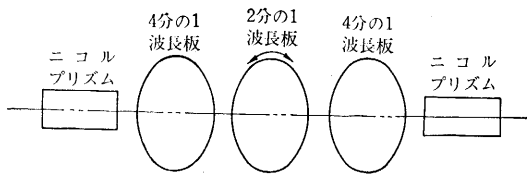
浜崎 襄二・野口 宏

## 1. 序

レーザから出る光は、非常にコヒーレントな、つまり位相の安定度の高い電磁波である。したがってレーザ光を通信系統や計測等の目的に応用する場合には、光の位相をコントロールする必要が生ずるが、このためには位相を連続的に変化させられる精密な可変移相器が要求される。ここでは、波長板を組み合わせたタイプの光の可変移相器を試作検討し、比較的良好な結果を得たことを報告する。

## 2. 原理および誤差の検討

われわれの対象とする移相器の構成は、第1図に示さ

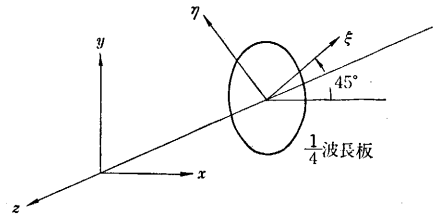


第1図 可変移相器の構成

れる。4分の1波長板というのは、白雲母等の異方性結晶の板でつくられている。テンソル屈折率の主軸のうち二つがこの板面内にあるとすると、この板面に垂直に入射した電磁波のうち、この二つの主軸方向の電界成分をもつ波の位相速度は互いに相異なることになる。換言すればこの二つの波は、結晶内を伝ばんしてゆくにつれ、位相が相対的にずれてゆく。結晶板の厚さを適当にして、トータルでこの位相のずれを90°にしたものを4分の1波長板と称し、180°にしたものを2分の1波長板と称する。

最初にニコルプリズムで直線偏光にされた光が、固定した4分の1波長板に垂直に入射し、そのさい、電界ベクトルが、テンソル屈折率の主軸に45°をなすようにする。波長板を通過すると、光は円偏光に変わる。この円偏光は回転可能な2分の1波長板に入り逆方向に回る円偏光に変えられる。この円偏光は、第2の4分の1波長板を通過して再び直線偏光に変えられ、ニコルプリズムを経て出力端に出てゆくわけである。出力端における位相は2分の1波長板を、回転することによって変えることができる。いま2分の1波長板を、そこに入射する円偏光の回転方向と同方向に角度 $\theta$ だけ回転させるとしよ

う。そうすると、波長板から見ていれば、入射光の位相は $\theta$ だけおけてみえる。ところが出射光は、入射光と逆まわりの円偏光であるから、逆にその位相は $\theta$ だけ、すすんでみえる。つまり入射光と出射光の位相は相対的に $2\theta$ だけずれるわけである。正確にいうと2分の1波長板を、入射光の回るむきと同方向に $\theta$ まわすと、出射光の位相はちょうど $2\theta$ だけおけるということになる。したがって移相器全体でも、ほかに可変部分はない



第2図 座標系

から、 $2\theta$ の位相変化を生ずるわけである。この結論を数式的に述べよう。第2図のように座標軸をきめる。ただし4分の1波長板のテンソル屈折率主軸( $\xi$ 軸)は $x$ 軸に対して45°をなすものとする。入射光出射光の複素電界ベクトルを添字 $i, o$ で区別すると、計算の結果次式が成り立つ。

$$E_{xo} = e^{j(\varphi+2\theta)} E_{xi}, \quad E_{yo} = e^{j(\varphi-2\theta)} \quad (1)$$

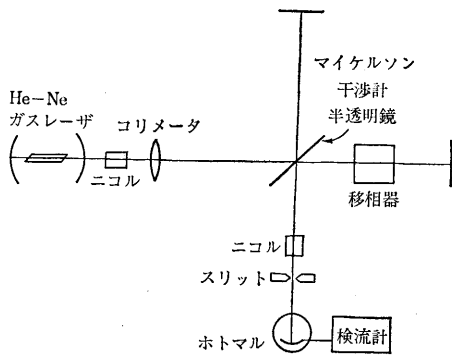
ただし $\varphi$ は、基準面のとり方できまる定まった移相量である。

なお原理は、マイクロ波および光学分野ですでに知られている<sup>1), 2), 4)</sup>。

次に誤差の原因として考えられるものは、(1)波長板の誤差、(2)波長板の表面反射、(3)波長板の光学的平面度、(4)2分の1波長板が、回転軸に対して正しく垂直になっていないための誤差等が考えられる。雲母板をガラス板ではさんだ構造の波長板では(3)による誤差が大きいので、裸の雲母板を用いる。上のうち、最も大きいのは(2)と考えられるが、これは30°以内である。むしろ挿入損失に大きく効いてくるが、これをさけるために、波長板とほぼ等しい屈折率の液体に浸して用いることを考慮中である。けっきょく全体で1°以下の誤差にしよう。なお帯域幅の点でも数百Gcはとれるという計算結果である。

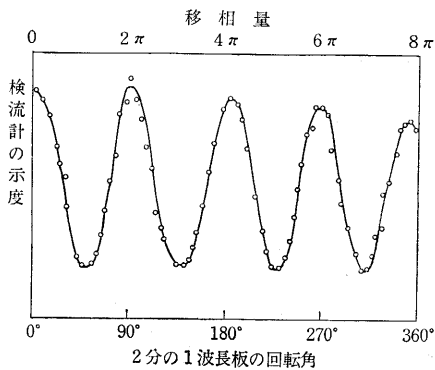
3. 試作・実験および検討

試作した移相器は、2分の1波長板をウォーム・ギアを用いて回転させるようになっている。雲母の波長板を枠にとりつける際に、若干のひずみが生じたが、特にその影響はみとめられなかった。雲母板は前述のように裸で用いるが、そのため表面のキズが若干目だつ。まず第一に、移相器としての動作をたしかめるために、第3図に示されているように、マイケルソン干渉計の一つの分



第3図 測定系

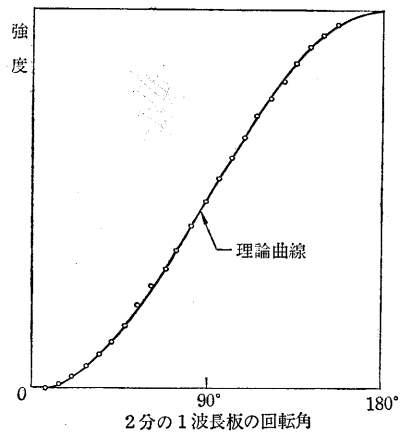
枝に移相器を挿入した。なお、ニコルプリズムは、移相器とはなして、光源および受光器(ホトマル)の前に置いてある。光源は He-Ne ガスレーザの 6328 Å の光で、コリメータで平行光線にしてある。移相器は操作(波長板の回転)しなければならないが、干渉計は振動に対して非常に敏感なので、移相器を干渉計にのせることは禁物で、別の台にのせてやらなければならない。光がコヒーレントなので、容易に干渉縞をつくることできる。移相器を操作すると、移相器を含む分枝の位相が変化する。その大きさは2分の1波長板の回転角を  $\theta$  とすると、 $4\theta$  に等しい(光は移相器を往復2回通るから)。位相が  $2\pi$  だけずれると干渉縞は一つだけずれる。したがって2分の1波長板1回転( $\theta=2\pi$ )の間に縞模様は



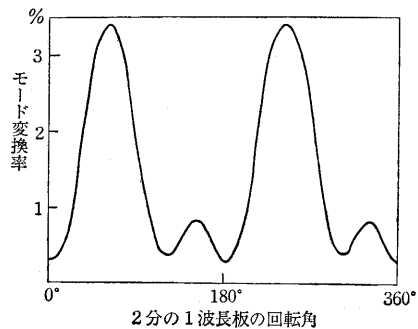
第4図 干渉縞の観測

四つずれるわけである。これをしらべるために、干渉縞と平行にスリットをおき、それを通った光をホイマルで受け、その出力を検流計で読んだ。その結果が第4図であって、予想どおり、波長板1回転の間に、ほぼ四つの縞が観測される。谷の部分が0になっていないのは、移相器の挿入損失が大きいためである(約 1.5 dB)。干渉計の位相の精度は、あまり良いとはいえず、鏡が時とともに動くために、位相誤差は 20~30° にも及び、移相器の精度をしらべることは困難なようである。実際、第4図のカーブも、サインカーブからかなりへだたっている。

(1)式より、移相器として動作させることのできる二つの偏光状態に対しては、位相のずれのむきが互いに逆であることがわかる。そこでこの二つの状態(モード)に等しい振幅の光をいれてみる。すなわちいずれの偏光面とも 45° の角度をなす直線偏光を入れる。そして出力端で入射光と同じ偏光の成分をとりだし、理論からの結果と比較したのが第5図(a)である。二つのモードからの出射光は、波長板の回転につれて逆むきに位相がずれるので、両方の「干渉」した結果を示す同図は、ちょうど定在波のような模様を示す。同図によれば、理



第5図(a) 相対測定の結果



第5図(b) モード変換率

研 究 速 報

論からのずれが、 $1^\circ$ 以内であることがわかる。また“定在波比”は6000以上であるが、これも上の結論と矛盾しない。しかし、このような測定では、二つのモードに共通にはいつてくる位相誤差、すなわち前に挙げた誤差の原因のうち(3)(4)の影響は知ることができないわけである。

次に、移相器の正規な使用においては、光は直線偏光で入射して、直線偏光で出射するわけであるが、実際には主として(1)の誤差のため、直線偏光にならず、それと直角の成分が存在する。それを測定した結果が第5図(b)である。これから他のモードに変換する率は約3% (強度で) であるが、これも誤差 $1^\circ$ という結論と矛盾しないことが示される。

5. 結 論

波長板を組み合わせた光の可変移相器を試作、実験し、その誤差が $1^\circ$ 程度、多くとも数 $^\circ$ 程度にしうることを示した。これは、波長で言えば100の1波長の精度を意味する。この型の移相器の特徴としては、移相量の較正を要しないこと(したがって標準移相器となる)、

移相量に限界がないこと(時間的に回転させれば周波数変換器になる<sup>3)</sup>)、高い精度が得やすいことなどである。今後の問題としては、挿入損失をいかに少なくするか、絶対的位相精度をいかにあげるかという課題がある。また位相の測定法も確立していない。

6. 謝 辞

日ごろご指導をいただいている本所斎藤成文教授に感謝する。また、ご援助くださった日本電信電話公社電気通信研究所に謝意を表する。(1965年1月12日受理)

文 献

- 1) A. G. Fox: P. I. R. E. Vol. 35, pp. 1489—1498 (1947).
- 2) J. W. Evans: J. Opt. Soc. Am. Vol. 39, pp. 229—242 (1949).
- 3) D. H. Ring: Bell Laboratories Record. Vol. 35, p. 465—468 (1956).
- 4) 浜崎襄二・野口宏: 通信学会量子エレクトロニクス委資料(1964年7月).

正 誤 表 (2月号)

頁	段	行	種 別	正	誤
4	右	11	本 文	1861	1863
"	"	18	"	1869	1868

次 号 予 告 (4月号)

研 究 解 説

- 本地堂鳴電復元に関する研究.....石 井 聖 光  
平 野 興 彦
- 「水文学」の定義と命名の経緯について.....井 口 昌 平  
—国際水文学十年計画の発足にちなんで—
- 薄肉開断面材の弾性力学 (VI).....川 井 忠 彦

海 外 事 情

- アメリカでの研究所生活.....合 田 周 平  
—生体工学研究の現状—

研 究 速 報

- 流体継手の実験研究 (第2報).....石 原 智 男  
伊 藤 誠 恒 一