



## 二周波直交偏光レーザー用光アイソレータ

梅田 倫弘

東京農工大学工学部機械システム工学科 〒184 小金井市中町 2-24-16

### 1. はじめに

ヘテロダイン干渉計測は、干渉位相の分割を交流信号の位相測定によって行っているため、安定でかつ精度の高い計測が可能である<sup>1)</sup>。とりわけ、軸ゼーマンレーザーや横ゼーマンレーザーなどの二周波直交偏光光源を用いた偏光ヘテロダイン干渉法は、偏光分割によって周波数シフトした光が簡単に得られるため、精密測定や超精密機械などの位置決め装置として随所に使われている。しかし、このような精密測定において問題となるのが、光学系からの戻り光による光源周波数や強度の変動である。

ここでは、二周波直交偏光レーザーのために考案した光アイソレータの光学配置と性能について紹介する<sup>2)</sup>。

### 2. 従来の光アイソレータ

光学系からの戻り光を防ぐ方法としては、光アイソレータを用いた場合とそれ以外の方法とに分けられる。後者の方法としては次の手段が考えられる。

- ① 光学系の入射光学素子に無反射コーティングをすする。
- ② 光学系をわずかに傾けるか、入射面に光学くさびを用いる。
- ③ コーナーキューブやキャッツアイを用いて反射光束の軸をずらす。
- ④ 適当な ND フィルタを光源と光学系との間に挿入する。

上記のうち、③の方法以外は大きな戻り光量の減衰は期待できず、測定のために光源の光量を有効に使うことはできない。

これに対し、光アイソレータは戻り光量の減衰が大きく、透過光の損失が少ない。これまでに次のような光学系が提案されている。

- ⑤ 直線偏光素子と四分の一波長板の組合せ<sup>3)</sup>
- ⑥ 直線偏光子とファラデー回転子の組合せ<sup>4)</sup>
- ⑦ 音響光学変調器<sup>5)</sup>
- ⑧ 音響光学変調器とファラデー回転子の組合せ

⑤、⑥には直線偏光子が用いられているため、二周波直交偏光光源には適用できない。⑦は戻り光が全く減衰せずに光源に戻ってしまい、使いづらい。また、⑦、⑧は高価な音響光学変調器を必要とし一般的でない。そのため、二周波直交偏光光源のための光アイソレータが望まれる。

### 3. 二周波直交光源用光アイソレータ

#### 3.1 光学配置

図1が考案した光アイソレータの光学配置である。前進光(a)と戻り光(b)における二偏光成分の偏光方位を同時に示している。基本的には、二偏光成分それぞれについてファラデー回転子と直線偏光子による光アイソレータを構成している。光源からの光は、偏光ビームスプリッタ  $PBS_1$  で水平・垂直の二偏光成分に分離されてファラデー回転子 FR に入射する。FR は入射偏光面が  $45^\circ$  だけ回転するような磁場と光路長になるように設定されている。FR の出射光は、進相軸方位が  $67.5^\circ$  の二分の一波長板 HWP を透過して、FR に入射する前とは  $90^\circ$  方位の異なる直線偏光となり、二つの偏光成分は  $PBS_2$  で重ねあわせられて出射する。一方、光学系からの戻り光は(b)に示すような偏光方位となって  $PBS_2$ 、HWP、FR を通過する。戻り光による FR からの出射光は(a)に比べ同じ光路において互いに  $90^\circ$  だけ偏光方位の異なる直線偏光となって  $PBS_1$  で重ねあわせられた光束は光源に戻らず、光源とは直角の方向に出射する。

図1の光学系において、アイソレータの性能を規定する光学素子のパラメータは、PBS の消光比、FR の回転角、HWP の位相シフト量と進相軸方位である。これらのうち任意に変えることができるのは FR の回転角と HWP の進相軸方位である。図2は、FR の水平、垂直偏光成分の回転角  $\theta_F$  が異なる場合の、HWP の進相軸方位に対するアイソレーション比 IR を、ストークスベクトルを用いて計算した結果である。FR の垂直成分(y)の回転角が  $45^\circ$  から  $2^\circ$  だけずれている場合、IR が極小となる HWP の方位も正常な状態から  $1^\circ$  だけずれ

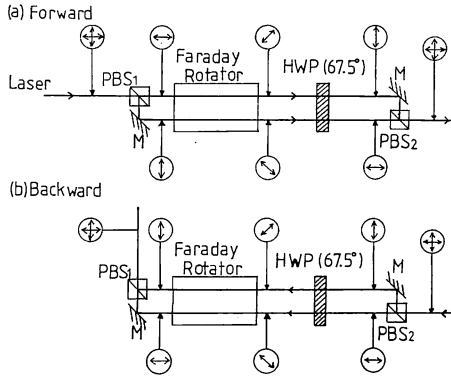


図 1 光アイソレータの光学配置

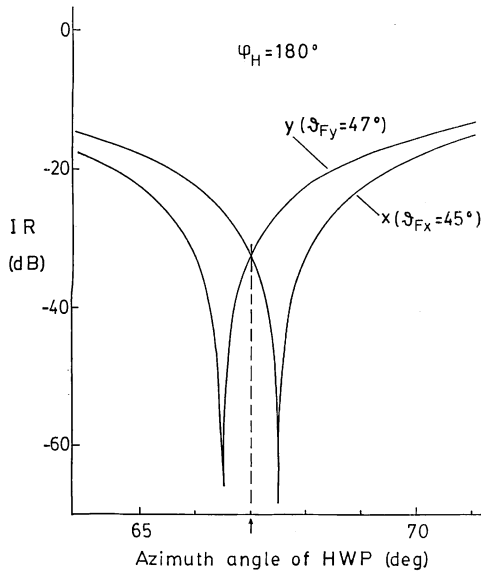


図 2 二分の一波長板の方位に対するアイソレーション比

ている。また、 $x, y$  成分をともに最小の IR にするには HWP の方位を  $67^\circ$  にすればよい。これから、HWP の方位角の回転によって水平、垂直偏光成分に対するアイソレーション比を調節できることがわかる。

3.2 実験

図 1 の配置を用いて本アイソレータの性能を測定した。用いた各光学素子のパラメータは以下のとおりである。PBS の消光比は 31.8 dB, HWP の位相シフト量は  $180.7^\circ$  である。FR には長さ 30 mm, 直径 10 mm のファラデー回転ガラス (FR-5, HOYA) を外径 30 mm, 内径 12 mm, 長さ 32 mm の Sm-Co 磁石内に挿入したものを用いた。この FR によって得られた単一パスの回転角は  $22.9^\circ$  で不足しているため、FR ロッドの両端に誘電体反射膜を半月状にコートして光路長を 3 倍にする

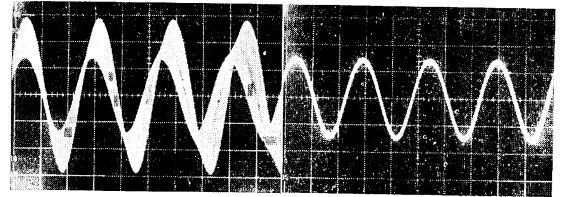


図 3 戻り光による周波数安定化横ゼーマンレーザーのビート波形の乱れ。二分の一波長板方位が最適な状態から  $2^\circ$  ずれている場合 (a) と最適な方位の場合 (b). ( $1 \mu\text{s}/\text{div}$ )

ことによって  $45^\circ$  の回転角を得た。以上の素子を用いて構成した光アイソレータのアイソレーション比を測定した結果、水平、垂直偏光成分に対して 23.5, 26.9 dB が得られた。また、挿入損失はそれぞれ 2.4, 2.9 dB であった。図 3 は、光源に周波数安定化横ゼーマンレーザー (STZL) を用いて光アイソレータからの出射光を反射鏡で戻すことによって得られた STZL の二成分の周波数差ビート波形である。(a) は HWP の方位を最適な状態から  $2^\circ$  だけずれたときの波形で、戻り光によって FM 変調を受け、STZL の制御系が不安定な状態にあることがわかる。これに対して、(b) のように HWP の方位を調節して戻り光が最小となるようにしたときには安定した正弦波であって、戻り光の影響を受けていないことがわかる。

4. む す び

計測精度の要求が増大するにつれ、光ヘテロダイン干渉法は、今後もさまざまな分野で応用されていくであろう。その際、測定限界を決めている各種要因を取り除いていく必要がある。ここで紹介した光アイソレータもその一つである。さらに、光源自体の改良も望まれる。たとえば半導体レーザーの二周波直交偏光化やオフセットロック方式も興味深い。今後の研究の発展を期待したい。

文 献

- 1) 中島俊典, ほか: “光ヘテロダイン干渉計測技術”, 応用物理, 55 (1989) 1509.
- 2) N. Umeda and T. Eguchi: “Optical isolator for orthogonally polarized two-frequency laser,” Jpn. J. Appl. Phys., 27 (1988) 2173.
- 3) H. Kuwahara: “Optical isolator for semiconductor lasers,” Appl. Opt., 19 (1980) 319.
- 4) L. J. Aplet and J. W. Carson: “A Faraday effect optical isolator,” Appl. Opt., 3, 4 (1964) 544.
- 5) R. G. Smith: “Use of the acoustooptic light deflector as an optical isolator,” IEEE J Quantum Electron., QE-9 (1973) 545.

(1989 年 11 月 6 日受理)