

1. 序論

本研究の目的は、ピエゾ素子を用いた位相変調器を組み込んだ干渉計を作成し、経路間の位相差を変化させて干渉現象を観察することである。対象となる干渉計は、ホログラムの異なる回折次数の出力をシングルファイバー中で干渉させることによって光子を2モードの重ね合わせ状態で検出するものであり、本位相変調器によって光路長差を制御・安定化する。本論文では調査の第一段階として、ホログラムの代わりにビームスプリッターを用いた干渉計とする。ピエゾ素子のドライバーに印加する制御電圧を変化させることによって位相変調を行い、2つの出力ポートから出射される光量を観察する。

2. 原理

2.1 光子の軌道角運動量状態

光子の軌道角運動量状態とは、方位角モード指数を m として、光軸の周りの方位角 φ に対する複素振幅の依存性 $\exp(im\varphi)$ で表されるモードに光子が1個存在する状態である。複数の m に対応する状態を重ね合わせた状態が、軌道角運動量重ね合わせ状態である。

2.2 経路干渉計法

経路干渉計法の光学系を図1に示す。この方法では、ホログラムを固定する。測定対象のビームをホログラムに入射する。 m_h 次のホログラムは s 次回折光に $\exp(im_h s)$ の位相変化を与える。入射光のモード指数が m_0 であるとすると、ホログラム反射後の s 次回折光は $m_h s - m_0$ のモードに変換される。ホログラムの0次回折光と1次回折光をシングルモードファイバー(SMF)によってフィルターする。 $m_h = 1$ のとき、0次回折光側のSMFは元のビームの $m = 0$ 成分のみを通過させ、1次回折光側のSMFは、元のビームの $m = 1$ 成分のみを通過させる。その2つの光を2入力2出力ファイバーカプラーによって重ね合わせ、その出力を検出器に入力することによって2つの軌道角運動量の重ね合わせ状態を検出することができる。

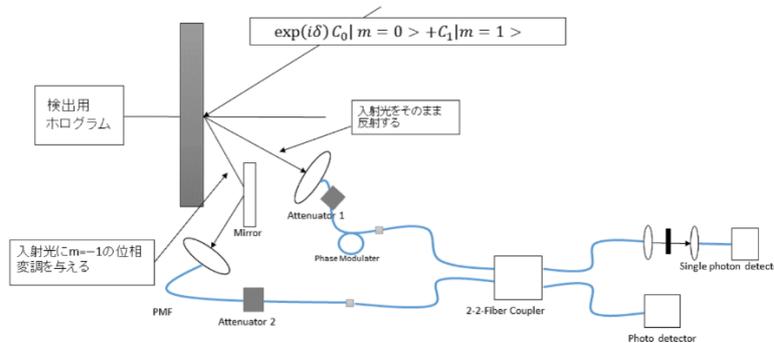


図1.経路干渉計法の光学系

2.3 ファイバー干渉計の部品

- ・2入力2出力ファイバーカプラー Evanescent Optics : Model 905P

ビームスプリッター (BS) の一種であり、光波を分波・合波することが可能な装置である。マイクロメーターの指示値を変えることによって出力の分岐比を調節することが可能である。

- ・ピエゾドライバ Evanescent Optics : Model 914

位相変調器 Model 915B のピエゾ素子を安定駆動するためのアンプ型電源である。

- ・ピエゾ素子を用いた位相変調器 Evanescent Optics : Model 915B

半円状の2つの部品とピエゾ素子より構成されており、そこに光ファイバーを巻き付けて使用する。ピエ

ゾ素子に電圧を加えることによって部品間の距離が変化し、光路長を調節することによって経路間の位相差を変化させることができる。

3. 実験

3.1 2入力2出力ファイバークプラーの特性測定

1. 図 2.2 のように半導体レーザーのビームをシングルモードファイバーに入射した。
2. シングルモードファイバーの出射側を 2 入力 2 出力ファイバークプラーの入力 A 側に接続した。この時、入力 B 側は付属のケースに入れて光が入射しないようにした。
3. 2 入力 2 出力ファイバークプラーの出力 X,Y にパワーメータを接続した。
4. 2 入力 2 出力ファイバークプラーのマイクロメーターの指示値を変え、出力 X,Y のパワーを測定した。
5. 入力 B 側に接続した場合についても、同様の測定を行った。

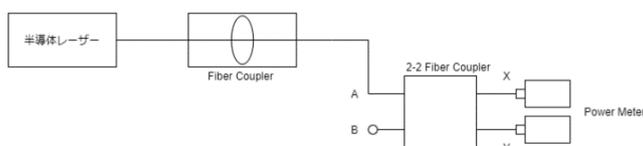


図 2.2 入力 2 出力ファイバークプラーの特性測定

3.2 ピエゾドライバの特性測定

1. 電圧発生器に設定する電圧を 0.5V ずつ上げていき、その時の電圧発生器の出力電圧をデジタルマルチメーターを用いて測定した。
2. 電圧発生器とピエゾドライバをケーブルを用いて接続した。
3. 電圧発生器で出力する電圧を 0.1V ずつ上げていき、その時のピエゾドライバの出力電圧を測定した。

3.3 干渉計の特性測定

1. 図 3 のようにファイバークプラー 1 の出射側にアテニュエーターと位相変調器を接続した。
2. 位相変調器にピエゾドライバを接続し、制御信号入力ポートに電圧発生器を接続した。
3. 2 入力 2 出力ファイバークプラーの入力 A にのみ光を入射したときと B にのみ光を入射したときの出力 X,Y の値が近づくように、アテニュエーターを用いて調節を行った。
4. 入力 A のみ、入力 B のみに光を入射した時に出力 X と Y の値が 1:1 になるように、2 入力 2 出力ファイバークプラーのマイクロメーターを用いて調節を行った。

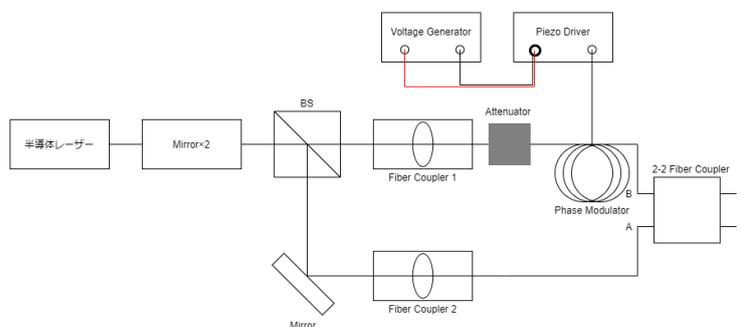


図 3.干渉計の特性測定

5. 位相変調器に加える電圧を変化させ、その時の出力 X と Y のパワーを測定した。

4. 結果

4.1.2 入力2出力ファイバカップラーの特性測定

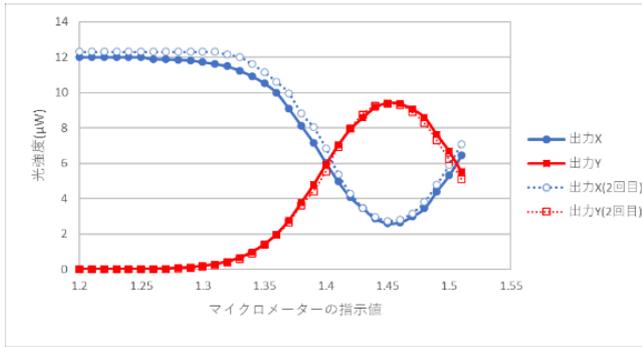


図 4.A のみ 指示値上昇

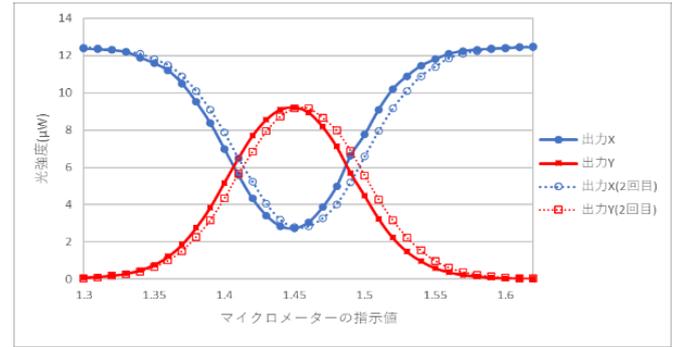


図 5.A のみ 指示値下降

図 4 に入力が A のみで指示値を上げていった時、図 5 に同じく下げていった時の出力を示す。上げていった時は 1 回目、2 回目について出力 X,Y が極大値、極小値をとる指示値は一致したが、下げていった時は 0.01 のずれがあった。

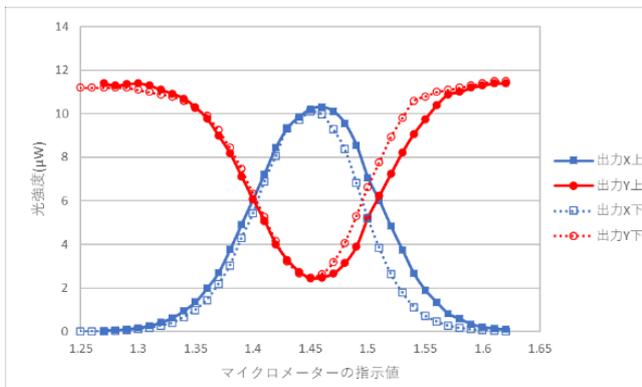


図 6.A のみ 指示値往復

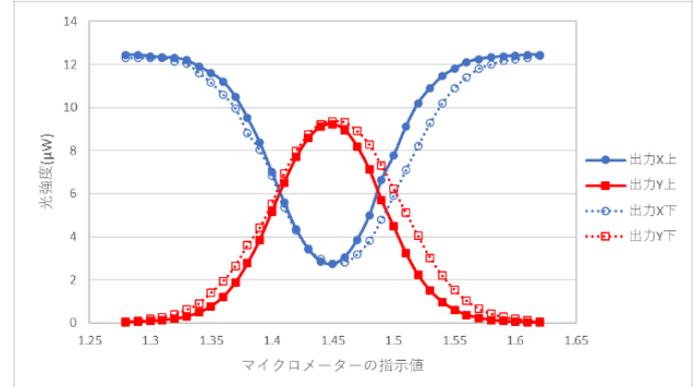


図 7.B のみ 指示値往復

図 6, 7 にそれぞれ入力が A, B のみの場合について、指示値を上げる時と下げる時の動作のずれを示す。先行研究[1]では指示値 1.2-1.5、今回は 1.45-1.6 でずれが見られた。また、出力の分岐比が 1:1 になるマイクロメーターの指示値にも先行研究と 0.05 のずれがあった。よってこの後の実験では、光強度を調節する際に指示値を下げるまたは上げるの一方に決め、微調整は出力を見ながら行った。また、今後も特性が変

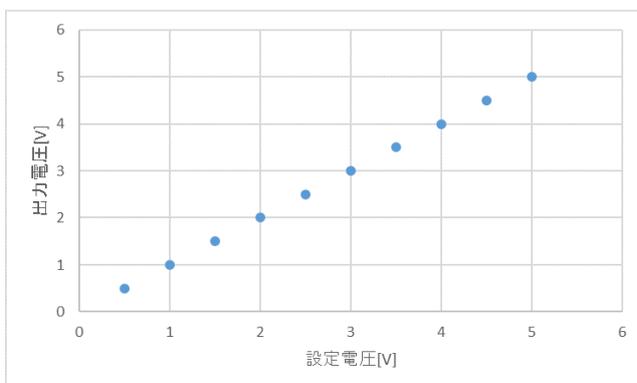


図 7.電圧発生器の出力特性

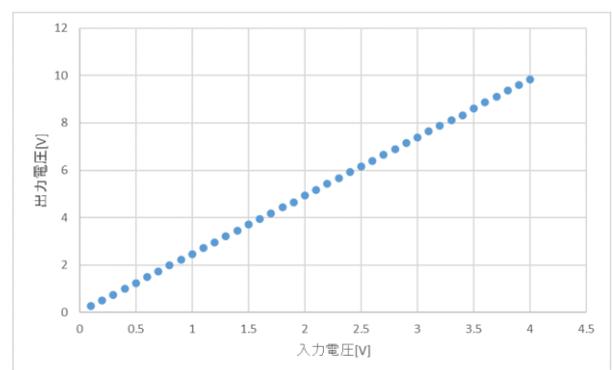


図 8.ピエゾドライバの電圧入出力

化することが考えられるので、定期的に特性測定を行うことを予定している。

4.2 ピエゾドライバの特性測定

電圧発生器の出力特性を図7に示す。設定した電圧が出力されているため、電圧発生器としての動作は正常であると判断した。ピエゾドライバの入出力特性を図8に示す。入力0-4Vの範囲で出力が入力に比例した。最小二乗法を用いることにより、利得が2.45であることが分かった。

4.3 干渉計の特性測定

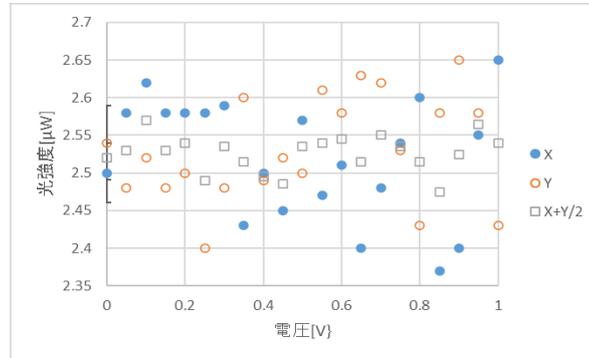


図9.位相変調器1の特性測定

図9はSerial Number 6984-1の位相変調器1を用いた際の干渉計の特性測定結果である。電圧発生器の出力電圧に対する光強度のグラフからは明確な周期のある振る舞いは読み取れなかった。

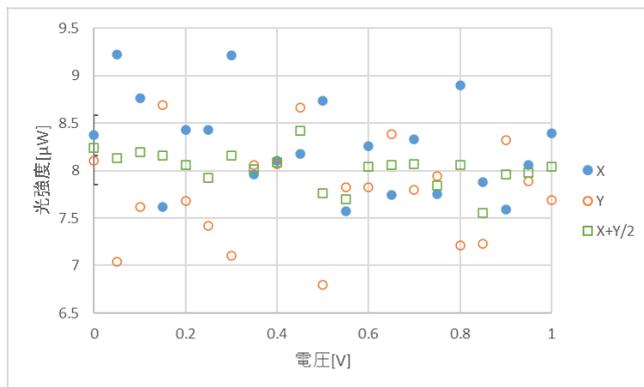


図10.位相変調器2の特性測定 間隔60秒

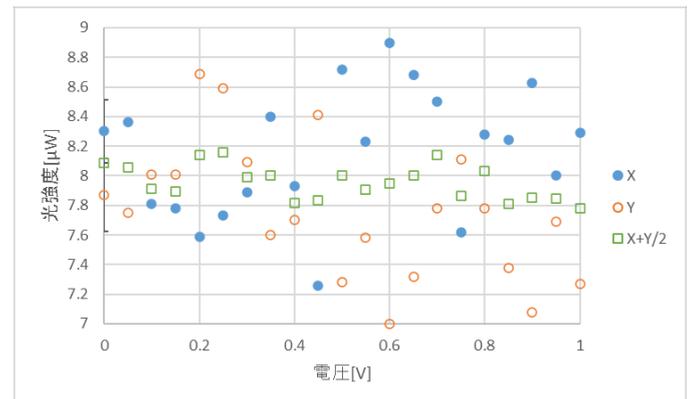


図11.位相変調器2の特性測定 間隔10秒

Serial Number 7284-1の位相変調器2を用いた際、また測定間隔を変えた際にも測定結果のグラフに大きな変化は見られなかった。原因として位相差が安定せず、干渉現象が安定していないこと、電圧を変化させる間隔が大きいことが挙げられる。

5. 結論

干渉計部品の特性測定を行い、実際に干渉計を組むことによって干渉計の特性測定を行った。2入力2出力ファイバーカプラーは先行研究と動作を比較し、運用方法を決定した。ピエゾドライバは入力0-4Vの範囲で出力が入力に比例し、利得が2.45であることが分かった。干渉計の特性測定では、出力の分散の増大を確認したが、ピエゾ素子の印加電圧に対して明確な周期のある振る舞いは観察できなかった。

6. 参考文献

[1] 渡辺 大貴, 「波長 830nm のレーザー光を用いたファイバー干渉計部品の特性測定」, 電気通信大学卒業論文, (2018)

