

半波長位相差フィルムによる微小なアライメントのずれの実現

宮本研究室 沼倉 一

1. 序論

ひねり干渉計によるビーム形成のためには、2本のビームの間に互いに直交する方向に微小な位置のずれと微小な伝搬方向のずれを導入する必要がある。本研究の目的は干渉計作成の第一段階として、ビーム形成に必要なビーム径の1/1000程度の位置のずれを安定に実現することである。

2. 原理

2.1 ひねり干渉計

ひねり干渉計は入力ビームを2つに分けて、直交する方向に位置と運動量をずらし、位相差 π で重ね合わせることで入力とは異なるビームを形成する[1]。y方向の位置のずれを $\pm \Delta y$ 、x方向の運動量のずれを $\pm \Delta k$ とする。ただし適当なスケールを用いて無次元化した表記を用いる。入力の複素振幅を $f(x, y)$ とし、 $\Delta y, \Delta k$ の1次の項まで考慮した時の出力は以下である。

$$e^{\pm i \Delta k x} \left(1 + \Delta y \frac{\partial}{\partial y} \right) f - e^{\mp i \Delta k x} \left(1 - \Delta y \frac{\partial}{\partial y} \right) f \cong 2 \Delta y \frac{\partial}{\partial y} f \pm 2 i \Delta k x f = \pm 2 i \Delta k \left(x \pm \frac{\Delta y}{i \Delta k} \frac{\partial}{\partial y} \right) f \quad (2.1)$$

式中では Δk が微小であると仮定して近似されている。 $\Delta y = \Delta k = \varepsilon$ として、ひねり干渉計にガウスビームを入力した時の出力は以下となる[2]。この時、 $x = \rho \cos \varphi, y = \rho \sin \varphi$ である。

$$\pm 2 i \Delta k \left(x \pm \frac{\Delta y}{i \Delta k} \frac{\partial}{\partial y} \right) e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2}} = \pm 2 i \varepsilon (x \pm i y) e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2}} = \pm 2 i \varepsilon \rho e^{\pm i \varphi} e^{-\frac{\rho^2}{2}} \quad (2.2)$$

位相が方位角方向に変化するため、光軸上では位相が定まらず、強度が0となる位相特異点を持ったビームが出力される。

2.2 位置のずれの発生

位置のずれを発生させるために、本研究では半波長位相差フィルム(Edmund Optics, $\lambda/2$ ポリマー位相差フィルム)を使用する。半波長位相差フィルムは屈折率が電場の方向に依存する異方性媒質である。そのため、素子の進相軸または遅相軸を実験台に対して水平方向にし、設置角度を傾けて設置することで直交する偏光成分間に出射位置のずれを生じさせることができる。

3. 半波長位相差フィルムの軸の特定

3.1 測定方法

1. 図1のように偏光板1の透過軸を45°、偏光板2は-45°として互いに直交するように設置した。
2. 半波長位相差フィルムを偏光板の間に設置し、ホルダーの角度を0°~360°まで10°ずつ回転させながらパワーメータを用いて透過光のパワーを測定した。
3. 測定したパワーに対してMATLABを用いて、正弦関数でフィッティングを行った。

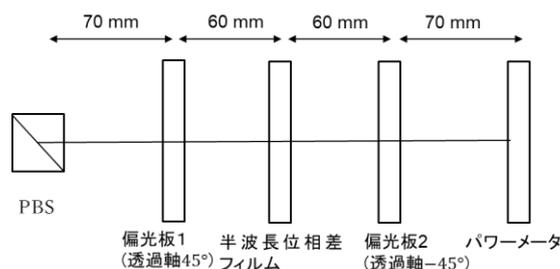


図1 半波長位相差フィルムの軸の特定

3.2 結果

測定した透過光のパワーとホルダーの回転目盛りの関係を図2に示す。図中の点は測定値で実線はフィッティング結果である。フィッティング結果から、進相軸の角度が0°あるいは90°となる半波長位相差フィルムのホルダーの角度は $54.8 \pm 0.7^\circ$, $144.8 \pm 0.7^\circ$ と求められた。不確かさは使用した2枚の偏光板の透過軸を特定したときの不確かさの和とした。運用する際にはホルダーの角度が 55.0° となる軸を軸A, 145.0° の軸を軸Bとして運用する。

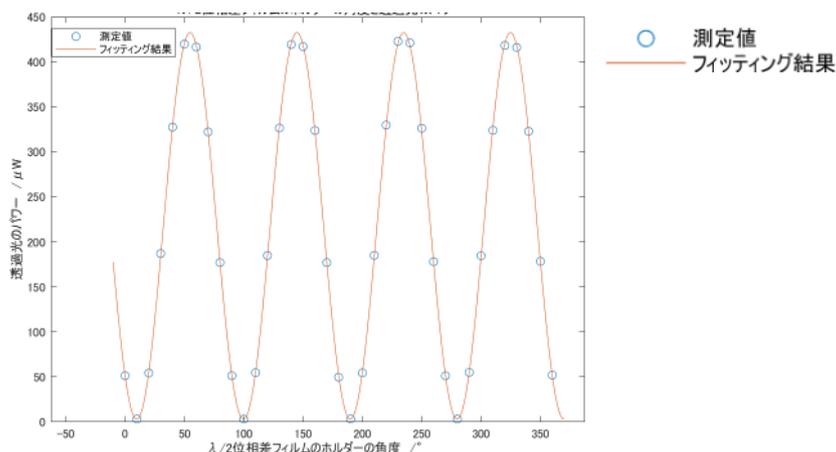


図2 半波長位相差フィルムの回転角と透過光のパワー

4. 半波長位相差フィルムによるずれの測定

4.1 半円形の強度分布の撮影方法

ビームの一部をエッジで遮って半円形にし、エッジ位置を特定することでビーム位置の

変化を測定することを試みた。偏光成分間のエッジの位置の差から偏光成分間の位置のずれを求める。図3の光学系を用いて強度分布を撮影した。

1. 半波長位相差フィルムの軸 A を水平方向，軸 B を鉛直方向とした状態を設置角度 0° とした。
2. 偏光板 2 の透過軸の角度を 0° にして， 0° の偏光成分の強度分布を撮影した。続いて偏光板 2 の透過軸の角度を 90° にして 90° の偏光成分を撮影した。
3. フィルムを水平方向の軸を中心に回転し，設置角度を 5° ずつ 20° まで変えながら，2.の手順で強度分布を撮影した。
4. 軸 B を水平方向にして 1~3 の手順で強度分布を撮影した。

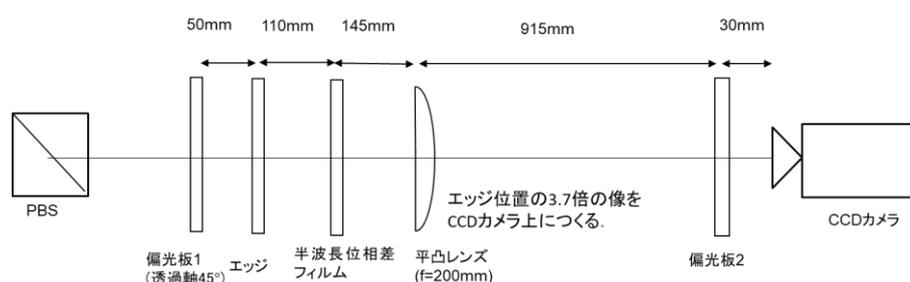


図3 偏光成分間の位置のずれの測定

4.2 データの処理の方法

1. エッジ部分を含むようにビームの中心付近(強度分布の x 座標 974-1025)の強度分布を抽出した。
2. ノイズを減らすために，同じ y 座標の強度を平均した。
3. 強度の最大値が異なるデータを比較するために，強度の最大値付近の4点の平均値から最大強度を求め，データを規格化した。
4. エッジ部分の3点を選び，直線の式でフィッティングした。規格化した強度の値が0.5となる y 座標をエッジの位置として求めた。
5. 半波長位相差フィルムを設置する角度とエッジの位置の関係のグラフを作成した。偏光成分間でエッジ位置に変化が見られる場合，直線の傾きに差が見られると考えられる。

4.3 実験結果

半波長位相差フィルムを設置する角度とエッジの位置の関係を図4, 5, 表1に示す。結果からは設置する角度とエッジ位置の関係式が偏光成分間で不確かさの範囲で一致し，エッジ位置のずれを観測することができなかった。データの処理方法や撮影方法を改善し，エッジ位置の特定精度を向上させる必要がある。

5. 結論

半波長位相差フィルムの軸の特定を行い，進相軸の角度が 0° あるいは 90° となる半波長位

相長フィルムホルダーの角度を $54.8 \pm 0.7^\circ, 144.8 \pm 0.7^\circ$ と求めた。進相軸または遅相軸を水平方向としてフィルムの設置角を変えることで偏光成分間にビームの位置のずれの導入を試みたが、ずれの大きさを観察することはできなかった。今後はデータの処理方法や撮影方法を改善することで特定精度の向上を目指す。

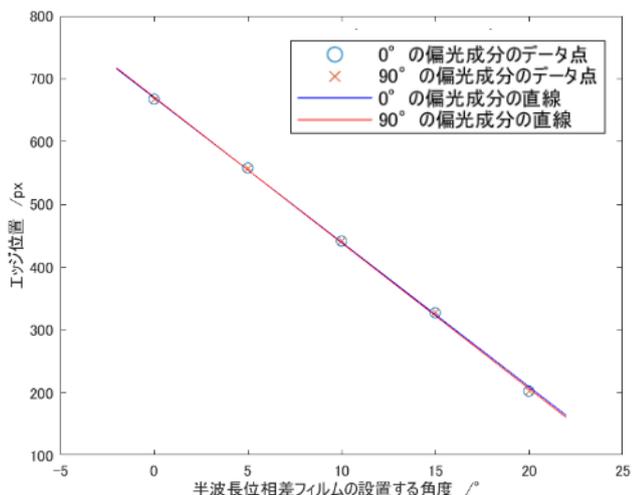


図4 軸 A を回転角としたときの設置角度とエッジ位置の関係

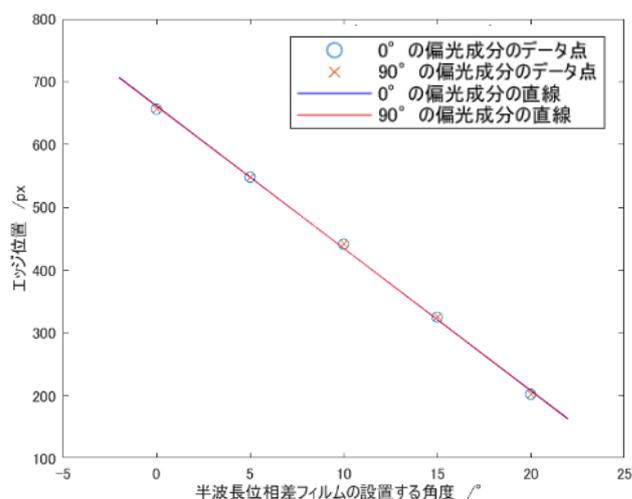


図5 軸 B を回転角としたときの設置角度とエッジ位置の関係

表1 設置角とエッジ位置の関係式

回転軸	0°の偏光成分	90°の偏光成分
A	$y = (670 \pm 2) - (23.0 \pm 0.3)x$	$y = (671 \pm 3) - (23.2 \pm 0.3)x$
B	$y = (662 \pm 3) - (22.7 \pm 0.4)x$	$y = (661 \pm 3) - (22.6 \pm 0.4)x$

6. 参考文献

- [1] 宮本洋子, 「光渦と角運動量」, 数理科学, No.597, 49-55, (2013)
- [2] Yoko Miyamoto, C T Samlan, Surya Gautam, Dinesh N. Naik, Nirmal K. Viswanathan, "Correction to spatial mode transformation in a modified interferometer", Proc. SPIE Vol. 11522, 115220A (2020)