

プリズムシートの屈折特性評価と MOT 光への応用検討

岸本研究室 2010345 紫藤峻

1. 研究背景と目的

現在本研究室ではレーザー光によって、原子を冷却、束縛する手段である磁気光学トラップという方法の研究を行っている。その中でも特に、回折格子(grating)を用いた、grating MOT の研究に力を入れている。

しかし、grating MOT には回折格子が非常に高価であり、研究に多額のコストがかかってしまうという問題がある。例として図 1 に実際に grating MOT に使用している、回折格子を示す。この回折格子は約 2 cm 四方であるが、150 万円以上する。

以上の問題を解決するために本研究では grating MOT において、回折格子の代わりになりうる素子としてプリズムシートに注目した。プリズムシートは回折格子に比べて、安価(本研究では 2 万円以下のものを使用)で手に入り、光を屈折する性質を持つ。

よって、本研究の目的はプリズムシートの屈折特性を評価し、MOT において、回折格子の代わりになりうる素子であるかを分析することである。

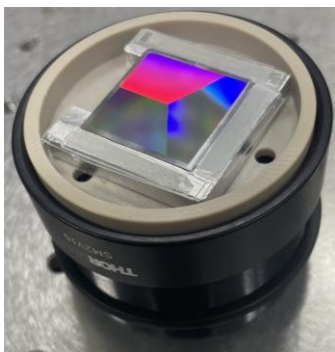


図 1 実際の回折格子

2. プリズムシートについて

本研究で使用したプリズムシートの形状は 2 種類あり、のこぎり波型と三角波型である。図 2, 3 にそれぞれの形状を示す[1]。

LP□□-□□



図2 のこぎり波型のプリズムシート([1]より引用)

LPV□□-□□

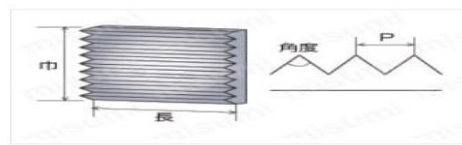


図3 三角波型のプリズムシート([1]より引用)

図2, 3にあるように、角度 θ とピッチの大きさをそれぞれ定義すると、LP θ pitch, LPV θ -pitch で表される。材質はアクリル樹脂(PMMA)であり、透過型となっている。

3. 実験概要と先行研究について

本研究で使用したレーザー光の波長は780nmである。光ファイバーから出たレーザー光をプリズムシートの平らな面から垂直に照射し、屈折した光から透過率や屈折光の効率、屈折角などを測定した。なお、透過率は出てきた屈折光の強度をすべて足し合わせたものを、屈折光の効率は屈折光のなかで最も強度の強かったものを使用して求めた。

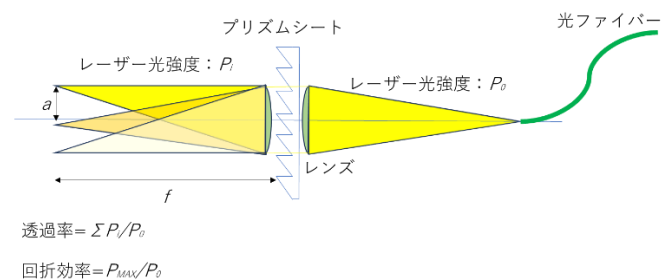


図4 実験概要

次に MOT 先行研究[2]より本研究の目標を設定した。先行研究より Grating MOT において、回折格子の理想的な条件は回折格子の枚数を N とすると、回折効率が $1/N$ 、回折角が 45° である。よって、本研究ではプリズムシートを MOT に応用する際、3枚使うと仮定して、屈折の効率 33%、屈折角 45° を目法に設定した。

4. プリズムシートの屈折率評価およびレーザー特性評価

まず、今回使用したプリズムシートの屈折率を2種類の方法で求めた。1つ目は屈折角を測定し、その値から計算した。2つ目はプリズムシートの平らな面での裏面反射を測定し、その値から求めた。まず、前者の結果を示す。この測定ではLP40-0.3、LP40-0.9、LP23-3.0の3つで測定を行った。以下ではLP40-0.3を例にする。図5はLP40-0.3の屈折光である。これらの屈折光の中で、左から2番目の光が一番強度が強いので中心からこの屈折光までの距離を測定し、そこから屈折角を求めた。そして、その結果から屈折率を見積もったところ1.44となった。他の2つのプリズムシートも同様に求めたところ1.43、1.45となった。

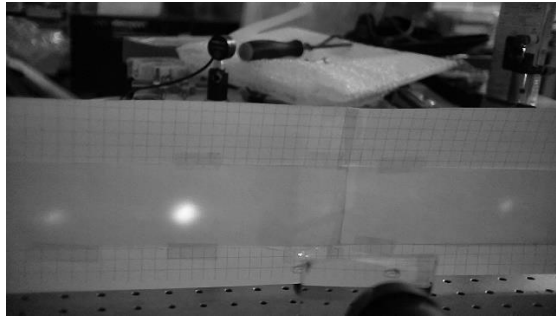


図5 LP40-0.3の屈折光

次に後者の結果を示す。レーザー光をプリズムシートの平らな面から垂直に入射し、その時の反射率から屈折率を見積もったその結果1.45となった。以上の結果より、屈折率は 1.44 ± 0.01 となった。

よって、本実験でのレーザー特性評価は屈折率1.44として行った。

次にプリズムシートのレーザー特性評価について以下に示す。p、s偏光それぞれについて、透過率等の結果をまとめたものを表1、2と図6に示す。

表1 p偏光の測定結果

型番	入射角	透過率	屈折効率	屈折角
LP23-3.0	23	0.903	0.901	10.8
LP40-0.3	40	0.792	0.540	26.2
LP40-0.9	40	0.915	0.637	25.6
LPV140-0.01s	20	0.905	0.232	8.22

表2 s偏光の測定結果

入射角	透過率	屈折効率	屈折角
23	0.915	0.913	10.8
40	0.559	0.510	26.9
40	0.643	0.588	26.2
20	0.876	0.230	7.49

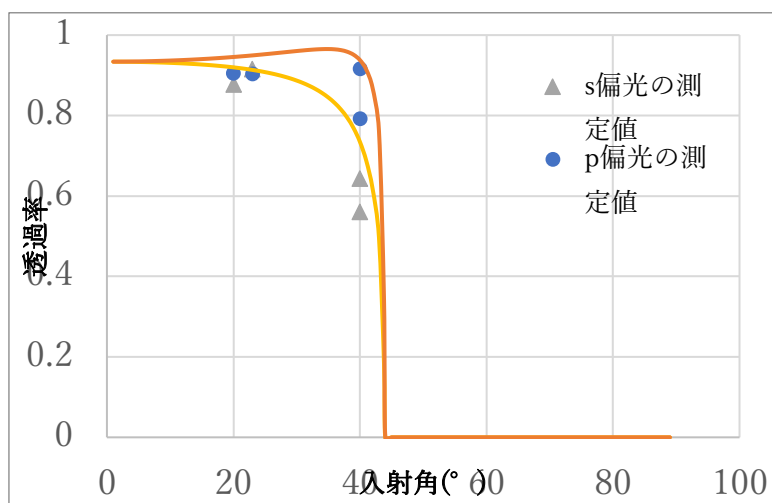


図6 入射角と透過率の関係

表1, 2のLPV140-0.01sの透過率と屈折効率をしてみると大きく差があることが分かった。また、図6より、透過率は比較的理論値に近い値をとっているが同じ入射角でも、ピッチの大きさによって差が出てしまうことが分かった。

5. 結論および今後の課題

以上の結果より、結論として、屈折効率は形状に、透過率はピッチの大きさに影響を受けやすいことが分かった。また、MOTへの応用条件である、屈折効率33%は満たせているものが多かったが、屈折角45°は1つも満たせていなかった。よって、屈折効率を維持しつつ、屈折角を大きくする方法を確立することが今後の課題となった。

また、今後取り組むべき課題として、図7のように屈折光を拡大すると縞模様が観測される。この縞模様を分析し、MOTへの影響を最小限にするためのピッチの大きさについて見積もり、評価していく。

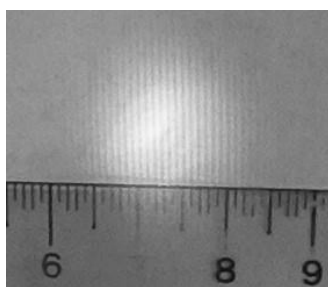


図7 屈折光の拡大図

参考文献

- [1] プリズム | 日本特殊光学樹脂 | MISUMI(ミスミ) (misumi-ec.com)
- [2] PHYSICAL REVIEW A 96, 033636 (2017)、Two-dimensional grating magneto-optical trap、Eric Imhof, Benjamin K. Stuhl, Brian Kasch, Bethany Kroese, Spencer E. Olson, and Matthew