

ピンホール列を用いた光のガイドの試作

森永研究室 B4 藤井隆太郎

1.目的

本実験では多数のピンホールを直線上に並べ、そのピンホール列をどのように光の波が伝搬するか調べることにより導波路としての利用の実現性を探る。

光ファイバーという極限にまで損失の小さな導波路が実現されている中、なぜピンホールを用いるかという透明な媒質を必要としない、光波の通るところに何も無いという光ファイバーにはない特徴を持つからである。

ピンホールを用いることである程度の損失がみられるが、特殊な波長の電磁波のガイド、原子のガイド、光を導波しその光で原子をガイドすることができる利点がある。また損失はピンホールの数を増やすことによって原理的には0に近づけられる。

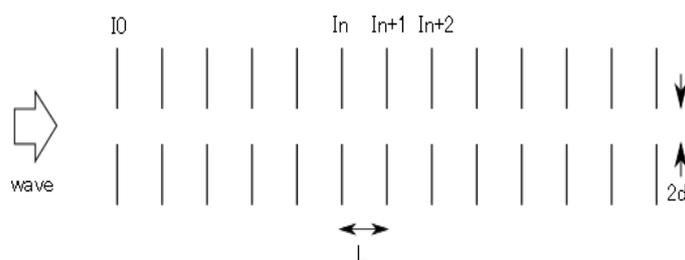


図 1.ピンホール列

2.ピンホール導波路

ピンホール列は幾何光学的には無意味な構造である。光が通るかどうかは最初と最後のピンホールと光線の位置関係で決まり間のピンホールの存在とは無関係である。

しかし光を波として考えた場合

$$I_{n+1} = \left\{ 1 - \beta \left(\frac{\lambda L}{d^2} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} I_n \quad (1)$$

という式が与えられる。

I_n はn番目のピンホールの光強度、 λ は波長、 L はピンホールの間隔、 d はピンホールの半径式(1)を見ると単位長さあたりの損失は \sqrt{L} に比例することがわかる。

このことからピンホールの間隔を1/4にすると単位長さあたりの損失は半分になることがわかる。

ピンホールの間隔を短くすることで理論的には単位長さあたりの損失をいくらでも小さくすることができる。

3.実験

実際にピンホール列をどのように導波していくのか。直径 0.5mm のピンホールを 20 枚、5mm 間隔で並べたものを製作しレーザー光の透過していく様子をフォトダイオードを用いて調べた。また導波路を曲げた時に透過光強度がどのように変化するか 20 枚目のピンホールの透過光強度を測定した。

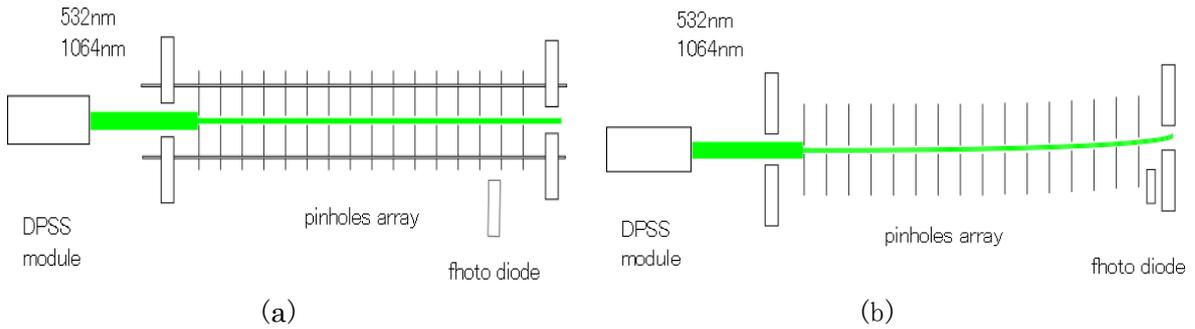
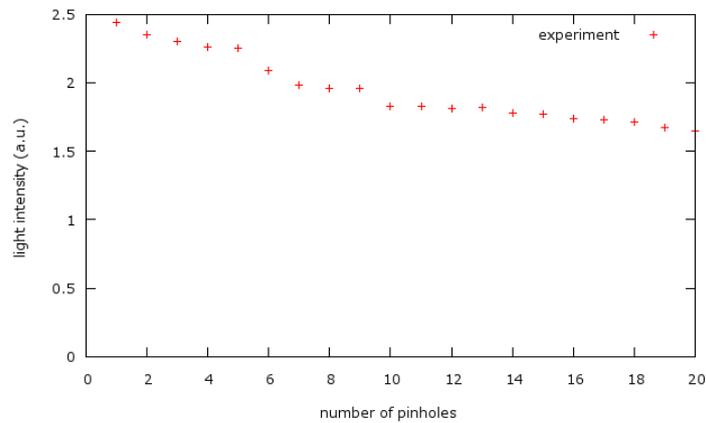


図2. (a)実験装置の概略図 (b)導波路を曲げた時の装置の上面図

4.結果、考察

測定結果はグラフ 1 となった。

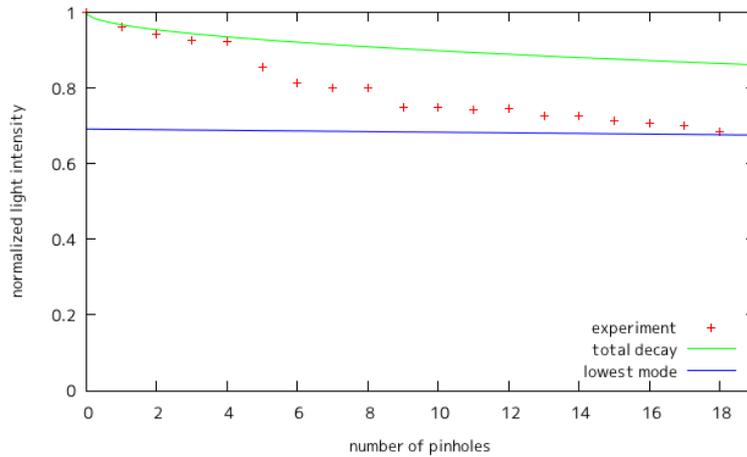


グラフ 1 各ピンホールにおけるレーザー光の透過光強度

単調減少する形となった。

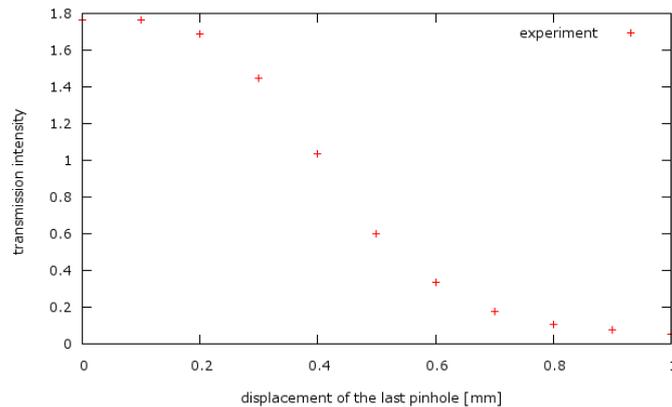
では、実際どのくらいの透過率なのか理論値と比較してみる。

理論値と比較したグラフはグラフ 2 に示す。



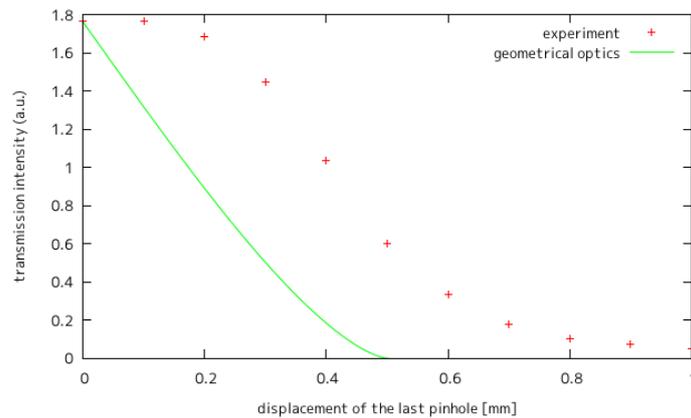
グラフ 2. 理論値との比較

最初に入射する光の強度を1としたときに理論値では20枚を透過しても0.8以上の値となっている。しかし実験では5枚目あたりから急に光強度が減衰していることがわかる。理論値通りに透過せず急に減衰した原因としてはピンホール列を支えている棒が曲がるなどして5枚目あたりでピンホールの位置が直線上からずれていると考えられる。ピンホールの位置がずれると急速な減衰が発生するのか。今回最初のピンホールにレーザー光が平面波として入ってくるので高次のモードを含んでおり高次のモードは速く減衰するので最初速い減衰がみられそのあとは主に最低次のモードが残るので減衰は緩やかになる。しかしピンホールが途中ずれていると再び高次を含む横モードの重ね合わせとなり減衰が急峻となる。そのため5枚目から急に減衰していると考えられる。ピンホールをずらした時の透過光強度について、測定結果はグラフ3となった。



グラフ 3. 最後のピンホールの透過光強度

ピンホールの位置がずれるにあたって透過光強度も落ちている。幾何光学と比較するとグラフ4となった。幾何光学ではレーザー光を光線として扱うため、最初のピンホールと最後のピンホールの位置が0.5mmずれていると光強度は0になってしまう。しかし実験ではそうならず1mmずれていても、小さい値ではあるが、光強度は0にはならなかった。



グラフ 4. 幾何光学との比較

5.まとめ

今回はピンホール 20 枚を並べて光のガイドの実験を行い光強度の変化について調べることができた。またピンホールの位置が部分的にずれているところがありそれが損失を増やしていることが分かった。今後はピンホールがずれることなく並べる方法について探っていきたい。またピンホールの数を増やしていったときにどのように光強度が変化していくのか、ピンホールの間隔をずらしていくとどのように変わっていくのか実験的に調べていく必要がある。

参考文献

森永実(2010)「不透明マスク列によるビームの横モード操作」『電気学会光・量子デバイス研究会資料』 OQD-10-46-54 15

森永実(2012)「ラジアル偏光モードで発振するレーザーの開発」『天田財団研究概要報告書・国際交流報告書』 Vol.24 pp.215-220.

富田康生(1997)『光波エレクトロニクス』培風館 149pp.