

# 単一原子のトラップ及び観測のための 高 NA レンズの 開発

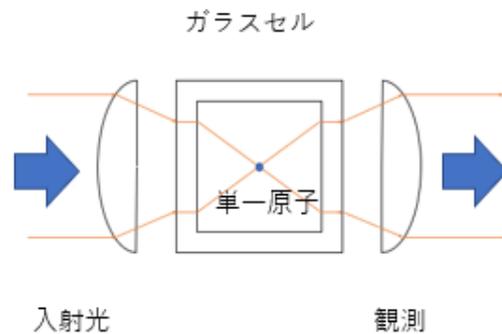
Ⅲ類 理工学プログラム 1810033 飯倉 佑樹

## 1. 序論

近年、の量子技術が世界各国の政府や民間企業に注目されている。1982年にリチャードファイマンは「quantum mechanical computer」というものを考えた。これは量子2つのペアのうち一方の量子のスピンの上向きで観測された際にもう一方は瞬時に下向きで観測されるような2つの量子が強い相互関係の状態を持つ「量子もつれ」や観測するまでスピンの上向きと下向きの状態が両方存在する「重ね合わせ状態」の性質を利用して、古典コンピュータでは不可能な計算を量子デバイスで実現するという考えで、そこから派生して生まれたのが、「量子コンピュータ」と「量子シミュレーション」である。特に我々の研究室では研究している。

「量子シミュレーション」とはある量子系を用いてメモリや計算コストが指数関数的に増加する量子多体系を別の量子系で再現し、観測するものである。現在、我々の研究室では中性原子の $^{87}\text{Rb}$ 原子を MOT などの光学系装置に単一にトラップし、リユートベリブロッケードを用いて複数個の原子間に量子もつれ状態を生成することで様々な量子多体系を再現可能な量子シミュレータの開発を目指して研究している。そして、原子をトラップする光のスポット

をレンズで集光するのだが、現在使用している光学系は原子を真空のガラスセル内に入れてあり、そのガラスセル内にレンズも入れられているため、レーザースポットなどのレンズの調整



ができない。そのため本研究では先行研究[1]を参考にして光線追跡プログラム (Zemax) によるカスタムレンズのシミュレーション、カスタムレンズの作成、カスタムレンズで集光したビーム径の評価を行った。

図 1.1 カスタムレンズの使用図

## 2. 実験と結果

### 2-1. 光線追跡プログラム (Zemax) によるカスタムレンズのシミュレーション

先行研究を元に光線追跡を用いてレーザーの焦点でのビーム径が  $1.4\ \mu\text{m}$  程度になるのかを確認した。それに伴い、

先行研究と我々の研究室では使用するレーザーの周波数とガラスセルが異なるためビーム径の大きさがどの程度変化するかを調べた。先行研究から本研究での違いは周波数が 852nm から 780nm、ガラスセルの材質は Silica から N-BK7 である。そして、レンズの製品番号や配置の間隔は以下のようになった。

表 2. 1 NA=0.4, 波長 852nm, 焦点距離 28.9 mm のレンズ配置

	曲率半径/mm	厚さ/mm	材質	製品番号
1	∞	4	NBK7	LC1120
2	51.5	1.3	Air	
3	102.4	3.6	NBK7	LB1676
4	-102.4	0.2	AIR	
5	46	3.8	Silica	LA4380
6	∞	0.2	Air	
7	32.1	3.6	NBK7	LE1234
8	82.2	0.2	Air	
9	15.5	5.6	CaF <sub>2</sub>	LE5802
10	28.0	5.0	Air	
11	∞	5	N-BK7	VW
12	∞	13.25	Vacuum	

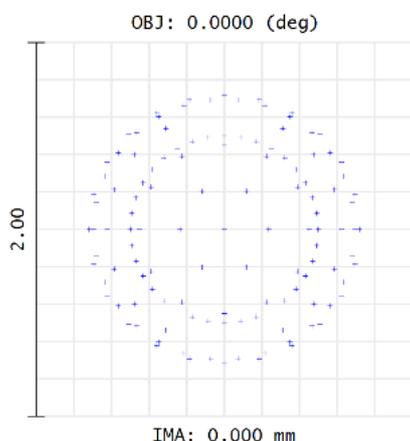


図 2.1 波長 780nm でのビーム径(ガラス素材：N-BK7)

焦点位置でのビーム径の大きさを見ると、およそ  $1.4\mu\text{m}$  となっているため、このレンズ間隔をもとにカスタムレンズを作成した。

### 2-2. カスタムレンズの作成

レンズ同士の間隔を決めるスペーサーの図 3.1 の A は先行研究[1]と同じである 0.4mm プラスチックスペーサー (SM1S01, thorlabs) を用いた。B, C, D は先行研究[1]とは違う厚さのスペーサーを使用しているため、それぞれレンズの間隔が参考文献と同じになるようにスペーサーを削った。

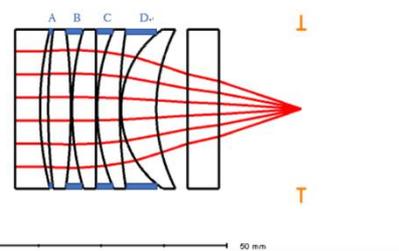


図 2.2 カスタムレンズのレイアウト

表 2.2 スペーサーの厚さ

スペーサー	理想の厚さ/mm	実際に削った厚さ/mm
B	2.35	2.4
C	2.31	2.4
D	4.35	4.3

### 2-3. カスタムレンズの評価方法

制作したレンズの焦点距離でのビーム

径を調べるために図 2.3 のようなレンズの配置を作り、ccd カメラ (1 画素  $8.3 \mu\text{m}$ ) で測定した。製作したレンズのビーム径は非常に小さいので ccd カメラで撮影することは難しく、2つのレンズを用いて拡大して撮影を行った。焦点距離が  $f=8\text{mm}$ ,  $f=200\text{mm}$  のレンズを用いたのでレンズのビーム径の  $\frac{200}{8} = 25$  倍の大きさで ccd カメラで撮影した。撮影した画像から強度分布図を作成し、ビーム径を測定した。

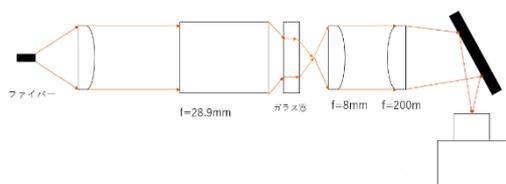


図 2.3 ビーム径の評価方法

#### 2-4. 評価

ビームの出力は  $40.03\text{mA}$  で ccd カメラでの撮影を行った。

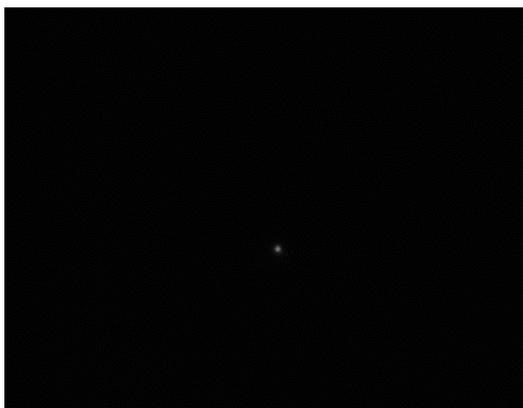


図 2.4 ccd カメラによる撮影図

図 2.4 を用いて強度分布図を作成して、ビーム径の大きさを測定した。

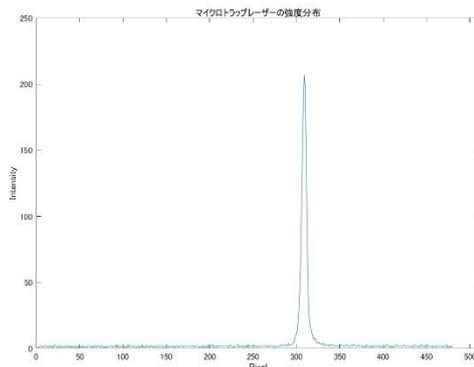


図 2.5 焦点での強度分布

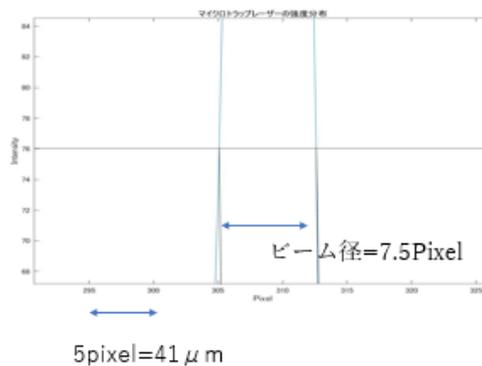


図 2.6 強度分布からのビーム径の算出

半値全幅は  $7.5\text{Pixel}$  ということが分かった。そして、 $1\text{Pixel}$   $8.3 \mu\text{m}$  より、

$$7.5 \times 8.3 = 62 \mu\text{m}$$

となり、ccd カメラにより観測されたビーム径の大きさは  $62 \mu\text{m}$  と計算できた。そして、この値は製作したレンズのビーム径の大きさの 25 倍なので

$$62 / 25 = 2.5 \mu\text{m}$$

よって、製作したレンズのビーム径は  $2.5\ \mu\text{m}$  ということがわかった。

作成したレンズのビーム径は先行研究に示されたビーム径のおよそ2倍程度の大きさになってしまった。原因として考えられるのは ccd カメラの結像位置のずれ、カスタムレンズの間隔のずれが考えられる。ccd カメラの位置の調整を今回微調整できるマウントを使用できなかったため、正確に焦点位置での撮影ができなかった可能性がある。また、レンズ同士の間隔を調整するスペーサーは理想の厚さより多少変化してしまった。そのためこのことを踏まえて光線追跡プログラムをもとに  $1\ \text{mm}$  間隔でレンズをそれぞれずらした時最大で  $3.2\ \mu\text{m}$  のビーム径となることが分かった。

### 3. まとめ

先行研究をもとにカスタムレンズのシミュレーション、カスタムレンズを作成、拡大光学系を用いてレンズの評価を行った。結果としてカスタムレンズのビーム径が  $2.5\ \mu\text{m}$  であった。

今後は観測用のレンズとして同様のものを製作する。2つのレンズを用いて実際に単一の原子のトラップを行い、観測する。

### 4. 参考文献

Rev. Sci. Instrum. 91, 043104