

# 低速リチウム原子を用いた Talbot 干渉計の研究

鈴木宗美 電子物性工学専攻 清水研究室

2004年2月27日

## 1 研究の目的

我々の研究室では  ${}^7\text{Li}$  原子のレーザー冷却・磁気光学トラップの研究を行っており、その応用として磁気光学トラップした Li 原子を光源とした Talbot-Lau 干渉計を組むことにある。さらに、Talbot-Lau 干渉計の応用として Li 原子と Back ground gas との衝突による decoherence を観測することが更なる目的となる。本研究の利点は、Talbot-Lau 干渉計の光源に冷却原子（低速リチウム原子）を用いることにより速度が数十 m/s となるので Li 原子の物質波は数 nm となり、Talbot 長  $L_T = d^2/\lambda$  を数 cm と設定できるので、Clauser の熱的原子線を用いた干渉計 [1] よりも短いコンパクトな干渉計ができ、干渉計のアライメントが容易になることである。また、マッハツェンダー型の干渉計で扱う回折格子の周期よりも 2 桁大きくできる（サブミクロン程度）。

## 2 Talbot 干渉計の原理

Talbot 干渉計は、Talbot 効果を利用したものである。Talbot 効果とは、(図 1 参照) 周期  $d$  の回折格子  $G_d$  に照射した単一波長  $\lambda$  の平面波の光によってその回折格子の背後の距離  $L_T = d^2/\lambda$  (Talbot 長) の整数倍の所に回折格子の像と同じ像であるフレネルイメージがつくりだされることである。その像の所に、同じ構造の回折格子  $G_m$  を設置して格子方向にシフトさせることにより光 (原子) の透過率が変化する。これを利用して縞の観測を行う。

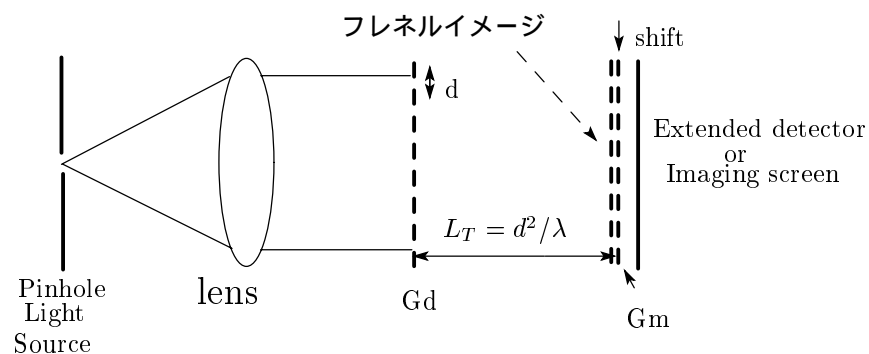


図 1: Talbot 干渉計

### 3 Talbot-Lau 干渉計の構成

図2を参照。Li 原子 MOT(磁気光学トラップ) から 23cm 下に Li 原子の共鳴遷移周波数 (波長 670.962nm) の ProbeBeam を入射している。MOT から Li 原子を開放する直前に共鳴遷移周波数 Pushbeam を  $100\mu s$  程度入射することで、原子の速度を  $20m/s$  に調整している。Li 原子 MOT から ProbeBeam の間に 3 枚の (周期  $d = 10\mu m$  開口率  $f = 30\%$ ) grating を設置している。Li 原子 MOT 側から第 1 grating を Source-grating ( $G_s$ ), 第 2 grating を Diffraction-grating ( $G_d$ ) 第 3 grating を Mask-grating ( $G_m$ ) と呼ぶ。Li MOT から開放された原子源は、有限幅の広がりを持つためフレネルイメージのコントラストが低下してしまう、それを解消するため  $G_s$  を設置することで  $G_s$  の各々のスリットが理想的な点光 (原子) 源に近づくようにしている。 $G_d$  は、Talbot 効果によって  $G_m$  の直前にフレネルイメージをつくり出す。 $G_m$  は、格子方向にシフトすることによって干渉計を透過する原子個数を変化させる。 $G_m$  の横に PZT (ピエゾ圧電素子) が設置してあり PZT に電圧をかけることにより  $G_m$  をシフトさせている。PZT は電圧を 0V から 150V までかけることができ、最大 150V で  $15\mu m$  (grating の 1.5 周期) 変位する。MOT から開放され、干渉計を透過して ProbeBeam に到達した原子の蛍光を Photodiode で検出し、その出力電圧から TOF 信号を測定して、 $G_m$  のシフトによる TOF 信号の強度の変化から原子透過個数の変化を見積もる。

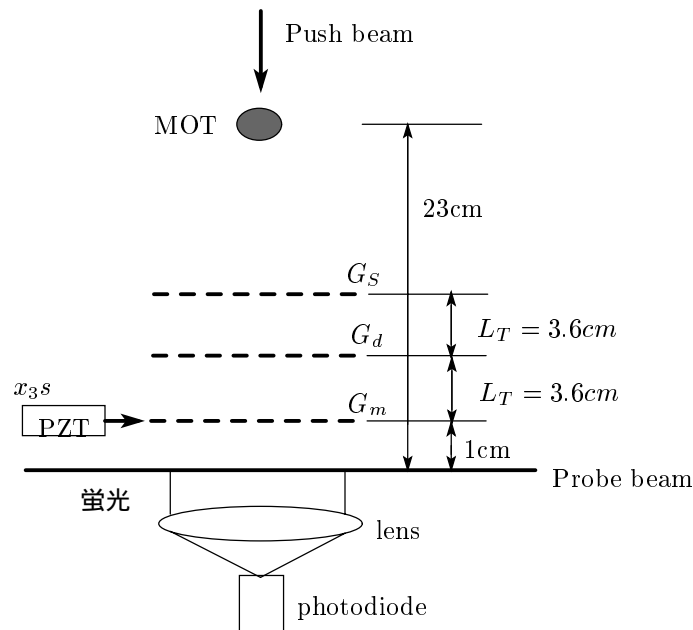


図 2: Talbot-Lau 干渉計の構成

## 4 実験

はじめに干渉計を設置しない場合の TOF 信号を測定した。図 3 に示す。その際に図 4 のタイミングで MOT から原子を開放する直前に PushBeam(強度:60mW) を  $\Delta t = 100\mu s$  入射した。PushBeam の周波数を調整することにより 10ms に TOF 信号のピークが来るようにした。次に、干渉計を MOT と ProbeBeam の間に挿入して、TOF 信号を測定した。図 4 のタイミングチャートを 1cycle として 10cycle 行い平均化した 1 データをとり、PZT の電圧を 150V から 10V づつ変化させて同じ測定を 8 回繰り返した。

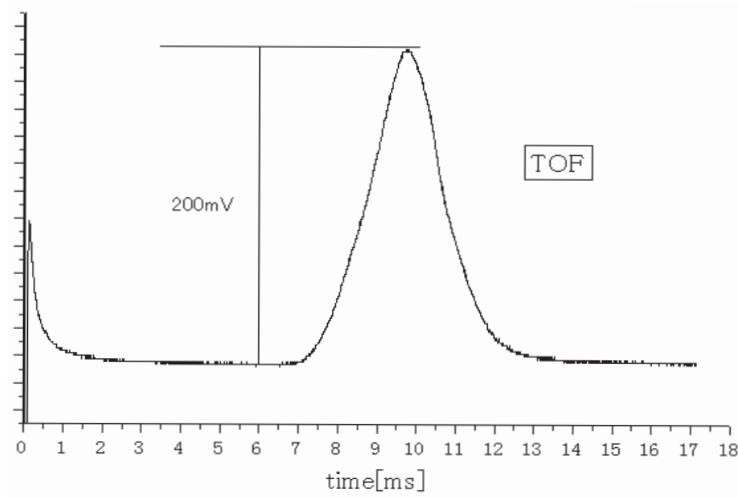


図 3: 干渉計がない場合の TOF 信号 (縦軸 Photodiode 出力電圧)

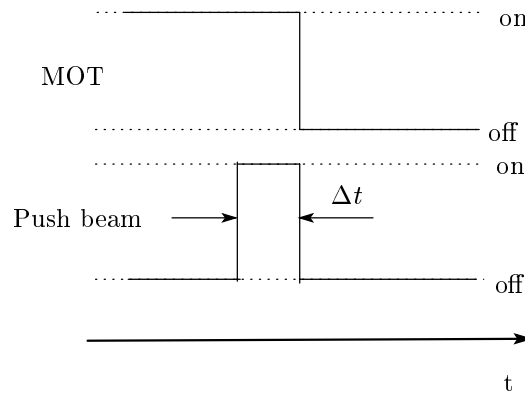


図 4: タイミングチャート 1cycle

## 5 結果

8データを足したTOF信号を図5上部に示す。PZTにかかる電圧を変えることでTOF信号の強度が変化することを確認した。これは、 $G_m$ をシフトさせることにより干渉計を透過する原子の個数が変化している。また、図5左下のグラフのように裾の線を基準としてそれぞれ8ms,9ms,10ms,11msについてTOF信号の強度を見積もり、gratingのシフトに対して図5右下のグラフにプロットして $G_m$ のシフトによる原子の透過個数が縞になっていることを確認した。

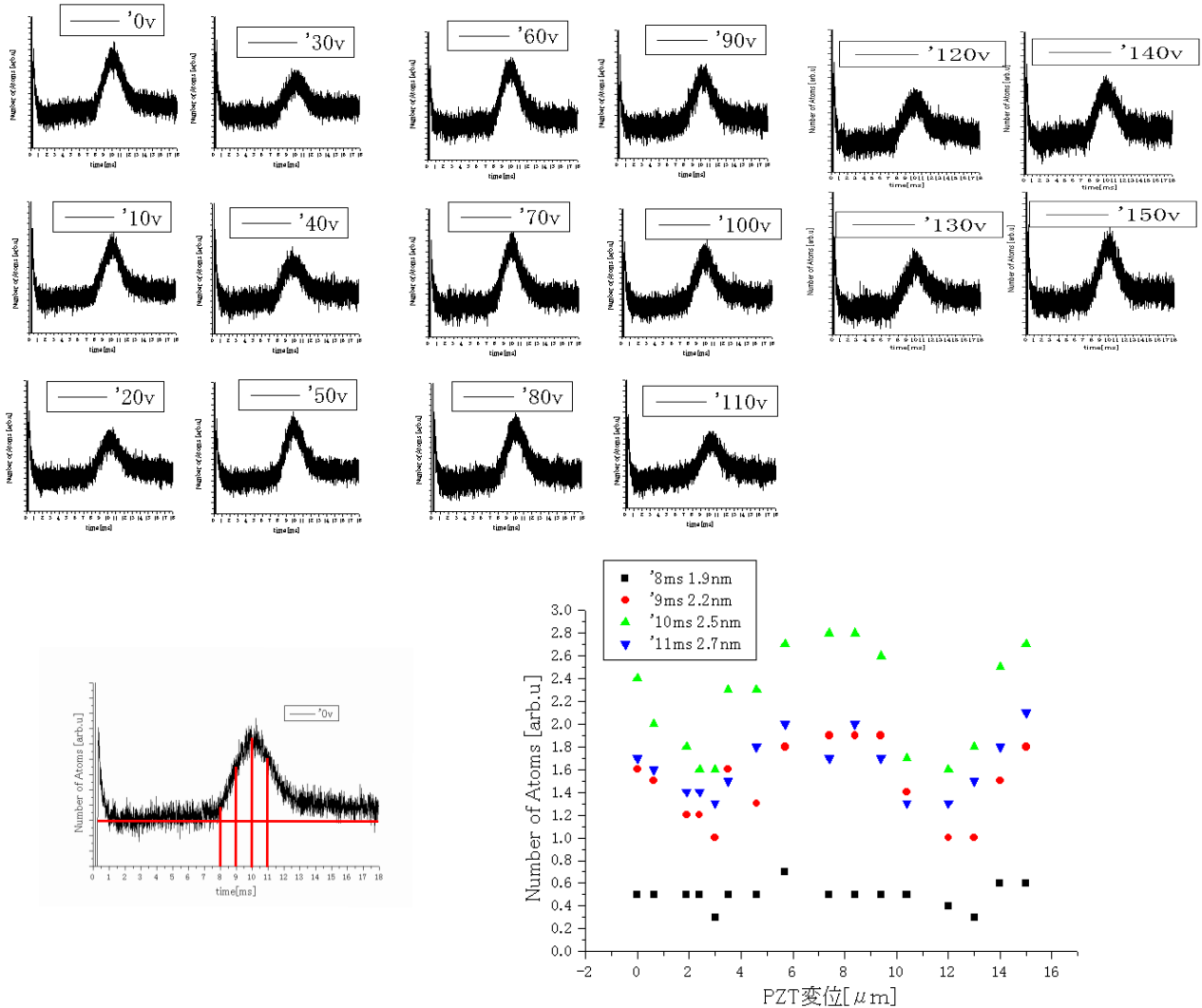


図5: 実験結果: $G_m$ のシフトによる原子の干渉計透過個数の変化

## 6 考察

$G_m$  のシフトに依存した干渉計を透過する原子個数の変化を TOF 信号の原子到達時間で、8ms(1.9nm), 9ms(2.2nm), 10ms(2.5nm), 11ms(2.7nm) についてそれぞれシミュレーションで計算した、グラフを図 6 に示す。実験値の縞の Visibility は、計算値よりも低くなった。

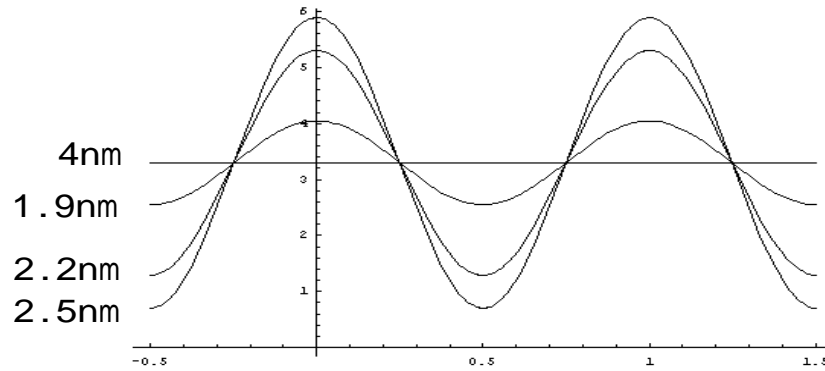


図 6:

表 1: visibility の比較

TOF 到達時間	原子波長	visibility 計算値	visibility 実験値
8ms	1.9nm	21%	0%
9ms	2.2nm	60%	31%
10ms	2.5nm	75%	27%
11ms	2.7nm	75%	18%

Visibility を実験値と計算値の場合で出した、表 1 に示す。実験値の縞の Visibility が、計算値よりも低

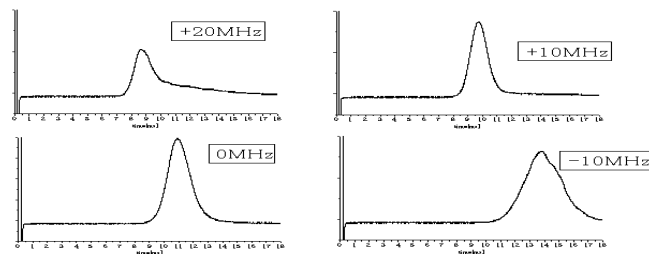


図 7: Push 光の周波数の揺らぎによる TOFsignal の変化

くなった。原因として Push 光の周波数が変化すると図 7 のように信号の強度とピークの位置が変化して透過する原子の数が揺らいでしまい Visibility が低下したと考えられる。この揺らぎを打ち消すためにはデータを取る際にたくさん積算する必要がある。しかし、Push 光の周波数を 10MHz 以内に安定化すれば、揺

らぎがなくなるのでデータを積算する回数を減らせると考えられる。さらに, $G_d$ によるフーリエイメージと $G_m$ との相対角度が $2\text{mrad}$ になってしまったことにより moire 縞が出来てしまい Visibility が低下したと考えられる。

## 7 まとめ

1. 低速リチウム原子を用いた Talbot-Lau 干渉計の縞の Visibility の計算を行なった。
2. Talbot-Lau 干渉計の grating-holder を作製した。
3. PZT の変位の測定をした
4. 低速リチウム原子を用いた Talbot-Lau 干渉計を組み縞を観測した。縞の Visibility は $27\%$  (波長: $2.5\text{nm}$ )であった。計算では, $75\%$ となったがこれは、回折格子のそれぞれの溝(格子)の平行度が相対的に傾いていることが原因と考えられる。Pushbeam の周波数の揺らぎによる TOF 信号の変化も原因と考えられる。

### 今後の予定

1. 実験の途中 MOT が不安定になることがありこの原因を追求する。
2. Push 光の周波数の揺らぎにより TOF 信号の強度とピークの位置が変化してしまうため Push 光の周波数を $10\text{MHz}$ 以内に安定化させる。
3. 今回、PZT にかける電圧は $10\text{V}$  ずつ変えたがさらに細かく変えて plot 数を増やしてさらに細かく縞を観測する。
4. Talbot-Lau 干渉計を用いて Li 原子と Back ground gas との衝突による decoherence の測定をする予定。

## 参考文献

- [1] J.F.Clauser and S.Li,Phys.Rev.A**49**,R2213 (1994).