

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)  
実施状況報告書(平成 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	ホログラフィックに制御された光ポテンシャルによる大規模2次元量子計算機の実現
研究機関・ 部局・職名	東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
氏名	上妻 幹旺

### 1. 当該年度の研究目的

本プロジェクトは、Yb 原子の 2 次元光格子を形成し、個々の原子を量子ビットとして利用することで大規模な量子計算を行うことを最終目標としている。これまでの成果として、光学顕微鏡の分解能を向上させることができる固浸レンズの直下で、ボース凝縮した Yb 原子を 100nm まで圧縮し、2次元量子縮退系を生成する実験に成功した。本年度はプロジェクトの最終年度にあたるが、年度の半ば(6月)、に、建物の改修に伴う引っ越しを大学側より依頼されたため、実験系の復帰にかかる時間を見込み、量子計算の基盤となる Yb 光格子原子顕微鏡を世界で初めて実現することまでを目標とすることにした。より具体的には、薄いシート状となった量子縮退 Yb 原子集団を、さらに 540nm 周期の2次元ポテンシャル(光格子)中にトラップし、個々のサイトを分解して原子を観察する蛍光顕微鏡を開発することにした。顕微鏡が実現すれば、個々の量子ビットへのアクセス、計算結果の読み取りなど、量子計算に要求される各種操作を実現する道が開かれる。

### 2. 研究の実施状況

薄いシート状になった原子集団に、1次元光格子を刻み、トラップされた原子の蛍光画像を取得する実験から開始した。この目的を達成するためには、実は、過去に我々が使用した2次元量子縮退系生成方法を抜本的に変える必要がある。以前の方法では、固浸レンズ内部の乱反射光が、干渉によって表面近傍に形成した光ポテンシャルを乱すことを恐れ、コヒーレンス長が短い Ti:S パルスレーザーを利用して、ところで光格子原子顕微鏡を実現するためには、光格子の各サイトに原子をトラップしたまま蛍光を放出させる必要がある。画像化に足る蛍光光子を得る前に原子がサイトから逸脱しないようにするためには、100mK 程度のポテンシャルが必要となる。非共鳴のパルスレーザーでこのような深いポテンシャルを形成することは難しく、我々は原子の励起状態からの遷移に対して近共鳴の光を照射し、蛍光顕微鏡を動作させる際、原子を励起状態にたたき続けることで、必要なポテンシャルを取得するという新しい光ポテンシャル形成方法を考え、適用することにした。この目的を達成するためには、当然 CWレーザーを用いて光ポテンシャルを形成する必要があるが、そうすると、固浸レンズの乱反射が問題となってくる。我々は、特殊な固浸レンズ一体型超高真空セルを開発し、この問題を回避した。固浸レンズの下方から、1080nm のレーザーを照射、表面で反射させ、その光を折り返すことで、原子を 100nm 程度の薄いシート状に圧縮するだけでなく、そこに 540nm 周期の1次元ポテンシャルを刻むことに成功した。トラップされた原子の分布

を画像化した結果が図1である。同様の系を、X、Y 2方向から作ることで、2次元周期ポテンシャル中に原子をトラップすることにも成功し、さらに各サイトを分解して原子を画像化することにも成功した(図2)。かくして、世界初の Yb 原子顕微鏡の実現という金字塔を打ち立てることに成功した。

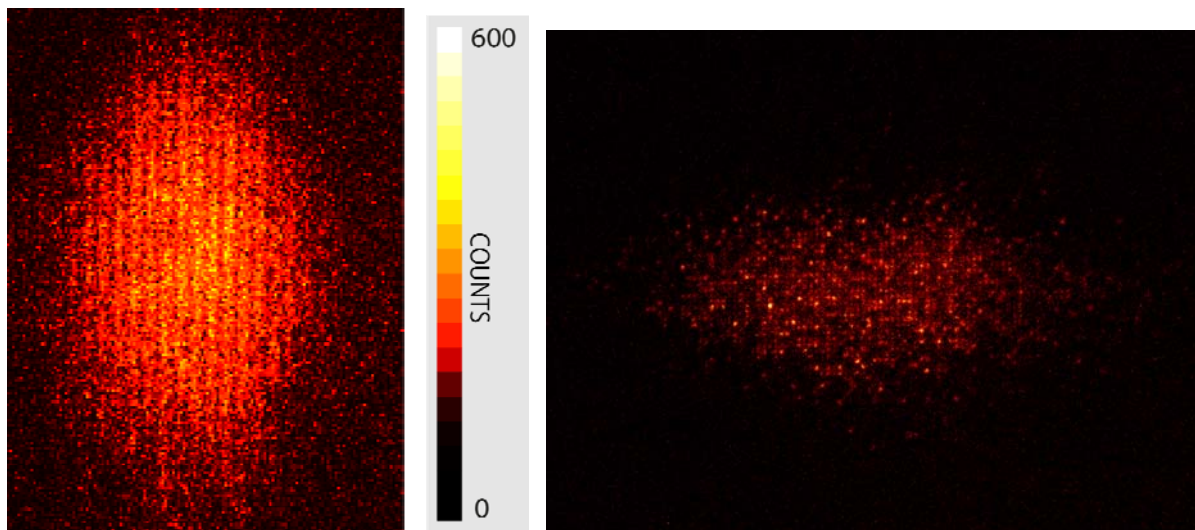


図1 1次元 Yb 光格子の画像化

図2 2次元 Yb 光格子の画像化

### 3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計0件
計0件	(掲載済み一査読無し) 計0件
	(未掲載) 計0件
会議発表	専門家向け 計3件
計4件	<p>※今年度は、研究室の引っ越しが計画されているとともに、プロジェクトの最終年度にも相当していたため、一般講演、招待講演をできるだけ控え、研究室の全てのエネルギーを「実験室の復帰とYb原子顕微鏡の実現」という目標に集中する戦略をとった。会議発表数は極端に少なく、また論文発表数も0となったが、今年度に得られた成果は世界的に重要なものとなり、関連分野の研究者の注目を大いに浴びる結果となった。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 細谷俊之、Miranda Martin, 井上遼太郎、上妻幹旺、「注入同期を用いた270mW出力半導体レーザー光源の開発」、日本物理学会第69回年次大会 2014年3月27日～3月30日、東海大学。</li> <li>2. 奥山勇貴、Miranda Martin, 井上遼太郎、上妻幹旺、「Yb量子原子気体顕微鏡の実現に向けた二次元光格子形成のための光源開発」、日本物理学会第69回年次大会 2014年3月27日～3月30日、東海大学。</li> <li>3. Miranda Martin、奥山勇貴、細谷俊之、井上遼太郎、上妻幹旺、「2次元光格子Yb原子顕微鏡の開発」、日本物理学会第69回年次大会 2014年3月27日～3月30日、東海大学。</li> </ol> <p>一般向け 計1件  「原子を使ったコンピューター」上妻 幹旺 2013年9月18日  東京工業大学 田町キャンパスイノベーションセンター(4階410号室) 一般向け公開講演会  参加者57名</p>

様式19 別紙1

図書 計0件	
産業財産権 出願・取得状 況 計0件	(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件
Webページ (URL)	東京工業大学 教員・研究室の紹介 <a href="http://www.phys.titech.ac.jp/laboratory/kozuma.html">http://www.phys.titech.ac.jp/laboratory/kozuma.html</a>  上妻研究室ホームページ <a href="http://www.kozuma.phys.titech.ac.jp/">http://www.kozuma.phys.titech.ac.jp/</a>
国民との科 学・技術対話 の実施状況	「原子を使ったコンピューター」 2013年9月18日 東京工業大学 田町キャンパスイノベーションセンター(4階 410号室) 一般向け公開講座 参加者 57名
新聞・一般雑 誌等掲載 計0件	
その他	

4. その他特記事項

今回得られた実験成果を、近く論文にまとめ投稿する予定である。その際は、新聞等にて、一般の方にむけた成果の報告を同時に行う予定である。

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計) (単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	125,000,000	101,234,000	23,766,000	0	0
間接経費	37,500,000	30,370,200	7,129,800	0	0
合計	162,500,000	131,604,200	30,895,800	0	0

2. 当該年度の収支状況 (単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を 除く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	0	23,766,000	2,843	23,768,843	23,768,843	0	0
間接経費	0	7,129,800	0	7,129,800	7,129,800	0	0
合計	0	30,895,800	2,843	30,898,643	30,898,643	0	0

3. 当該年度の執行額内訳 (単位:円)

	金額	備考
物品費	23,360,243	試薬、コンデンサ等消耗品、備品購入費
旅費	60,000	日本物理学会旅費
謝金・人件費等	0	
その他	348,600	機器修理、加工、調整等
直接経費計	23,768,843	
間接経費計	7,129,800	
合計	30,898,643	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
ファイバーアンプ (高出力ファイバー アンプリファイ ヤー)	Azur Light Systems社製 型式: ALS-IR- 15P-SF	1	3,137,400	3,137,400	2013/8/27	東京工業大学
光増幅器	Keopsys社製 CYFA-PB-BW2- PM-33-NL1- OM1-B202-FA- C1	1	2,987,250	2,987,250	2014/1/15	東京工業大学
オールメタルゲート バルブ	VAT 48132- CE01	2	603,430	1,206,860	2013/12/13	東京工業大学
				0		
				0		
				0		
				0		
				0		