

課題番号	GR036
------	-------

**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23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・准教授
氏名	上妻 幹男

1. 当該年度の研究目的

平成 22 年度は、縮退原子ではなく、通常の熱原子を対象として、十分長い寿命(84 秒)をもつ光トラップ系を構築するなど、本研究を遂行する上での足固めを行った。平成 23 年度は、以下の3つの目的をもって研究を行った。1. 対象となる Yb 原子集団をボース凝縮させる。2. 光学顕微鏡の分解能をあげるために真空装置内に搭載された固浸レンズの表面近傍に、ボース凝縮体を輸送する。3. 回折限界に近い光学分解能を得ようとした場合、焦点深度は $1\mu\text{m}$ 程度となるため、輸送された凝縮体を表面近傍で圧縮し、2次元系を構築する。

2. 研究の実施状況

異重項間遷移(556nm)に共鳴するレーザー光を照射することで、 8×10^8 個の Yb 原子集団を $50\mu\text{K}$ 程度にまで冷却した。この冷却原子集団を 532nm、出力 18W の非共鳴のレーザーで光トラップし、光トラップの焦点位置をコンピューター制御された空気式移動台を使って移動させることにより、原子を 450mm 輸送した。輸送先は、超高真空($\sim 10^{-12}\text{Torr}$)のガラスセルとなっており、その中には、光学顕微鏡の分解能を増大させるために欠かせない固浸レンズ(半球型のレンズ)が搭載されている。原子は、レンズの直下、 $300\mu\text{m}$ のところに位置することになる。別途用意した 532nm のレーザーを原子集団に縦方向から入射することで十字状の光トラップを構成し、先の横方向の光トラップ強度を減少させることで蒸発冷却を遂行し、原子の温度を $2\mu\text{K}$ まで低下させた。この時点ではまだボース凝縮はおこっていない。ここからさらに半球レンズの中心をとる別のレーザーを導入し、それを原子を表面近傍まで輸送する際のガイド光として用いることで(操作がかなり複雑なので、詳細は割愛)、原子を表面から $30\mu\text{m}$ のところまで輸送した。ここで、モードロックチタンサファイアレーザーから発した ps パルス(780nm)を表面に対してわずか 0.7 度の角度で入射することで、表面近傍に定在波状のポテンシャルを形成し、その第一層に、熱原子集団をトラップした。モードロックレーザーを使うのは、半球レンズ内で散乱した光との干渉によって、目的のポテンシャル形状が崩れるのを防ぐためである。定在波ポテンシャルの強度を下げることで、さらなる蒸発冷却を行い、約 10^5 個の Yb 原子集団をボース凝縮させることに成功をした。この時点では、原子は通常の凝縮状態にあるため、光トラップを切って拡散をさせると、非等方、かつパラボリックな密度分布が得られる。ここからモードロックレーザーの表面入射角度を 10 度まで増大させることで、原子を表面から $1.8\mu\text{m}$ まで圧縮したところ、TOF 画像が非等方、かつガウシアン型となり、2次元系が構築された明確な証拠を得ることが出来た。これは世界初の成果である。

様式19 別紙1

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計1件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計1件 “Quantum-state tomography of a single nuclear spin qubit of an optically manipulated ytterbium atom”, A. Noguchi, Y. Eto, M. Ueda, M. Kozuma, Phys. Rev. A 84, 030301(R)(2011). (掲載済み一査読無し) 計0件 (未掲載) 計0件</p>
<p>会議発表 計8件</p>	<p>専門家向け 計7件 1. 上妻幹旺、Yb 原子を用いた量子計算機の実現にむけて、分子化学研究所 光分子科学フォーラム、平成23年11月16日、豊橋。 2. 上妻幹旺、2次元光格子の実験、日本物理学会秋季大会シンポジウム、平成23年9月26日、富山大学。 3. Miranda Martin, 中本顕正, 野口篤史, 上田正仁, 上妻幹旺、2次元光格子に向けた Ytterbium 原子の BEC の生成、日本物理学会秋季大会、平成23年9月24日、富山大学。 4. 中本顕正, 野口篤史, Miranda Martin, 衛藤雄二郎, 上田正仁, 上妻幹旺、日本物理学会秋季大会、平成23年9月24日、富山大学。 5. Miranda Martin, 中本顕正, 奥山勇貴, 尾野仁深, 野口篤史, 上田正仁, 上妻幹旺、光アコーデオンを用いた冷却 Yb 原子集団の空間圧縮、日本物理学会第67回年次大会、平成24年3月26日、関西学院大学。 6. 奥山勇貴, Miranda Martin, 中本顕正, 尾野仁深, 上田正仁, 上妻幹旺、半球レンズを用いた蛍光顕微鏡の分解能評価、日本物理学会第67回年次大会、平成24年3月26日、関西学院大学。 7. 尾野仁深, 中本顕正, Miranda Martin, 奥山勇貴, 上田正仁, 上妻幹旺、量子原子気体顕微鏡のための空間位相変調器を用いた光ポテンシャル生成、日本物理学会第67回年次大会、平成24年3月26日、関西学院大学。 一般向け 計1件 上妻幹旺、原子を使ったコンピューター、高校生・一般向け 公開講演会、平成23年11月26日、東京工業大学。</p>
<p>図書 計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.phys.titech.ac.jp/laboratory/kozuma.html http://www.kozuma.phys.titech.ac.jp/ http://ultracold.t.u-tokyo.ac.jp/uedaERATO/kozuma/index-j.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>高校生・一般向け公開講演会「原子を使ったコンピューター」上妻幹男 (2011.11.26) 東京工業大学大岡山キャンパス・西2号館4階1号室 (東工大主催、55名参加)</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計0件</p>	

様式19 別紙1

その他	
-----	--

4. その他特記事項

特になし

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

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	59,022,000	0	65,978,000	0
間接経費	37,500,000	17,706,600	0	19,793,400	0
合計	162,500,000	76,728,600	0	85,771,400	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	58,596,750	0	5,098	58,601,848	56,774,012	1,827,836	0
間接経費	17,579,025	0	0	17,579,025	17,579,025	0	0
合計	76,175,775	0	5,098	76,180,873	74,353,037	1,827,836	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	54,326,210	各種光学素子等
旅費	573,920	研究成果発表旅費
謝金・人件費等	1,046,128	リサーチアシスタント費
その他	827,754	実験機器修理、学会参加費等
直接経費計	56,774,012	
間接経費計	17,579,025	
合計	74,353,037	

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
エアベアリングス テージ	米国エアロテック 社製	1	1,513,487	1,513,487	2012/2/8	東京工業大学
SLM X10468-05	浜松ホトニクス社 製	1	1,995,000	1,995,000	2011/12/28	東京工業大学
LM10-t	英国NaNoSight社 製	1	4,998,000	4,998,000	2011/11/18	東京工業大学
Verdi-V18-PZT	米国コヒレント社 製	1	15,361,500	15,361,500	2011/8/23	東京工業大学
HTK-20-SD	協和機設社製	1	3,675,000	3,675,000	2011/7/19	東京工業大学
純水製造装置	日本ミリポア社製	1	1,467,900	1,467,900	2011/7/15	東京工業大学
光共振器キャビティ アセンブリ	米国Advanced Thin Films, Inc. 社製	1	2,730,000	2,730,000	2011/4/14	東京工業大学