

- **1個のイオンを用いて光電場の超精密観測に成功**
— 量子情報通信やナノ技術への応用に期待 —
— 英国科学誌「ネイチャー」で発表 —
- 平成13年11月1日

独立行政法人通信総合研究所(理事長:飯田尚志)は、ドイツのマックス・プランク量子光学研究所(ヘルベルト ヴァルター教授らのグループ)と共同で、空間に静止させた1個のイオンを用いる極限的な精密測定技術を開発し、光電場の空間分布の観測に成功しました。空間分解能は60ナノメートル(1ナノメートルは10億分の1メートル)で、これまでの最も精密な計測です。この結果は、11月1日(木)付けの英国科学誌「ネイチャー」で発表されます。

<背景、位置づけ>

光電場を光波長以下の精度で外乱を与えずに測定することは、超微細加工を要するICや光デバイス等の作製に必要な技術です。光電場の測定は、従来、光ファイバーや分子プローブ(探査針)を用いて行われていましたが、光の散乱や吸収等が避けられませんでした。

<今回の試み、本成果の特長>

本研究は、イオントラップ(注1)という特殊な装置(図1)で捕獲した単一のイオンをプローブとして用いることで、光電場(注2)の分布を外乱のない理想的状態で超精密に観測する手法を実現したものです。プローブとなるイオンには、レーザー冷却(注3)と呼ばれる手法により数百マイクロケルビン(0ケルビンは-273.15度、1マイクロケルビンは100万分の1ケルビン)まで冷却されたカルシウムイオンを用いています。冷却されたイオンは、レーザー光で発生した光電場が分布する光共振器(注4)へ導かれますが、このイオンは光電場の強さにより発光の強度が変化します。高周波電磁波を用いて光電場の中でのイオンの位置を動かすことで、イオン発光の強度分布図(図2、図3)を作成しました。この結果、分解能が60ナノメートルというこれまで最も精密な光電場分布の観測に成功しました。今後さらに、技術改良を行うことで、1ナノメートルまでの分解能も実現可能とされています。

<今後の発展>

光を波長以下の高精度で測定する技術は、将来の情報通信技術への応用が期待される超精密構造の光デバイスの作製、計測、評価にとって必須の技術であり、従来の光ファイバーや分子プローブによる方法に比べ、光電場に影響を与えずに観測できる特長を持っています。また、今回実現したイオンと光電場を精密に位置制御する技術は、さらに、イオンと光の相互作用を精密に制御する技術としても注目されており、量子状態の制御技術を利用する情報通信・情報処理技術の実用化への道を開くものとして、量子暗号(注5)に不可欠な単一光子(注6)の発生や、単一光子による原子の量子状態(注7)の転送(量子テレポーテーション)の実現等への最も有力な手法として期待されています。

問い合わせ先:

独立行政法人通信総合研究所
基礎先端部門 レーザー新機能グループ 渡辺 昌良
〒651-2492 神戸市西区岩岡町岩岡588-2
Tel: 078-969-2220, Fax: 078-969-2229

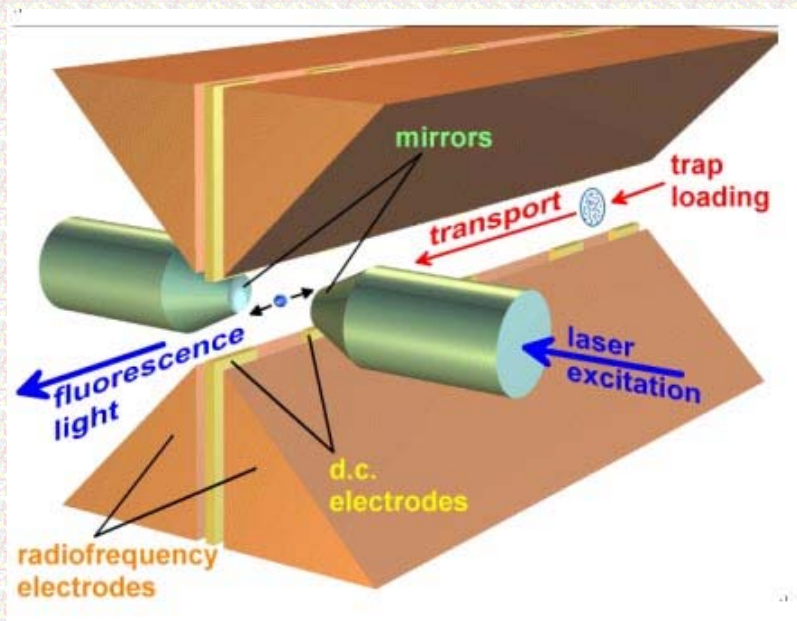


図1:実験配置図

イオントラップ装置は、4本の高周波電極 (radiofrequency electrodes) と5対の直流電極 (d.c. electrodes) からなり、二枚の鏡 (mirrors) からなる光共振器内にイオンが位置するように配置される。イオンは光共振器の外から注入され (trap loading)、電場を制御することにより光共振器内に輸送される (transport)。光共振器内の光電場は、外部から注入される弱いレーザー光 (laser excitation) により形成され、その強度分布は単一イオンからの蛍光 (fluorescence light) 強度として観測される。単一イオンをプローブとして光共振器の電場内を動かすことにより、強度分布を得る。

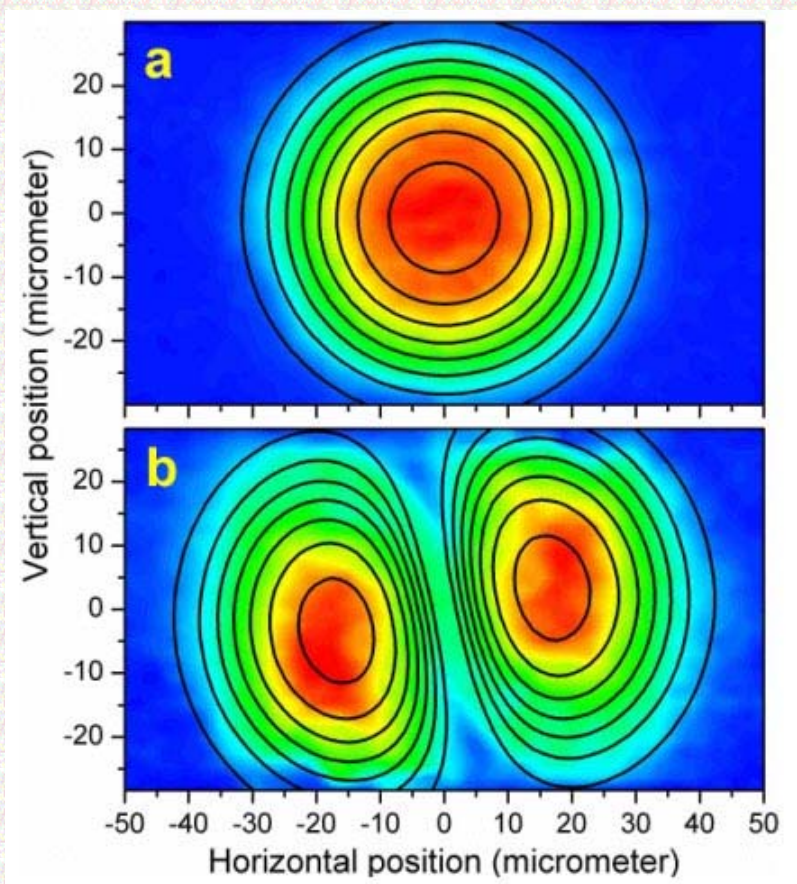


図2: 観測された光電場の進行方向に垂直な分布 (横モードパターン)

光共振器内の単一イオンの位置をレーザー光 (laser excitation) の進行方向に垂直な面で走査することにより得られた光強度分布。横軸はマイクロメートル (micrometer、百万分の一メートル) を単位とした水平方向の位置 (Horizontal position)。同様に縦軸は垂直方向の位置 (Vertical position)。(a),(b)はそれぞれ TEM_{00} モード、 TEM_{01} モードと呼ばれる強度分布。。

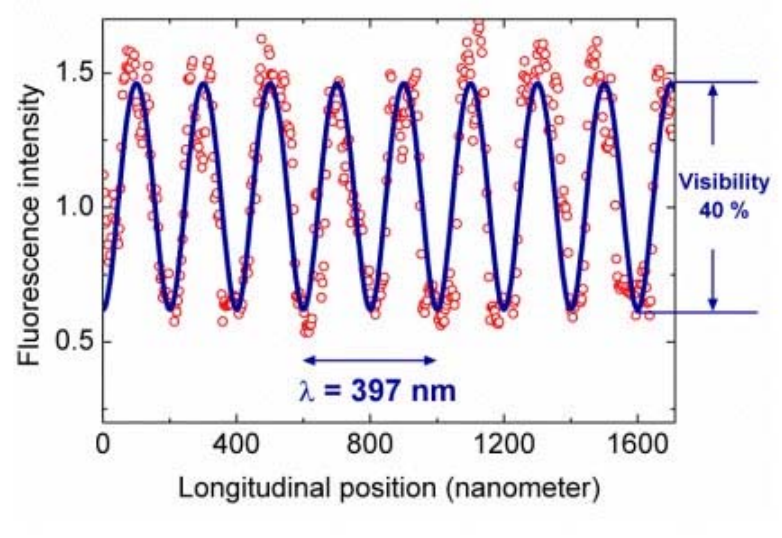


図3:観測された光電場の進行方向の分布(縦モードパターン)

光共振器内の単一イオンの位置を、レーザー光(laser excitation)の進行方向に走査することにより得られた光強度分布。横軸はナノメートル(nanometer, 一ナノメートルは十億分の一メートル)を単位としたイオンの位置(Longitudinal position)。縦軸はイオンからの蛍光強度(Fluorescence)。明瞭度(visibility)はイオンの熱運動による空間的な広がりのために40%に制限された。

<用語説明>

注1:イオントラップ

物質の構成単位である原子が電子を失って電荷を帯びた状態をイオンと呼び、精密計測等の目的でイオンを空間に止めておくために開発された装置がイオントラップである。通常、超高真空中におかれた、高周波電場を印加した複数の電極で構成される。

注2:光電場

光の強さの分布のこと。波動的な性質により極めて細かな構造となる。

注3:レーザー冷却

原子、イオンなどにレーザー光を照射することでエネルギーを奪い、冷却する技術。他の方法では到達できない超低温への冷却が可能となる。

注4:光共振器

二枚の対向して置かれた鏡からなる装置で、外部から入射された光は二枚の鏡の間を往復することで、光波長の二分の一の長さで節と腹を繰り返す定在波を形成する。

注5:量子暗号

量子力学の原理を応用した原理的に盗聴不可能な暗号。

注6:光子

光の最小構成単位を光子と呼ぶ。

注7:原子の量子状態の転送(量子テレポーテーション)

一つの原子の量子状態を、単一光子の状態に載せて、もう一つの原子の量子状態へ移すこと。観測によって量子状態は壊れるので、量子状態の転送には観測を行わない方法が必要であり、実現には困難を伴うと考えられている。