

平成 25 年 5 月 14 日



「量子光」を生成する新たな光源の開発に成功 励起子ポラリトン凝縮による高次非ガウス光の無条件生成

情報・システム研究機構 国立情報学研究所(以下 NII、所長:喜連川 優)とマインツ大学の研究チームは、「量子光」を生成する新たな光源の開発に成功しました。NII ティム バーンズ助教を中心に行われた本研究は、半導体システムで発生するいくつかの物理特性を利用して、確実かつ継続的に量子光を生成する手法を開発しました。この量子光は、安全な情報伝送等、将来の量子技術用途に利用できることが期待されます。

- 本研究成果は 5 月 13 日付 Physical Review B Rapid Communications 誌に掲載されました。
論文タイトル: 励起子ポラリトン凝縮による非ガウス光の無条件生成
特許: 特願 2012-237119
著者: Tim Byrnes, Yoshihisa Yamamoto, Peter van Loock

【背景】

量子光はレーザー光と類似していますが、独自の量子特性を有します。

レーザー光の場合、光子は互いの存在に影響を受けず、それぞれが位相コヒーレンス特性を有し、兵士の行進のように、すべての光子が同じ歩調で歩いているのです。

量子光の場合は、足並みを揃えて行進するだけでなく、互いを押しつけようとします。これはアインシュタインが「遠隔怪作用」と呼んだ光子のエンタングルメントを発生させます。

光子は、その性質上相互作用しないため、これまではこのような量子光を生成するのは困難であると考えられ、本発見がなされるまでは確実かつ継続的に量子光を生成できる方法は存在しませんでした。

【概要】

光は私たちの生活に日頃から馴染みのあるものですが、その性質は生成方法によって大きく異なります。例えば、太陽光と蛍光灯や LED 照明等の人工光とでは、波長分布が異なります。

レーザー光も単色、つまり波長が 1 種類しかないという点で独特ですが、レーザーのような単色光でさえ、生成方法によって状態が異なる場合があります。レーザーの光は理想的な正弦波に近く、そのためエンタングルメントのような特異な量子機械特性が存在しない「古典的」な光だとされています。

しかし、光には本来、特別な完全「量子」状態が存在することが知られています。量子光学の分野では、光の状態はウィグナー関数で表します。全体にわたってウィグナー関数が正の場合、その光は「古典的」であり、ウィグナー関数が負の領域がある場合、その光は量子特性を持ちます。

さらに厳密に言えばこのような光は非ガウス光と呼ばれます。図1は、提案された装置で生成した光のプロットを示したものです。ウィグナー関数に量子特性を示す負の領域があることが分かり

ます。

半導体構造では、光は図2のように生成されます。微小共振器量子井戸と呼ばれる構造によって、「励起子ポラリトン」と呼ばれる粒子が赤色で示された領域で励起されます。励起子ポラリトンが十分に生成されると、ボーズ・アインシュタイン凝縮現象が発生します。ボーズ・アインシュタイン凝縮では粒子が自発的にコヒーレンスを形成し、つまり波動関数はすべて位相コヒーレントとなります。

そして、励起子ポラリトンは位相コヒーレントとなると、構造の上部から光が発散され、半導体を離れます。構造から放たれた光は、ボーズ・アインシュタイン凝縮により位相コヒーレンスにありながら、励起子間の相互作用により反発し合うという特異な性質を持ちます。これが、全く相互作用を持たず、したがって光子が互いの存在に影響を受けないレーザー光と大きく異なる点です。これにより、新しい装置と一般的なレーザーとの間に全く異なる光特性が生まれます。

従来、このような非古典的な光の生成は確率的手法に頼っていましたが、この手法では、一時的な生成しか出来ず、一定の確率で失敗してしまいます。研究チームが提案する発明を活用すれば、スイッチを入れると光が発生するレーザーと同じように、光を継続的に発生させることができます。これにより、非古典的な光を利用した将来の量子技術の促進が期待されます。光を使った量子計算の場合、このような非ガウス光は古典計算を超えるためには不可欠であるということが知られているため、量子暗号や量子コンピューティングでこの技術が発展に繋がると期待されています。

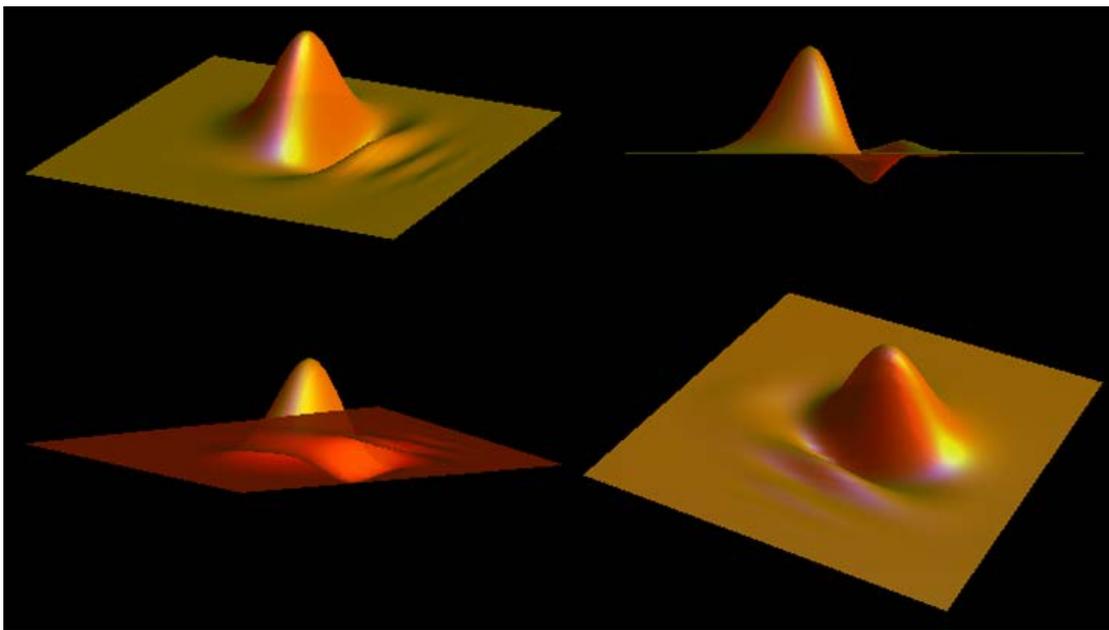


図1 装置から生成されるウィグナー関数の3Dプロット

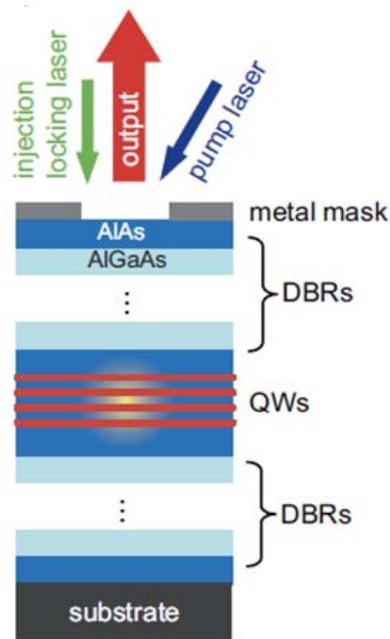


図 2 光生成装置の略図 DBR=分布ブラッグ反射鏡 QW=量子井戸 metal mask=金属マスク substrate=基板 pump laser=ポンプレーザー output=出力光 injection locking laser=注入同期レーザー

【研究に関する問い合わせ先】

国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系
 助教 Tim Byrnes(ティム バーンズ)
 E-mail: tbyrnes@nii.ac.jp
 Tel: 080-5651-9911

【広報問い合わせ先】

国立情報学研究所
 広報チーム 坂内 範子
 Tel: 03-4212-2164
 Fax: 03-4212-2150
 E-mail: bannai@nii.ac.jp