

「量子効果等の物理現象」
平成7年度採択研究代表者

清水 明

(東京大学大学院総合文化研究科 助教授)

「量子場操作」

1. 研究実施の概要

我々は、極微細構造を持つ系において、電子と光子の両方がその量子性を顕著に示すような現象を探索し、かつ、そのような現象が起こる極微細構造を明確な意図を持って設計し、人工的に創生することを目標にしている。例えば、電磁場と相互作用する微細構造中での物質励起が、複数の電子（または励起子や原子）にわたって量子コヒーレンスや相互作用が存在する状況を人工的に作り出して、その特性を調べ、そのような電子系と相互作用している電磁場の量子効果を調べようとしている。また、このような量子系を理論的に取り扱う手法を研究し、実験結果の解析と、新しい現象の理論的探索を行っている。

2. 研究実施内容

具体的な研究テーマは、次の4つに大別される：A. 量子場レーザー・原子波レーザー、B. 少数光子光非線形、C. 微細発光ダイオードにおける光子場制御、D. 基礎理論の確立・新しい可能性の理論的検討。以下に、それぞれの項目の研究目標と現状を報告する。

A. 量子場レーザー・原子波レーザー

原子を極限まで制御することにより、原子の量子性を追求する。また、できれば、原子系と光子との相互作用を積極的に制御するところまでいきたい。

現在までに、原子のボーズ・アインシュタイン凝縮を実現し、それをを用いた干渉実験も成功した。また、原子ホログラフィー、原子干渉計、多原子相関の測定などを実現した。

B. 少数光子光非線形

光子数個で動作する極限的な光制御素子の原理を明らかにすることを目的とする。

現在までに、光励起による低温高密度電子正孔プラズマの生成に成功し、また、等しい大きさの微小球を複数連結し、微小球に閉じこめられた光が tight binding 的に結合した PhotonicMolecule とも言える状態の観測に成功した。また、励起子と光子が強く結合して連性モードであるポラリトンを形成した場合にどのような非線形光学応答がおこるかという問題を調べ、励起子を弱く相互作用するボゾンとして扱

うモデルを提唱し、実験と非常に良い一致が見られた。

C. 微細発光ダイオードにおける光子場制御

微細な発光ダイオードから極低電流 $\sim 10\text{nA}$ 、短時間域 $\sim 100\text{psec}$ 、光子数 10 個レベルで光子数の量子揺らぎが抑圧された光子束（サブポアソン光）を発生させる。特に Q C S E ブロケイド（放射過程の直接制御機構）により定電圧源動作のもとでもサブポアソン化された光子束を作りうることを実証する。

現在までに、まず、市販の発光ダイオードを用いた実験で、広帯域でのサブポアソン化が可能であり、測定可能であることを実証した。さらに、我々が新規に設計・作成した、発光ダイオードと受光素子とが一体化した素子で、広帯域でのサブポアソン化を実現した。現在、最終目標を達成すべく、この素子の微細化を行っているところである。

また、量子暗号通信について、実用化に近づけるための新しい方式として、パルス光を用いた平衡型ホモダイン検出を用いる方式を提案し、実験を開始した。

D. 基礎理論の確立・新しい可能性の理論的検討

微細構造の物理現象の探索では、ミクロとマクロの区別があいまいな領域とか、ゆらぎの大きさが平均値よりも大きいような領域、平衡からはずれた領域を、並進対称性がない状況で分析する必要に迫られるので、この領域の基礎理論を確率する努力を行う。また、新しい可能性の理論的検討を行う。現在までに、微細構造の非平衡定常状態の新しい理論が完成に近付いており、また、マクロに安定な純粋量子状態に対する一般的な条件を導き出して、ボーズ凝縮系に適用し、また、小さなカオティックな量子系の動的理論を研究しつつある。また、励起子系の有効理論、電子溜めと結合した系の超放射、ドーピングされた電子・正孔系の新しい超伝導相、強相関系の非線形光学応答の理論、発光素子の光子統計の理論、動的カシミール効果の理論、などを提出した。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

○Akira Shimizu, Jun-ichi Inoue and Takayuki Miyadera,

Nonequilibrium Time Evolution of the Condensed State of a Fixed Number of Interacting Bosons, Quantum Coherence and Decoherence -- ISQM-Tokyo '98 ed. K. Fujikawa and Y.A. Ono, North-Holland, 1999

○M. Shigemori, A. Shimizu, T. Brandes and J. Inoue, Strong enhancement of superconducting correlation in a two-component fermion gas, J. Phys. Soc. Jpn. 68, 2194-2197 (1999)

○J. Inoue, T. Brandes and A. Shimizu,

Effective Hamiltonian for Excitons with Spin Degrees of Freedom,

- J. Phys. Soc. Jpn. 67 (1998) 3384-3387.
- T. Brandes, J. Inoue, and A. Shimizu,
Dicke-superradiance in electronic systems coupled to reservoirs,
Proc. 24th Int. Conf. Phys. Semiconductors 1998 (World Scientific, 1998)
- A. Shimizu and J. Inoue,
Condensation of interacting bosons with reduced number fluctuation,
J. Phys. Soc. Jpn. 67 (1998) 2988-2991.
- T. Brandes, J. Inoue, and A. Shimizu,
“Oscillatory behavior of a superradiating system coupled to electron
reservoirs.”
Phys. Rev. Lett. 80 ., (1998) 3952-3955.
- H. Fujisaki and A. Shimizu,
“Quantum Langevin equations for semiconductor light-emitting devices
and the photon statistics at a low-injection level.”
Phys. Rev. A 57., (1998) 3074-3083.
- A. Shimizu and T. Miyadera,
“Interacting One-Dimensional Electrons Driven
by Two-Dimensional Reservoir Electrons.”
Physica B 249-251 ., (1998) 518-522
(Proc. 12th Int. Conf. Electronic Properties of Two-Dimensional Systems).
- A. Shimizu,
Theory of Electron-Photon Interaction, T. Ando et al.,
“Mesoscopic Physics and Electronics”, Springer (1998), pp. 140-155.
- 他 23 件