

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2008～2012

課題番号：20104002

研究課題名（和文） 電子正孔・励起子量子凝縮相の光操作と制御

研究課題名（英文） Opical manipulation excitonic matter phase

研究代表者

五神 真 (GONOKAMI MAKOTO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70161809

研究分野：数物系科学/工学

科研費の分科・細目：物理学・物性 I/応用物理学・工学基礎・応用光学・量子光工学

キーワード：光物性・物性実験・量子エレクトロニクス・低温物性・励起子

1. 研究計画の概要

本研究は光励起キャリアの多体相関の基礎的性質を抽出するため、半導体の電子正孔系および励起子系を対象に、精緻なレーザー分光手法と低温実験を組み合わせた定量的実験を進める。特に、本領域の理論研究と密接な連携をはかるため、基礎パラメータを着実に抑えつつ、理論解析に資するデータを系統的に収集・集積する。具体的には、亜酸化銅パラ励起子系のボース・アインシュタイン凝縮

(BEC) 相、ダイヤモンド結晶中の電子正孔高密度相、励起子-光子結合（ポラリトン）系の量子凝縮などを対象とし、励起子BEC 相の解明という懸案解決をはかると共に、電子正孔系の量子多体系の多彩な物質相をあぶり出し、集団励起や秩序形成ダイナミクスを捉える。また、物質系に内在する量子効果によるコヒーレンスに起因する光制御機能や量子光学効果を追求し、従来のレーザーや非線形光学を超えた新たな量子論領域での輻射制御の可能性を拓く。

本領域内の、量子光学、半導体デバイス、トランスポート実験、ナノ材料化学、理論物理学のグループと密接な連携のもとで進める。これにより、励起子 BEC 相の実証というこの分野の懸案解決をはかると共に、光の新しい制御法とその応用を探る。電子励起状態における動的電子相関の学理、量子物理学の深化を目指し、光科学の新たな展開をはかる。

2. 研究の進捗状況

長年の懸案であった、亜酸化銅における励起子 BEC 相に到達したことは重要な成果である。BEC 実現のためには、まず励起子間の散乱断面積を定量的に評価することが必要で

あり、励起子ライマン分光法を用いてスピン禁制励起子の 2 体非弾性散乱断面積が低温で発散する量子論的領域にあることを見いだした。このことから、BEC 到達のためにはサブケルビン領域に励起子を冷却する必要があることを指摘し、実際にヘリウム 3 冷凍機を用いて 3 次元調和ポテンシャル中に蓄積したパラ励起子をサブケルビン領域まで冷却した。その結果、BEC の緩和爆発として知られる非弾性散乱下の高温励起子生成を観測し、励起子の BEC 転移を促えることに成功した。また 100mK 以下の超低温高密度電子正孔相の実現のため、無冷媒希釈冷凍機を導入し、さらに試料に対する加圧・顕微的分光を超低温の冷凍機内で実現する装置を設計開発し、実際に測定を開始している。また、ダイヤモンドの非常に高密度な電子正孔液滴に対して中赤外過渡吸収測定を実施し、電子正孔間の強い動的相関が誘電応答における大きな緩和として顕在化することを見いだした。一方、フォトンカウンティングストリークカメラを用いた超高速時間領域の高次光子相関測定の開発を進め、典型的な光源について測定の妥当性を確認し、微小共振器レーザーをはじめとして物質系の多体相関と量子光学的性質の関連性に着目し測定を進めている。また、励起子ライマン分光法を用いた励起子モット転移や BCS 的相関の検証法について、理論グループと連携し検討を進めた。これらに加えて、人工キラル構造と量子ドットの組み合わせによる自然放出制御の実証、反強磁性体のマグノン共鳴 THz 放射の制御等でも重要な成果が得られた。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

H22 年度に工学系研究科から理学系研究科

へ研究室を移転したことに伴い、実験的研究は約半年停止した。これにも関わらず、励起子 BEC 転移の実証をはじめとして重要な成果をあげるとともに、実験的にも未踏の領域を精緻に調べる準備が整い、今後興味深い進展が期待できることから、遅延なく進捗しているものと考えている。

4. 今後の研究の推進方策

現在遂行中の実験的研究を引き続き推進するとともに、本領域で導入した無冷媒希釈冷凍機を用いた実験が軌道に乗ったことを踏まえ、100mK 以下の光励起高密度電子正孔相の実現とその精緻な観測という実験上未踏の領域に挑戦する。さらに上記のような低温領域において、多体電子正孔系における素励起の典型的エネルギースケールである中赤外からテラヘルツに亘る分光を実現することで、さらに独自性の高い実験的研究を進める。これに加えて、理論的研究との連携を密にし、多体動的相関の体系的理解を提示することを目指す。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- [1] K. Yoshioka, E. Chae, and M. Kuwata-Gonokami, Transition to a Bose-Einstein condensate and relaxation explosion of excitons at sub-Kelvin temperatures, Nature Communications to be published
- [2] K. Konishi, M. Nomura, N. Kumagai, S. Iwamoto, Y. Arakawa, and M. Kuwata-Gonokami, Circularly Polarized Light Emission from Semiconductor Planar Chiral Nanostructures, Phys. Rev. Lett., 106 (5) 057402/1-4 (2011)
- [3] T. Higuchi, N. Kanda, H. Tamaru, M. Kuwata-Gonokami, Selection rules for light-induced magnetization of a crystal with threefold symmetry: The case of antiferromagnetic NiO, Phys. Rev. Lett., 106 (4) 047401/1-4 (2011)
- [4] K. Yoshioka, T. Ideguchi, André Mysyrowicz, and M. Kuwata-Gonokami, Quantum inelastic collisions between paraexcitons in Cu₂O, Phys. Rev. B, 82, 041201(R)/1-4 (2010)
- [5] N. Naka, J. Omachi, H. Sumiya, K. Tamasaku, T. Ishikawa, M. Kuwata-Gonokami, Density-dependent exciton kinetics in synthetic diamond crystals, Phys. Rev. B, 80 (3), 035201/1-7 (2009)

[学会発表] (計 35 件)

- [1] M. Kuwata-Gonokami, Stability of an ensemble of excitons in a quantum degenerate regime in a bulk semiconductor of Cu₂O, - Search for Bose-Einstein Condensation of excitons, The 41th Winter Colloquium on the PHYSICS of QUANTUM ELECTRONICS, Snowbird, (3, Jan., 2011) (invited)
- [2] M. Kuwata-Gonokami, Advanced photons for condensed matter, The 4th Yamada Symposium Advanced Photon and Science Evolution, Osaka (14, June, 2010) (invited)
- [3] M. Kuwata-Gonokami, Cold excitons in a quantum degenerate regime, Statistical Physics: Modern Trends and Applications - dedicated to the 100-th anniversary of Prof. M. M. Bogolyubov (1909-1992), Lviv, Ukraine (24, June, 2009) (invited)

[図書] (計 2 件)

- [1] M. Kuwata-Gonokami, High-Density Excitons in Semiconductors. In: P. Bhattacharya, R. Fornari, H. Kamimura, (eds.), Comprehensive Semiconductor Science and Technology, volume 2, pp.213-255 Amsterdam: Elsevier (2011)

[その他]

<http://www.gono.t.u-tokyo.ac.jp/>