

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：20104001
研究課題名（和文）半導体における動的相関電子系の光科学

研究課題名（英文）Optical Science of Dynamically Correlated Electrons (DYCE)

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・半導体物性・物性理論・材料科学・量子エレクトロニクス

1. 研究計画の概要

本領域研究は、多数の電子と正孔が関わる光学過程に着目し、光と物質に関する最先端の学術知識と既存の技術を融合し、その応用技術を生み出す土壌となる新しい学術領域を創ることを目的としている。このために、分光学・量子光学、半導体デバイス工学、ナノ材料化学、理論物理といった、既存の学問分野に分かれている研究者の組織的連携を図り、新たな視点での共同研究を促進し、学問体系の再整理と深化をはかる。総括班ではその実現のため、異分野研究の有機的連携と結合を推進するための活動を行う。また、人材育成の推進、新しい融合的な光科学の構築をめざす。そのため、総括班メンバーに、公募研究メンバーや外部専門家も適宜加え、各種の会議を率先して企画・運営する。本領域研究の成果をとりまとめて、領域内外へ再発信する。

2. 研究の進捗状況

光と物質の関わりについて新たな視点で見直す上で、物質の励起状態に生じる多数の電子間の相互作用や量子力学的位相相関—動的相関電子系—に着目し、DYCE (Dynamically correlated electrons) という標語を掲げ、組織的研究を推進してきた。特に、分光学・量子光学、半導体デバイス工学、ナノ材料化学と量子多体系理論などの密接な連携により、動的電子相関によって生じる新規な光効果を探求し、その基礎学理を創り、応用への道筋を探ることに挑戦してきた。これにより光科学と物質科学が融合した新しい学術領域の創成を目指している。総括班の主導のもと、領域内を横断的に貫いたテーマ

を設定し、動的相関電子系の学理を異分野間で共有化し新しい学術領域を形成する作業を進めてきた。「動的相関電子系の物質相解明」、「量子情報技術への展開」、「多電子過程と光機能」、「テラヘルツ分光」などについて、連携研究成果を得た。半導体動的相関電子系の量子凝縮・相転移について、公募研究により加えた極低温冷却原子系関連の研究との連携により、概念の共有や理論・実験の手法結果の比較を進め議論を深めた。量子光源について、2光子以上の光子統計分布を測定しサブポアソン性を確認すれば長距離量子暗号通信光子源として使えることが見出され、光子源の高次の光子相関計測を時間軸上で行う手法として、光子計数ストリークカメラを用いた新手法が開拓された。動的相関電子系の普遍的な問題としてオーজে再結合過程について議論し、その制御が、高性能能動光学素子や太陽電池の効率限界突破といった応用開拓において、重要であることが解った。高強度テラヘルツ光源は、半導体の電子正孔系の動的相関効果の研究ツールとして高いポテンシャルをもつことが明らかになり、量子凝縮・相転移の制御が様々な物質系で試みられた。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

中間評価において、本領域研究の進展状況について、『評価A』「研究は全体として順調に進展し、これまでの実績に加えて新たな研究成果が出始めている」という評価を得た。また、中間評価に係る意見として、「本領域研究は、物質の励起状態に生じる多数の電子間の相互作用や量子力学的位相相関—動的相関電子系—を制御することによって生じ

る新規な光効果を探索し、その基礎学理を創ることを目指すものである。領域代表者の優れたリーダーシップの下、研究は全体として順調に進展し、これまでの実績に加えて新たな研究成果が出始めている。また、計画研究と公募研究の連携が図られ、理論研究が強化されたこと、若手人材育成を意識した組織になっていることは評価できる。今後、理論研究との連携の実績が得られること、さらに、実際に応用につながる研究成果を挙げることに期待したい。一方で、個々の研究成果は十分に得られているが、研究領域全体としてもう少し研究をフォーカスすることが望ましいといった意見、また、物質開発、デバイス作成、測定、理論の間でさらに密接な連携を取りながら研究を進めて欲しいという意見があった。」とのコメントを頂いた。

4. 今後の研究の推進方策

後半の研究におけるフォーカスを、動的相関光科学の学理の形成・学術体系化と、連携研究の推進の2点に絞る。応用につながる研究成果を挙げることにしても、動的相関電子系を深く理解して制御することにより、光の潜在力をさらに引き出す方針で臨む。連携研究の4本柱として、a) 動的相関電子系の物質相解明、b) 量子情報技術への展開、c) 多電子過程と光機能、d) テラヘルツ分光に注力することとし、総括班はそれらの連携をさらに一層強力に主導してゆく。

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 106 件 (内: 謝辞有 73 件))

- [1] 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).
- [2] R. Matsunaga, K. Matsuda, and Y. Kanemitsu, Observation of charged excitons in hole-doped carbon nanotubes using photoluminescence and absorption spectroscopy, Phys. Rev. Lett. 106, 037404/1-4 (2011).
- [3] 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).
- [4] K. Kamide and T. Ogawa, What determines the wave function of electron-hole pairs in polariton

condensates?, Phys. Rev. Lett. 105, 056401/1-4 (2010).

- [5] T. Ihara, S. Maruyama, M. Yoshita, H. Akiyama, L. N. Pfeiffer, K. W. West, Thermal-equilibrium relation between the optical emission and absorption spectra of a doped semiconductor quantum well, Phys. Rev. 80, 33307/1-4 (2009).

[学会発表] (計 383 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 10 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)
- [2] Y. Kanemitsu, Comprehensive semiconductor science and technology (P. Bhattacharya, R. Fornari, and H. Kamimura, editors), Elsevier Science, 196-212 (2011).
- [3] Y. Kanemitsu, Handbook of Nanophysics: Nanoelectronics and Nanophotonics (Klauss D. Sattler, editor), CRC press, 22/1-22/9 (2010).

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

<http://www.dyce-opt.org/>