

自己評価報告書

平成 23 年 5 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20104006

研究課題名（和文）ナノ構造物質の高密度少数多体電子正孔系の顕微分光と光機能

研究課題名（英文）Space-time resolved spectroscopy of high-density electron-hole systems in nanomaterials and their optical functionalities

研究代表者

金光 義彦 (KANEMITSU YOSHIHIKO)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：30185954

研究分野：光物性物理学

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：ナノ材料, 光物性, 半導体材料, 励起子, キャリアダイナミクス, オージェ再結合

1. 研究計画の概要

特色ある半導体ナノ物質の動的電子相関にもとづく光学現象を探索し、その活用に向けた道筋をつける研究を行う。時空間分解分光装置の開発を進め、顕微分光と 2 波長可変ポンププローブ分光、可視および赤外域時間分解発光分光を融合した分光計測システムを活用した動的電子相関の探索研究を行う。その物質固有の特異的な動的電子相関を見つけ出すとともに、物質によらない普遍的な動的電子相関を解明し、学理の構築を進める。特に、ナノ構造のマルチエキシトンダイナミクスの解明を目指す。カーボンナノチューブやナノ粒子などの半導体・ナノ構造を研究対象として、単一分光などの顕微分光を駆使し、その動的電子相関効果の発現・解明を行う。新しい光デバイスの開発の道筋や従来の限界の突破口を見出す。さらに、新しいナノ構造の作製を行い、新しい物性の発現と機能の探索を行う。

2. 研究の進捗状況

時空間分解分光装置の開発・改良を進め、顕微分光と 2 波長可変ポンププローブ分光、可視および赤外域時間分解発光分光を融合した分光計測システムを活用した動的電子相関の探索研究を行ってきた。これらの計測システムを用いた精密光学測定により、以下のような研究成果を得た。

(1) ナノ粒子やカーボンナノチューブなどの近赤外発光のスペクトルと時間応答を高感度に計測できるシステムを構築し、それらナノ物質における高密度励起状態の研究を行った。高密度励起下での発光および過渡吸収測定から、励起子・キャリア数の時間変化を明らかにすることにより、オージェ再結合

やマルチエキシトン生成などのメカニズム解明を行った。

(2) カーボンナノチューブにおいて荷電励起子発光を初めて観測したほか、顕微鏡を用いた単一ナノチューブ分光を行うことで、ブライトおよびダーク準位間の励起子分布の決定を行うなど、光学特性の解明を行った。

(3) 窒化物や酸化物のワイドギャップ半導体における光励起状態の解明やマルチエキシトンダイナミクスの研究を行い、励起子分子の緩和ダイナミクスやオージェ再結合係数の決定など多体相互作用が支配する励起子・キャリア再結合過程を明らかにした

(4) 新しい光機能の発現が期待される半導体ナノ粒子・ナノロッドなどの試料作製に挑戦し、それらの基礎光学特性を明らかにした。

これらの研究を通して、そのナノ物質固有の特異的な動的電子相関を見つけ出すとともに、物質によらない普遍的な動的電子相関の解明を目指し、研究を進めた。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由) 中間評価に係る意見において、本領域全体の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」との評価を頂いた。今後の研究推進方策等について「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もう少し研究をフォーカスすることが望ましい」「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」とのコメントがあった。本研究に対する個別のコメントは無かったが、特色あるナノ構造物質のマルチエキシトンダイナミク

スの解明に大きな貢献を果たすことができたと考えている。これまでの成果を 29 件の論文として発表した。これらにより、当初の計画以上に進展していると結論した。

4. 今後の研究の推進方策

これまでの研究により、オージェ再結合過程は電子正孔系の動的相関効果に起因する非輻射緩和過程であり、様々な場面で本質的な役割を担うことが明らかになった。さらに、多体クーロン相互作用がもたらすオージェ再結合過程の制御は、デバイス応用開拓において、重要であるとの結論に至り、領域全体で今後議論を深めていくことが必要であるとの認識に至った。そこで、オージェ再結合をはじめとする多粒子間相互作用の研究を進めるとともに、他の研究グループと連携することにより、様々な物質系・デバイス構造における動的電子相関効果の理解の深化と活用に努めたい。

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 29 件)

[1] 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, 037404/1-037404/4 (2011) 査読あり.
[<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/138081>]

[2] Y. Yamada and Y. Kanemitsu, Band-to-band photoluminescence in SrTiO₃, *Phys. Rev. B* 82, 121103(R)/1-121103(R)/4 (2010) 査読あり.
[<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/128881>]

[3] Y. Miyauchi, H. Hirori, K. Matsuda, and Y. Kanemitsu, Radiative lifetimes and coherence lengths of one-dimensional excitons in single-walled carbon nanotubes, *Phys. Rev. B* 80, 081410(R)/1-081410(R)/4 (2009) 査読あり.
[<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/87339>]

[4] Y. Yamada, H. Yasuda, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, Temperature dependence of photoluminescence spectra of undoped and electron-doped SrTiO₃: Crossover from Auger recombination to single-carrier trapping, *Phys. Rev. Lett.* 102, 247401/1-247401/4 (2009) 査読あり.
[<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/87342>]

[5] T. Tayagaki, S. Fukatsu, and Y. Kanemitsu, Photoluminescence dynamics and reduced Auger recombination in Si_{1-x}Ge_x/Si superlattices under high-density photoexcitation, *Phys. Rev. B* 79, 041301(R)/1-041301(R)/4 (2009) 査読あり.
[<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/87341>]

[学会発表] (計 38 件)

[1] Y. Yamada and Y. Kanemitsu, Photo-carrier recombination dynamics of SrTiO₃, SPIE Photonics West, San Francisco, USA, 2011 年 1 月 26 日.

[2] T. Tayagaki, S. Fukatsu, and Y. Kanemitsu, Relaxation of hot carriers in Ge/Si quantum dots, 2010 Materials Research Society Fall Meeting, Boston, USA, 2010 年 12 月 2 日.

[3] Y. Yamada and Y. Kanemitsu, Blue light emission from highly photoexcited SrTiO₃, 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2010), Seoul, Korea, 2010 年 7 月 30 日.

[4] T. Tayagaki, S. Fukatsu, and Y. Kanemitsu, Well-width dependence of Auger recombination rate in Si_{1-x}Ge_x/Si single quantum wells under high-density photoexcitation, E-MRS 2010 Spring Meeting, Strasbourg, France, 2010 年 6 月 9 日.

[5] Y. Kanemitsu, A. Ueda, T. Tayagaki, and K. Matsuda, Quantized Auger recombination and carrier multiplication in semiconductor nanoparticles and carbon nanotube, 23th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors, Utrecht, Netherlands, 2009 年 8 月 25 日.

[図書] (計 2 件)

[1] Y. Kanemitsu, Light emission from silicon nanoparticles and related materials, Comprehensive Semiconductor Science and Technology (P. Bhattacharya, R. Fornari, and H. Kamimura 編), Elsevier Science, vol.2, p.196-212, 2011.

[2] Y. Kanemitsu, Optical spectroscopy of nanomaterials, Handbook of Nanophysics: Nanoelectronics and Nanophotonics (Klauss D. Sattler 編), CRC Press, p.22/1-22/9, 2010.

[その他]

ホームページ

<http://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~opt-nano/index.html>