

領域評価用添付資料（CREST タイプ）

研究領域「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」

1. 応募件数・採択件数

採択年度	応募件数	採択件数
H13	87	6
H14	30	4
H15	8※	1
H16	25※	0
採択数 計		11

※平成 15 年度、16 年度は領域毎に公募し、ナノテク分野別バーチャルラボ 10 領域全体で選考した。

2. 主要業績

2-1. 外部発表

平成 13 年度採択課題

研究代表者	国内論文	海外論文	招待講演 (国内)	招待講演 (国際)	国内学会	国際会議	その他	特許 (JST)	特許 (所属機関)	PCT 出願 (JST)
猪俣浩一郎	18	90	23	57	153	126	30	16	7	10
岩佐 義宏	0	195	74	52	385	84	47	7	17	5
大串 秀世	13	134	25	26	137	104	11	2	14	1
河田 聡	50	107	141	152	120	183	88	1	22	1
小森 和弘	2	44	6	0	53	50	0	4	1	3
三澤 弘明	14	68	31	24	88	51	36	4	17	4

平成 14 年度採択課題

石原 一	0	106	32	25	277	133	21	11	0	8
板谷 謹悟	15	146	45	34	256	113	21	2	0	0
高柳 英明	1	60	30	46	88	48	36	3	5	0
松本 和彦	0	47	41	29	60	119	6	13	4	8

平成 15 年度採択課題

赤穂 博司	0	17	7	3	68	34	21	0	3	0
-------	---	----	---	---	----	----	----	---	---	---

総計	113	1014	455	448	1685	1045	317	63	90	40
----	-----	------	-----	-----	------	------	-----	----	----	----

領域総計（平成 20 年 1 月 31 日現在）

参考資料：外部発表成果へ与える各種の連携の効果

連 携 の カ テ ゴ リ ー	論 文	特 許	リージョップ等
1. チーム内グループ間連携	572	32	61
2. 領域内チーム間連携	41	5	31
3. 領域間（バーチャルラボ、他 CREST）連携	18	4	38
4. 産官学研究機関・国内外の研究者との連携	183	41	27
合 計	814	82	147

（平成 19 年 12 月 31 日現在）

2-2. 代表論文概要

2-2-1. 猪俣チーム

1). T. Niizeki, N. Tezuka and K. Inomata, *Enhanced Tunnel magnetoresistance due to Spin Dependent Quantum Well Resonance in Specific Symmetry States of an Ultra-thin Ferromagnetic Electrode*, Phys. Rev. Lett. **100** (2008) 047207.

スピン依存共鳴トンネル効果素子を開発し、世界で初めてバイアス電圧によるコンダクタンスの振動とそれに伴うトンネル磁気抵抗 (TMR) の増大を観測した。開発した素子は Fe/Cr/極薄 Fe/MgO/Fe(001)からなるエピタキシャルトンネル接合である。トンネル電子は主として Δ_1 バンド電子であるが、バンド構造の特徴から Cr(001)の Δ_1 バンドが Fe の多数スピン Δ_1 バンドに対してバリアとなるため、Cr と MgO で挟まれた極薄 Fe 層中に多数スピン電子の量子化されたエネルギー準位が形成される。この量子準位とバイアス電圧が一致したときコンダクタンスが増大し TMR が増大する。TMR の増大は室温でも観測できた。これは本課題のテラビット級スピンメモリ開発への筋道をつけた大きな成果である。同時に、将来、従来にないアクティブスピントロニクス素子の開発が期待される。

2). N. Tezuka, N. Ikeda, S. Sugimoto and K. Inomata, *Giant Tunnel Magnetoresistance at Room Temperature for Junctions using Full-Heusler $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ Electrodes*, Jpn. J. Appl. Phys. **46** (2007) L454-456.

開発した新しいハーフメタルホイスラー合金、 $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ を電極とするトンネル接合素子を作製し、ハーフメタル材料を用いたトンネル接合素子において室温で世界最高の 220% という巨大トンネル磁気抵抗 (TMR) を達成した。このトンネル接合素子は 4.2 K で 390% の TMR を発現し、スピン分極率は 0.81 に相当する。今後、構造制御により TMR は格段に増大することが期待できる。この巨大 TMR の発現により長年期待されていたハーフメタルが現実的な材料となり、本課題のテラビット級スピンメモリ開発に重要な成果であるとともに、将来のスピントロニクスの展開に明るい展望を拓くものと思われる。

3). K. Yakushiji, F. Ernult, H. Imamura, K. Yamane, S. Mitani, K. Takanashi, S. Takahashi, S. Maekawa and H. Fujimori, *Enhanced spin accumulation and novel magnetotransport in nanoparticles*, Nature Mater. **4** (2005) 57-61.

極薄の Co 系ナノグラニューラ薄膜の上下を電極ではさんだ微小 CPP (current perpendicular to the plane) 素子を作製し、Co ナノ粒子におけるスピン蓄積効果が磁気伝導現象に与える影響について調べた。4.2 K において、トンネル磁気抵抗 (TMR) のバイアス電圧依存性が符号反転を伴って振動現象を示すことを見出した。理論計算と比較した結果、Co ナノ粒子中でのスピン蓄積が TMR の符号反転現象に重要な役割を果たしていることがわかった。また、Co ナノ粒子中での伝導電子のスピン緩和時間が 100 ns 程度と見積もられ、バルクのスピン緩和時間 (10 ps 程度) に比べて著しく増大してい

ることを発見した。これは、ナノ粒子のスピンエレクトロニクス素子としての応用に道を開く、重要な成果と言える。

2-2-2. 岩佐チーム

1). T. Takenobu, T. Takano, M. Shiraishi, Y. Murakami, M. Ata, H. Kataura, Y. Achiba and Y. Iwasa, *Stable and controlled amphoteric doping by encapsulation of organic molecules inside carbon nanotubes*, *Nature Mater.* **2** (2003) 683-688.

カーボンナノチューブの中に有機分子を挿入することにはじめて成功し、内包された有機分子とナノチューブ間の電荷移動が起こることを見出した。この手法は、ナノチューブへの空気中でも安定なキャリアドーピング法としてユニークな手法を提供するとともに、ナノチューブの誘導体の開発研究にも新しい視点を提供した。2007年12月20日現在の引用件数は89件（ISI統計）。

2). S. Kobayashi, T. Nishikawa, T. Takenobu, S. Mori, T. Shimoda, T. Mitani, H. Shimotani, N. Yoshimoto, S. Ogawa and Y. Iwasa, *Control of carrier density by self-assembled monolayers in organic field-effect transistors*, *Nature Mater.* **4** (2004) 337-341.

有機トランジスタの研究において、従来、易動度の上昇のみが注目されてきたが、将来の実用にとっては制御すべきデバイスパラメータがいくつかある。本研究では、有機半導体とゲート絶縁膜に極性を有する分子を精密に配向させた自己組織化単分子膜を挿入することによって、キャリア数ひいては閾値 (V_{th}) を制御する手法を提案した。有機トランジスタにおいて、易動度以外のデバイスパラメータを積極的に化学的に制御する方法を示した最初の論文として、当該分野に重要な貢献をした。2007年12月20日現在の引用件数は95件（ISI統計）。

3). Y. Maniwa, K. Matsuda, H. Kyakuno, S. Ogasawara, T. Hibi, H. Kadowaki, S. Suzuki, Y. Achiba, H. Kataura, *Water-filled single-wall carbon nanotubes as molecular nanovalves*, *Nature Mater.* **6** (2007) 135-141.

2002年にカーボンナノチューブに内包された水分子がアイスチューブ構造を作るという発見を、2005年にナノチューブ直径を変化させると5員環から8員環のアイスチューブへと系統的に変化することを発見しているが、本論文では、これらの研究に引き続き、水を内包したカーボンナノチューブのガス吸着現象を報告した。水を内包したカーボンナノチューブは、ガス共存下においてアイスチューブの空洞内部にガス分子を取り込んだガスハイドレートを生成することが示唆されていたが、このようなガスハイドレートの生成は確認されず、かわって水分子と雰囲気ガス分子が入れ替わる「交換転移」を発見した。交換転移は、ガスの種類に極めて強く依存し、また、これにともないSWCNTフィルムの電気抵抗が顕著に変化するため、これらの性質を利用した分子選択的ナノバルブや分子センサーを提案した。ナノ空間に閉じ込められた水分子の振る舞いを明らかにすることによって基礎物理化学分野に多大なインパクトを与えた。

2-2-3. 大串チーム

1) Hideyo Okushi, Hideyuki Watanabe and Shokichi Kanno *Characteristics of Excitonic Emission in Diamond*, *Phys. Stat. Sol. (a)* **202** (2005) 2051.

ダイヤモンドにおける高密度の励起子による発光特性についての理論的考察とカソードルミネッセンスによる実験的研究の報告である。ダイヤモンドにおける励起子発光のスペクトル形状を間接遷移型半導体の特徴であるフォノンを介在する場合の一般的扱いから理論的に導くとともに、その理論に基づいて、カソードルミネッセンス法で得られた高品質ダイヤモンド薄膜からの励起子発光スペクトルを解析した。この結果から、当

チームで合成した高品質ダイヤモンド薄膜を用いることにより、 $10^{18}/\text{cm}^3$ 以上の高密度な励起子状態を室温でも実現することが可能であることを明らかにした。更にこのことから、ダイヤモンドはボーズ粒子の1つである励起子に期待されるボーズ・アインシュタイン凝縮を観測できる材料であることを明らかにした。

2) Hiromitsu Kato, Satoshi Yamasaki and Hideyo Okushi, *n-type doping of (001)-oriented single-crystalline diamond by phosphorus*, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 222111.

従来困難とされていた、ダイヤモンド単結晶薄膜の(001)面へのP(磷)原子によるn型ドーピングを行い、(001)面でのn型の制御に成功し、(001)面でのn型ダイヤモンド合成が可能であることを世界に先駆けて明らかにした。ダイヤモンドのn型ドーピングはP(磷)原子を用いて(111)面で成功しているが、(111)面は結晶面として硬度が高く研磨が困難で、へき開面以外では原子レベルの平坦性が期待できず、機械研磨による平坦化や微細加工、エッチングが容易な(001)面でのn型ドーピングが要望されていた。本研究はこの要望を満たす成果である。

3) Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyuki Watanabe Sung-Gi Ri, Satoshi Yamasaki and Hideyo Okushi, *Strong Excitonic Emission from (001)-oriented Diamond p-n Junction*, Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L1190. (JJAP Express Letter)

ダイヤモンド単結晶(001)面を用いたpn接合を作製しこの接合から235 nmの励起子発光による強い紫外線を観測することに世界に先駆けて成功し、ダイヤモンド(001)面を用いたpn接合の有効性を明らかにした。将来のダイヤモンド電子デバイスの1つである紫外線発光素子への応用を考えると実用化にとって重要な(001)面を用いたpn接合の試作の成功と発光素子動作確認の成功はダイヤモンドの電子デバイス実用化へ大きく近づくものとして期待できる。

2-2-4. 河田チーム

1) Taka-aki Yano, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, *Nanoscale uniaxial pressure effect of a carbon nanotube bundle on tip-enhanced near-field Raman spectra*, Nano Lett. **6** (2006) 1269-1273.

先鋭な金属探針で試料分子を押しながら探針の圧力下にある分子の歪みを検出する近接場ラマン散乱顕微鏡を開発した。具体的には、銀ナノ探針を用いてカーボンナノチューブ(CNT)に最大で2.4 nNの応力を印加し、近接場ラマンスペクトルを測定した。その結果、CNTが同径方向にオングストロームオーダーで歪曲し、CNTの円周方向の振動モードに相当するラマンバンドが 18 cm^{-1} だけ低波数側にシフトすることを見出した。今回開発した近接場光学顕微鏡の空間分解能は、金属探針と測定試料間に作用する力学的な相互作用領域で決まる。試料に印加する圧力を原子間力顕微鏡で制御すると、この相互作用領域を原理的には1 nm程度にまで局在化できるため、従来の近接場光学顕微鏡と比べて空間分解能が飛躍的に向上することが期待される。

2) Atsushi Ono, Jun-ichi Kato, and Satoshi Kawata, *Subwavelength Optical Imaging through a Metallic Nanorod Array*, Phys. Rev. Lett. **95** (2005) 267407.

金属ナノ構造による光ナノイメージング技術、ナノメートルサイズの細い金属線(金属ナノ円柱)を二次元的に配列した構造(ナノロッドアレイ)が、光の波長の限界を超えてナノスケールの物体を結像するレンズの作用をすることを、理論と計算シミュレーションにより示した。レンズの片側に試料をおくと、もう片側にナノサイズの微小な構造を忠実に再現した像が形成される。これは、表面プラズモンと呼ばれる自由電子の振動現象を活用している。レンズの性能を理論解析とともに計算機シミュレーションによって実証した。この新しい光学ナノイメージング技術が、半導体の集積回路(IC)製造

における光リソグラフィや新素材の開発、バイオサイエンス研究に応用されれば、従来の光技術の限界を超える新しい技術革新になると期待される。また、これまでナノテクの材料といえばカーボン系か半導体系あるいは有機材料が一般的であったが、銀や金でできたナノサイズの金属構造体が、ナノテクノロジーの有力な材料の1つになることを明らかにした。

- 3) Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, *Tip-Enhanced Coherent Anti-Stokes Raman Scattering for Vibrational Nanoimaging*, Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 220801/1-4.

ナノスケールの空間分解能で分子の光学像を取得できる近接場コヒーレントアンチーストックスラマン散乱(CARS)顕微鏡を世界で初めて提案し、実際に、DNA分子を構成する一要素のアデニンに特有な分子振動[五員環伸縮振動モード(1337 cm^{-1})]を可視化することに成功した。とくに、DNAナノネットワーク構造のイメージングにおいて、15 nmもの空間分解能を達成した。

本論文で提案した近接場CARS顕微鏡は、従来のプローブ顕微鏡がモノクロのイメージングであったのに対して、カラーイメージを取得できるものである。しかも、蛍光観察のような染色処理も不要であり、分子本来の“色”を分析できる。本方法はDNA分子だけでなく、あらゆる分子材料や半導体材料の分析に応用可能であり、極めて有効なナノ材料分析ツールとなることが期待される。

2-2-5. 小森チーム

- 1) K. Goshima, S. Yamauchi, K. Komori, I. Morohash and T. Sugaya, *Observation of Exciton Molecule Consisting of Two Different Excitons in Coupled Quantum Dots*, Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 253110/1-3.

励起子を用いた光制御型の量子ゲートとして、世界で初めて多ビット化が可能な 2 qubit 量子ゲート素子構造の開発に成功した。

励起子を用いた量子ゲート素子 (2 ビット素子) では、単一ドット中の 2 つの励起子を用いた素子構造と演算動作実証がミシガン大学から報告されたが、多ビット化できない構造での原理実証にとどまっていた。多ビット化可能な素子構造の開発が望まれていた。本論文では、自己形成法によって層厚方向に結合させた結合量子ドット中の 2 つの励起子状態を利用した多ビット化可能な励起子・量子ゲート素子を提案し、実際に、2 qubit 量子ゲートとしての必要条件を満たす 2 ビット状態の形成と観測に初めて成功し、多ビット化可能な素子構造として利用可能であることを明らかにした。さらに、同素子を量子情報通信用の光子源に応用することによって、2 波長の単一光子源の開発にも成功している (J. of Appl. Phys. **102** (2007) 094303/1-8)。

- 2) T. Amano, T. Sugaya, K. Komori, *Characteristics of 1.3 μm quantum-dot lasers with high-density and high-uniformity quantum dots*, Appl. Phys. Lett. **89** (2006) 171122/1-3.

高密度化と高均一化を両立することが可能な通信波長帯 (1.3 μm) 量子ドット材料作製法の開発に世界で初めて成功した。さらに、この技術をレーザー素子として応用展開することにより、1.3 μm 帯の量子ドットレーザーとしては世界最高クラスの高利得発振動作を達成した。

量子ドット材料を超高速光デバイスや高性能レーザーデバイス等の実用デバイスに応用するためには、量子ドットの密度の向上と共に、サイズばらつきが少ない高均一な量子ドット材料の作製技術の開発が重要である。しかし、従来法では、量子ドット密度は 1 cm^2 当たり 10^{10} 台に留まり、また量子ドットの不均一幅は 40~50 meV と大きく、高密度化または高均一化の試みは行われているが、その両立は困難であった。当プロジェクトチーム

では、新たに As_2 分子線を利用する MBE 結晶成長法と傾斜歪緩和法という 2 つの独自作製技術を開発し、これを用いることによって、通信波長帯 (1.3 μm) の量子ドット材料として世界で初めて、 10^{11} 台の高密度化と不均一幅 20 meV 台の高均一化を両立することが可能な量子ドット材料の開発に成功した。さらにこの技術をレーザー素子として応用展開することにより、1.3 μm 帯の量子ドットレーザーとしては世界最高クラスの高利得発振動作を達成した。本論文は量子ドット材料を用いたデバイス (特に量子ドットレーザー) の実用化へのブレークスルー技術を開発したという点で重要な論文である。

- 3) T. Sugaya, K. Komori, T. Yamane, S. Hori, K. Yonei, *InGaAs dual channel transistors with negative differential resistance*, *Appl. Phys. Lett.* **88** (2006) 142107/1-3.

2 重チャネルでのサブバンド間遷移による負性抵抗の発現という全く新しい原理に基づく 100 GHz 超の超高周波発振器用負性抵抗 3 端子素子の開発に世界で初めて成功した。

100 GHz 超の発振器用の負性抵抗素子としては、ガンダイオードや共鳴トンネルダイオードの開発が進められている。しかし、これまでの負性抵抗素子は 2 端子のダイオード構造が主であり、集積化に有利な 3 端子のものはほとんどなかった。今回開発に成功した負性抵抗素子は 3 端子構造で、ダイオードと違って負性抵抗を自由・自在に制御できる利点を有する。特に、電子の通路として量子力学的に結合した高移動度と低移動度の 2 重チャネルを用意し、サブバンド間を電子が遷移する現象を利用し、外部電圧の変化で電子が高移動度チャネルの基底レベルから低移動度チャネルの高次サブバンドレベルに移るといった新しい動作原理によって負性抵抗を発現するものである。

当チームは、量子細線中のサブバンド間遷移を用いる 3 端子負性抵抗素子の開発に世界で初めて成功している。さらに細線チャネルの代わりに、2 重結合量子井戸チャネルを用いることにより、実用化に必要な大電流動作化、近室温動作化が可能な、新型の結合量子井戸デュアルチャネル負性抵抗 FET を新たに提案し、その試作を通して、260 K までの近室温動作化、発振素子としては十分な 20 mA クラスの大電流動作化を達成した。

本素子は通常の電界効果トランジスタと同じ製作プロセスが使えるため集積化に適しており、これによって超高周波 (数 100 GHz) 発振素子を搭載した本格的な超高周波化合物半導体集積回路への応用が期待される。

2-2-6. 三澤チーム

- 1) V. Jarutis, S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa, *Ultrabright femtosecond source of biphotons based on a spatial mode inverter*, *Opt. Lett.* **30** (2005) 317-319.

従来の量子相関光子ビーム源は、量子情報処理、量子通信、量子暗号などへの利用を目指して開発されているため、加工に必要不可欠な大きな光量を有する光源は全く存在しなかった。本研究においては、空間モードインバータと呼ばれる独創的な光学系を開発し、極めて大きな光量の量子相関光子を発生させることにはじめて成功した。この研究成果は、「量子相関光子対による分子系の 2 光子吸収の誘起」へ向けて大きく前進したことになる。

- 2) K. K. Seet, V. Mizeikis, S. Matsuo, S. Juodkazis and H. Misawa, *Three-Dimensional Spiral-Architecture Photonic Crystals Obtained By Direct Laser Writing*, *Adv. Mater.* **17** (2005) 541-545.

微弱な量子相関光子対を用いて分子系の 2 光子吸収を誘起しナノ加工を行うためには、光子対と分子系を強く結合させる光反応場が必要となる。3 次元スパイラル構造を有するフォトニック結晶は、極めて強く光を閉じ込めることが可能であり、上記光反応場としては最も有望であることがシミュレーションより示されているが、従来の半導体加工技術では加工することが不可能であった。本研究においては、フェムト秒レーザー加工により 3 次元スパイラルフォトニック結晶構造を作製することにはじめて成功し、その光学特性も評価した。本研究成果は *Science* 誌の Editor's Choice にも紹介され国際的にも高く評価

されており、今後、量子相関光子対による光反応場としてだけではなく、様々なフォトニックデバイスへの応用・展開が期待される。

- 3) K. Ueno, S. Juodkazis, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa, *Spectrally-resolved atomic-scale length variations of gold nanorods*, *J. Am. Chem. Soc.* **128** (2006) 14226-14227.

3次元フォトニック結晶同様、金属ナノ構造の局在プラズモンは分子系と強く結合し、量子相関光子対による2光子吸収を増強できる光反応場になると考えられる。本研究においては、電子線描画とリフトオフ法を用いて様々なサイズ・形状（アスペクト比）を有する金のナノブロック構造を作製し、原子レベルの構造サイズ変化を局在プラズモンの吸収スペクトルの波長シフトとして計測することが可能であることを明らかにした。本研究成果を基礎に、金ナノブロック構造の構造間距離を0~10 nmで制御し、極めて高い多光子吸収過程を介した発光の増強(>1000倍)の観測にも成功している。これまで局在プラズモンの研究分野において未踏であった金属間距離がシングルナノメーターの領域における新しい現象の解明に大きな手がかりを与える極めて重要な研究成果である。本研究の成果により、科学研究費補助金 特定領域研究「光-分子強結合反応場の創成」(領域代表 三澤弘明)が平成19年度より発足した。

2-2-7. 石原チーム

- 1) K. Edamatsu, G. Oohata, R. Shimizu and T. Itoh, *Generation of ultraviolet entangled photons in a semiconductor*, *Nature* **431** (2004) 167-170.

マクロな距離に渡って量子力学的な重ね合い状態が保持される「もつれ合い状態」は、近年量子情報通信や量子コンピュータへの応用が期待されている。特に光子によるものは遠距離に渡ってもつれ合い状態が保持されるため有効な量子情報媒体と考えられており、デバイス化へ向け、半導体による生成技術の開発が待たれていた。本論文ではそのような中、CuCl単結晶における励起子分子のHyper-Raman散乱を用い、世界にさきがけて半導体からの「もつれ合い光子対」生成を報告した。本論文で報告された「もつれ合い光子対」は従来のパラメトリック下方変換によるものと異なり、(1)2つの入射光子に対してもつれ合い光子対が生成される、(2)入射光子と同じ周波数帯のもつれ合い光子が生成される、(3)世界初の短波長もつれ合い光子である、など従来にない性質を持っており、本結果はもつれ合い光子の応用範囲を画期的に広げるものとして注目されている。

- 2) A. Syouji, B. P. Zhang, Y. Segawa, J. Kishimoto, H. Ishihara and K. Cho, *Interchange of quantum states of confined excitons caused by radiative corrections in CuCl films*, *Phys. Rev. Lett.* **92** (2004) 257401/1-4.

薄膜に閉じ込められた励起子の光学応答の研究は30年以上の歴史を持ち、ナノ系光学応答研究のプロトタイプとも言える。それにもかかわらずいわゆるポラリトンの干渉問題以外、その研究のほとんどは長波長近似の枠内にとどまっており、閉じ込め励起子と光の結合系がどのようなモード構造を持っているか、今日まで十分な議論がなかった。本研究では、長波長近似を超えて非双極子の励起準位まで含め、総合的にモード構造を明らかにした石原らの理論的結果を、入射光との干渉を巧みに回避する2光子散乱法を用いて実験検証し、特に非長波長領域に特有な「膜厚の増大にともなう量子状態の入れ替わり」などを明瞭に観測した。現在励起子閉じ込め系の非長波長的な効果が、巨大な非線形性や高速輻射緩和に現れることが議論されているが、提案されていた特異なモード構造はこのような現象を理解する上での基礎となる。本論文はこれに実験的な確証を与えた点で重要な意味を持つ。

- 3) T. Iida and H. Ishihara, *Force Control between Quantum Dots by Light in Polaritonic Molecule States*, *Phys. Rev. Lett.* **97** (2006) 117402.

ナノ物質間に生じる力はナノ複合体形成過程や物質中のミクロな情報獲得において重要な役割を演じ、これが人為的に制御可能になればナノサイエンス、ナノテクノロジーの広範な分野で様々な可能性が広がる。本研究では、近接するナノ粒子にレーザー光を照射すると励起光の特性変化によって制御可能な引力・斥力が生じることを独自の微視的理論を用いて明らかにした。物質を光励起するとポラリトン(電気分極の量子)がその内部に形成されるが、これが光誘起電場を介して遠隔的に相互作用し「ポラリトニック分子」と呼ばれる新しい量子状態を形成し、結果としてナノ粒子間に力が誘起される。ポラリトニック分子は二原子分子の量子力学的な結合・反結合状態と類似した分裂量子状態を持つが、照射するレーザーの偏光により引力の生じる結合状態(低周波数側)と斥力が生じる反結合状態がスイッチできる。このように結合・反結合状態を人為的に制御できるという点が実際の分子とは大きく異なる。得られた結果はCREST 石原チームの目標達成に向けた高コヒーレンス材料の作製法提供に繋がるだけでなく、量子力学と物質間力制御を結びつけた非従来のナノ構造体の観測、操作、製造技術における新しい指導原理を与えるものと期待される。

2-2-8. 板谷チーム

1) K. Sato, T. Sawaguchi, M. Sakata and K. Itaya, *Non-Contact Atomic Force Microscopy of Perfect Single Crystals of Pentacene Prepared by Crystallization from Solution*, *Langmuir* **23** (2007) 12788.

ペンタセンの溶液から結晶化された単結晶ペンタセンの表面構造を非接触原子間顕微鏡で評価した。得られた結晶はほぼ完全結晶であり、分子的に平坦なテラスはデバイス長と同程度の数ミクロン以上であったことを世界で初めて報告した。この成果は、今後の有機半導体の研究に大きなインパクトを与えるものである。

2) S. Yoshimoto, Y. Honda, Y. Murata, M. Murata, K. Komatsu, O. Ito and K. Itaya, *Dependence of Molecular Recognition of Fullerene Derivatives on the Adlayer Structure of Zinc Octaethylporphyrin Formed on Au(100) Surface*, *J. Phys. Chem. B* **109** (2005) 8547.

Au(100)単結晶表面上に吸着した、Zn-Octaethylporphyrin は、固液界面で非常に規則正しい吸着構造を取る事を確認した。その吸着層上に、種々の機能が期待される、オープンフラウン(開口フラウン分子)を吸着したところ、下地のポルフィリン分子に対し、1:1の比で第2層目が形成されることが、STMによって判明した。エピタキシャル多層膜形成の重要な知見を与えるものである。

3) S. Ogawa, T. Naijio, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, *Photoinduced doping effect of pentacene field effect transistor in oxygen atmosphere studies by displacement current measurement*, *Appl. Phys. Letts.* **86** (2005) 252104.

代表的な p 型有機半導体であるペンタセンを用いて、酸素ガスが FET 素子に与える影響を評価した。その結果、酸素ガス中の素子に、さらに光があたることによって大きな特性変化があることを観測した。この結果は、酸素ガスが素子作製プロセス内に存在していても、光を遮断していれば酸素の影響を抑制することができることを示唆しており、素子作製プロセス上有益な知見が得られた。さらに、照射する光の量によって FET 素子の変化の度合いを制御でき、有機半導体素子の新しい特性制御法の確立が期待できる。

2-2-9. 高柳チーム

1) S. Saito, M. Thorwart, H. Tanaka, M. Ueda, H. Nakano, K. Semba and H. Takayanagi, *Multiphoton Transitions in a Macroscopic Quantum Two-State System*, *Phys. Rev. Letts.* **93** (2004) 037001-1.

磁束量子ビットにおいては、右向き超伝導電流と左向きの電流状態が、二つの巨視的量子重ね合わせ状態を形成する。この二つの状態間の3光子までの多光子吸収過程の観測に成功し、その特性解析を行った。理論解析は実験結果を見事に説明し、このような巨視的量子系の光（マイクロ波）に対する応答が明らかとなった。特に2光子以上で通常の固体に比べて大きな吸収係数が観測されたことは、この系において、なんら散乱要因や選択則の無いことを意味しており、純粋物理系としての量子ビットの存在が鮮明になった。このような物理的成果にプラスして、本成果は、吸収より更に重要なラビ振動（特に多光子ラビ振動）の観測の成功（投稿中）への道を開くことに大きく貢献している。

2) T. Kutsuzawa, H. Tanaka, S. Saito, H. Nakano, K. Semba and H. Takayanagi, *Coherent control of a flux qubit by phase-shifted resonant microwave pulses*, Appl. Phys. Letts. **87** (2005) 073501.

単一量子ビットのマイクロ波制御法には、単一パルスによるラビ振動と、2つのマイクロ波パルスによるラムジーフリンジ (Ramsey fringe) がある。後者に関しては、従来法では、2つのパルスの間にある時間間隔を置く必要があった。これは最初のパルスを構成するマイクロ波の周波数を共鳴周波数よりわずかにずらして、この差周波数の逆数の時間だけ量子ビットがブロッホ球の赤道面で回転するのを待つ必要があったからである（この従来法を *detuning method* と呼ぶ）。これに対して我々は、最初のマイクロ波パルスの周波数には、共鳴周波数をそのまま使用し、その代わり第二のパルスの位相を故意にある大きさをずらす方法を開発した。この方法では、量子ビットの赤道面での回転を待つ必要がないために、従来法よりおよそ100倍速いラムジーフリンジを確認できた。この手法とラビ振動による制御法を組み合わせることによって、従来法より高速で（約100倍）量子ビットの任意制御を行うことが可能となる。量子ビットには短いコヒーレンス時間内に何回のゲート操作が可能か、という命題がつきまわっているが、この命題に対しても一つの明快な答えを与えることができると考えられる。

3) H. Terashima and M. Ueda *Nonunitary quantum circuit*, Internl. J. Quantum Inf. **3** (2005) 633-647.

量子計算は論理ゲートとよばれる基本ユニットから構成されるが、これらはユニタリーな論理演算を行う。本論文ではこれを、観測過程を含み、非ユニタリーな論理ゲートを含む量子回路への拡張を行った。非ユニタリー演算はユニタリー演算を特別な場合として含むので、従来よりも広いクラスの論理演算が可能になることが示された。本論文で提案された方法は、正しい答えが得られる確率が従来の方法に比べて低いが、与えられた論理演算を実行するために必要なキュービットの数が少なくすむために、キュービットの数が厳しく制限されている現状では有効な方法であると考えられる。

2-2-10. 松本チーム

1) K. Maehashi, Y. Ohno, K. Inoue and K. Matsumoto, *Chirality selection of single-walled carbon nanotubes by laser resonance chirality selection method*, Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 858-860.

従来カーボンナノチューブの電気的特性を左右するカイラリティーを制御することは全く不可能であった。本研究において、レーザーを共鳴吸収させることにより、特定のカイラリティーを有するカーボンナノチューブを選択的に除去する手法を初めて開発した。これはカーボンナノチューブのカイラリティーを制御した初めての研究成果である。

2) K. Maehashi, K. Matsumoto, K. Kerman, Y. Takamura and E. Tamura, *Ultrasensitive Detection of DNA Hybridization Using Carbon Nanotube Field-Effect Transistors*, Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) L1558-L1560 (Express Letter).

従来、DNAのハイブリダイゼーション現象の検知は、標識試薬を用い、さらにレーザ

一計測を行うなど大がかりな装置を必要とするものであった。本研究において、カーボンナノチューブ電界効果トランジスタの高感度特性を利用して、電氣的に非常に簡便に DNA のハイブリダイゼーション現象を検知することに成功した。またその感度は電氣的に検知したものでは世界最高の感度を得ることができた。

3) D. Kaminishi, H. Ozaki, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue and K. Matsumoto, *Air-stable n-type carbon nanotube field-effect transistors passivation films fabricated by catalytic chemical vapor deposition*, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 113115.

従来、カーボンナノチューブにプラズマ CVD 等で保護膜を作成すると、プラズマの高エネルギーの為にカーボンナノチューブを破壊してしまい、保護膜を作製することが極めて困難であった。本研究において、Catalytic CVD 法という熱フィラメントを用いてガスを分解する堆積手法で、カーボンナノチューブを破壊することなく窒化シリコン保護膜を作製することに成功し、大気中において安定動作するカーボンナノチューブ電界効果トランジスタを実現した。

2-2-11. 赤穂チーム

1) H. Yamada, Y. Ogawa, Y. Ishii, H. Sato, M. Kawasaki, H. Akoh and Y. Tokura, *Engineered interface of magnetic oxides*, Science **305** (2004) 646.

磁化誘起第二高調波発生 (MSHG) とよばれる現象を新しい「界面磁性プローブ」として活用し、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (LSMO)絶縁体 SrTiO_3 (STO) 界面の磁性を直接的に評価した。その結果 STO/LSMO ($x=0.4$) 界面では全温度範囲で MSHG は殆ど観測されず、STO/LSMO 界面に dead layer が存在していることがわかった。そしてこの dead layer の存在が LSMO/STO/LSMO トンネル接合の TMR 比を低減させていると判断し、かつこの現象は界面における電子移動 (LSMO 層へのオーバードーピング)により説明できると考えた。その仮説の下に、界面の電荷移動を相殺するべく、「傾斜組成界面」界面、すなわち LSMO ($x=0.4$) を電極層として用い、界面付近のみ徐々にアンダードーピングした構造を考案した。本研究では、STO と LSMO の間に 2 分子層 (0.8 nm) の LaMnO_3 (LMO) を挿入した界面構造を作製して MSHG 測定を行った。LMO 自体は反強磁性絶縁体であるが、STO と LSMO よりホールをドーパされ、界面の電荷移動を相殺して強磁性を示すと期待できる。実際この STO/LMO/LSMO 界面では、MSHG は非常に大きく、バルクに匹敵する温度依存性をもつ。即ち、STO 界面近傍であってもバルクのような強靱な界面強磁性の実現に成功した。

2) A. Sawa, T. Fujii, M. Kawasaki and Y. Tokura, *Hysteretic current-voltage characteristics and resistance switching at a rectifying Ti/Pr_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃ interface*, Appl. Phys. Lett. **85** (2004) 4073.

近年、遷移金属酸化物を金属電極で挟んだ接合素子にパルス電圧を印加すると、異なった抵抗値間を可逆に変化する電界誘起抵抗変化メモリ (Colossal Electro-Resistance Memory: CERM) 効果が報告され、この現象を利用した不揮発メモリ素子 Resistance Random Access Memory (RRAM) が次世代のユニバーサルメモリの候補として注目されている。しかし、この CERM 効果の動作メカニズムが未解明であった。本論文で金属電極と遷移金属酸化物の接合界面にショットキー的な空乏層領域が形成され、その空乏層領域への電荷蓄積が CER 効果とその可逆なメモリ効果と関連していることを明らかにした。また、これまで制御不可能であった素子特性の一つである抵抗変化の方向性についても我々が開発した素子構造を用いることで、ショットキー的な界面に順方向の電圧を印加することで低抵抗状態に、逆方向の電圧を印加することで高抵抗状態に変化させることができるようになった。CERM 効果の動作メカニズム解明の手がかりと素子特性の制御・設計の指針を与える重要な成果である。

3) Y. Ishii, H. Yamada, H. Sato, H. Akoh, Y. Ogawa, M. Kawasaki and Y. Tokura, *Improved tunneling magnetoresistance in interface engineered (La,Sr)MnO₃ junctions*, Appl. Phys. Lett. **89** (2006) 042509.

磁化誘起第二高調波発生 (MSHG) により、(La,Sr)MnO₃/SrTiO₃ (LSMO/ STO)界面での電荷移動による界面強磁性の劣化を防ぎ、界面強磁性の改善のため、強相関界面エンジニアリングに基づいた界面デザインを行った。一つは、電荷移動の起こりにくいLaAlO₃ (LAO)バリアの導入であり、二つ目は、LaMnO₃ (LMO)層挿入による傾斜組成界面の形成である。これらの界面デザインを MSHG 界面プローブで確認した結果、LSMO/STO 界面に比べて界面磁性を大幅に増大させることに成功した。この界面エンジニアリングに基づきトンネル接合を作製した結果、STO バリア接合に比べてトンネル抵抗 (TMR) 比の飛躍的な向上に成功した。

3. 受賞等

平成19年 12月 28日現在

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞時期
猪俣 浩一郎	日本応用磁気学会業績賞	日本応用磁気学会	H14. 9
岩佐 義宏	金属材料科学助成賞	金属研究助成会	H14. 10
河田 聡	OSA Fellow of the Society	米国光学会 (Optical Society of America)	H14. 12
河田 聡	島津賞	島津科学技術振興財団	H15. 2
高梨 弘毅	功績賞	日本金属学会	H15. 3
高柳 英明	超伝導科学技術賞	未踏科学技術協会	H15. 6
前川 禎通	日本応用磁気学会賞	日本応用磁気学会	H15. 9
板谷 謹悟	紫綬褒章	日本国天皇	H15. 11
岩佐 義宏	IBM 科学賞 (物理分野)	日本 IBM	H16. 11
板谷 謹悟	日本化学会 学会賞	日本化学会	H17. 3
河田 聡	平成 17 年度文部科学大臣表彰科学技術賞	文部科学省	H17. 4
井上 康志	第二回堀場雅夫賞	(株)堀場製作所	H17. 7
小池 和幸	第五回山崎貞一賞	材料科学技術振興財団	H17. 9
三澤 弘明	光化学協会賞	光化学協会	H17. 9
上田 正仁	平成 19 年度文部科学大臣表彰科学技術賞	文部科学省	H19. 4
河田 聡	紫綬褒章	日本国天皇	H19. 11

このほか学会優秀論文賞や講演賞、奨励賞など 53 件の受賞がある。

4. シンポジウム等

4-1. 領域主催シンポジウム

シンポジウム名	開催日	場所	入場者数	特記事項
公開シンポジウム	H16. 10. 4	私学会館 (市ヶ谷)	200 名	
終了報告会 (公開)	H18. 11. 9	主婦会館プラザエフ (四ツ谷)	120 名	平成 13 年度採択 6 課題
ナノテクノロジー研究会	H19. 7. 9~1 日	産総研 (つくば)	70 名	非公開

ナノテクノロジー分野別パ ーチャルラボ成果報告会	H20. 1. 11	新都市ホール(横浜)	470 名	公開、榊、蒲生、福山、 潮田領域と合同
-----------------------------	------------	------------	----------	------------------------

4-2. 領域内連携、領域間横断シンポジウム、ワークショップなど

シンポジウム名	開催日	場所	入場者数	特記事項
CREST&QNN03 ジョイント国際 ワークショップ	H15. 7. 21~23	兵庫県立淡路夢 舞台国際会議場	140 名	三澤、小森、石原、松本チ ームと外部有識者
金研ワークショップ (岩佐)	H15. 11. 13~14	東北大学、金研	60名	チームの成果報告と外部との 交流(国際会議)
メガスコピック超伝導と スピントロクスに関する 国際会議 MS+S2004	H16. 3. 1~4	NTT厚木、R&D センター	200 名	メガスコピック超伝導、スピント ロクス、量子コンピュータ、量子情 報、アンドレーフ反射、半導体 ナノ構造、超伝導・磁性体構 造、希薄磁性半導体ナノ構造 における量子効果、他
岩佐チーム公開 ミーティング	H16. 8. 3~5	宮城県鳴子町	20名	チームの成果報告と外部との 交流
分子研研究会(金属 内包フラーレンの新展開 -基礎と応用)	H17. 11. 7~8	自然科学研究機 構、分子科学研究 所	60名	フラーレンの物理・化学並びに デバイス応用
メガスコピック超伝導と スピントロクスに関する 国際会議 MS+S2006	H18. 2. 27~3. 2	NTT厚木センタ ーR&Dセンター	180 名	全上
JST 領域横断 シンポジウム(第3回 国際ナノフォトニクス)	H18. 7. 6~8	大阪大学 銀杏会館	76名	公開
JST 領域横断 ワークショップ	H18. 10. 10~12	飯綱高原ホテル アルカディア	90名	カーボンナチューブ関連[3領域、 4研究チーム、外部有識者]
金研ワークショップ	H18. 10. 20~21	東北大学金研	60名	チームの成果報告と外部との 交流(国際会議)
「スピン流」領域横断 研究会	H20.1.10	東大工学部	45名	スピン流関連[4領域、6チーム] 今後の方向性討論
JST 領域横断 ワークショップ	H20. 1. 26~28	湘南国際村	90名	カーボンナチューブ関連[3領域、 4研究チーム、外部有識者]

5. その他の重要事項(新聞・雑誌・テレビ等)

- (1) アイスチューブの発見 [岩佐チーム]; CNT内で氷のチューブができる。室温以上で存在しうる。新聞発表(H14.9、H15.6)、フジテレビ「とくダネ!」(H16.12)、「ニュートン」に4ヶ月連載(H17.6~8)、第一学習社高校化学副読本に掲載
- (2) 有機分子内包チューブで各種半導体開発[岩佐チーム]; ナノチューブ半導体が安定に。新聞発表(H15.9)、構造モデル図が、ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター発行のメルマガヘッダー部分に採用される。
- (3) 単分子膜を用いた有機トランジスタの特性制御、低電力駆動化に成果 [岩佐チーム]。

新聞発表 (H16. 4)

- (4) スピン注入磁化反転の低電硫化に成功 [猪俣チーム]; スピンバルブ素子にスピンのフィルター機能を持たせて電流を 2 桁低減。新聞発表 (H16. 5)
- (5) 界面の磁性を光で検出可能に [赤穂チーム]; TMR 素子高性能化などに有用、非線形磁気光学効果を利用、偏波面の強度変化を計測可能に。新聞発表 (H16. 7)
- (6) 超伝導磁束量子ビット、マイクロ波で多光子制御 [高柳チーム]; 理想的な量子 2 状態系を検証。新聞発表 (H16. 9)
- (7) 半導体を用いた量子もつれ光子の発生に成功 [石原チーム]; 紫外領域での量子もつれ光子作成。新聞発表 (H16. 9) その後、新聞、週刊誌などで半導体での成果に注目しているとして多く取り上げられている。
- (8) 金属ナノ粒子中の電子スピン寿命を観測 [猪俣チーム]; アルミナ中にコバルトナノ粒子を分散させたグラニューラー構造でバルクの 1 万倍の寿命を確認。新聞発表 (H16. 12)
- (9) n 型ダイヤモンド半導体の合成に成功 [大串チーム]; (001) 面 n 型を合成、 pn 接合による紫外発光確認。新聞発表 (H17. 5)
- (10) レーザー光でたんぱく質制御 [河田チーム]; 特定のたんぱく質の機能停止を瞬時にがん治療など期待。新聞発表 (H17. 6)
- (11) 量子計算機用の光制御型基本素子開発 [小森チーム]; 励起子相互作用による、2 キュービット演算素子構造開発、多ビット化に有利。新聞発表 (H17. 12)
- (12) 金属ナノ構造でレンズ [河田チーム]; プラズモン伝播で像を形成。新聞発表 (H17. 12)
- (13) CNT トランジスタの安定動作実現 [松本チーム]; 新プロセスにより電流変動を実用レベルに。新聞発表 (H18. 3)
- (14) CNT でバイオセンサー [松本チーム]; がん・肝炎などの早期発見を可能にする高感度バイオセンサーを開発。新聞発表 (H18. 12)
- (15) カーボンナノチューブの分子選択的ナノバルブの原理を発見 [岩佐チーム]; CNT 内部の水分子が雰囲気ガス分子と交換する「交換転移」を、分子選別フィルターやガスセンサーへの応用が期待。新聞発表 (H19. 1)
- (16) 室温動作単一電子トランジスタ基本構造の簡単作製 [板谷チーム]; ポーラスアルミナを利用したナノドット作製技術を確立、世界最高性能を立証。新聞発表 (H19. 5)

これらのトピックスは Nature, Science, Nature Materials, Nature Methods, Physical Review Letters, Applied Physics Letters などの論文掲載時期に合わせての発表である。これらの発表に関連した取材、大学発ベンチャー、大学法人化、などに関連しての取材記事なども延べ 200 件を超えており、広く科学技術の理解促進に貢献した。

6. その他の添付資料

6-1. 他制度への展開

6-1-1. NEDO への展開 (平成 19 年 12 月現在) [氏名の後の (代)、(共) は CREST 研究時の役割、(代) は研究代表者、(共) は共同研究者]

CREST		NEDO プロジェクト情報				
研究者・所属	期 間	課題名／制度名	代表者・所属	期間	概 要	関連機関
猪俣浩一郎 (代) 物質・材料研究機構	H13- H18	高スピソ偏極材料を用いたスピソ MOSFET の研究開発/ナテク・先端部材実用化研究開発	斉藤好昭(共) 東芝研究開発センター	H18- H20	CREST で開発した分極率の高い電極材料からの半導体へのスピソ注入を応用し、ロジックとメモリ素子機能を一体化した MOSFET の基本開発を行う	物質・材料研究機構 東京大学
岩佐義宏(代) 東北大学金属材料研究所	H13- H18	インジエツト法を用いたカーボンナノチューブ 薄膜トランジスタの創製と透明フレキシブルトランジスタへの展開/産業技術研究助成	竹延大志(共) 東北大学金属材料研究所	H18- H21	フレキシブルデバイスの実現には簡便な方法でトランジスタスイッチを多量に製作できる技術が求められる。CREST での蒸着、塗布技術での研究をベースに微細化加工技術として期待されているインジエツト法に水平展開する	バブァー工業
大串秀世 (代) 産業技術総合研究所	H13- H18	深紫外線発光デバイスの研究開発/ナテク・先端部材実用化研究開発	山崎聡(共) 産業技術総合研究所	H19- H21	次世代半導体材料の一つであるダイヤモンド半導体により 235 nm の発光素子のデモを CREST で行った。その成果をベースにして殺菌、浄水、記録光源などの多用途展開を可能にするデバイス技術を産業界を巻き込んで構築する	神戸製鋼 ローム 物質・材料研究機構
松本和彦(代) 大阪大学	H14- H19	パーソナル QOL システムのための CNT 超高感度生体分子センサーの研究開発/ナテク・先端部材実用化研究開発	安宅龍明 オリンパス	H17- H19	CNT の比表面積が巨大であることを応用し、超高感度電気化学バイオセンサーを開発し、簡便、確実な診断システムの基礎技術を開発する	北陸先端 科学技術 大学院大学
赤穂博司 (代) 産業技術総合研究所	H15- H19	遷移金属酸化物接合の電界誘起抵抗変化効果の機構解明と不揮発メモリ素子の開発/産業技術研究助成	澤彰仁(共) 産業技術総合研究所	H17- H20	遷移金属酸化物接合の電界誘起抵抗変化は巨大であり ReRAM として提案されている。CREST は材料開発を軸にして推進してきたが、本プロジェクトはこの巨大な抵抗変化効果の機構解明によって、高信頼性、大容量不揮発メモリ素子の基本形を開発する	

6-1-2. 科研費などへの展開

CREST		新たに展開したプロジェクト情報				
研究者・所属	期 間	課題名／制度名	代表者・所属	期間	概 要	関連機関
猪俣浩一郎 (代) NIMS	H13. 12- H19.3	ハーフメタル強磁性体を用いたスピ ン機能 MOSFET の開発/CREST (次世代エレクトロニクスデバイス創出に 資する革新材料・プロセス研究)	菅原 聡 東工大	H19- H23	ホイスラー合金ハーフメタルを MOSFET のソースとドレインに 用いた、不揮発性のスピ ン MOSFET および擬ス ピン MOSFET の研究開発する	スピ ン MOSFE T を東 芝と開発 (NEDO)
三澤弘明 (代) 北海道大学	H14- H18	光-分子強結合反応場の創成/ 文部科学省 科学研究費補助金 「特定領域研究」	三澤弘明(代) 北海道大学	H19- H22	光-分子強結合反応場を開拓することを目的 に、光子を捕捉・局在化させる機能を有するナ ノマイクロ構造を構築し、この場に特有の光と分 子作用現象を探索しつつ、新しい学際領域の 学理の探求とその応用技術への展開を図る	
石原一 (代) 大阪府立大学	H14. 10- H20.3	科学研究費補助金 学術創成研 究	枝松圭一(共) 東北大学	H17- H21	半導体を用いた量子もつれ光子の発生技術を さらに発展させ、半導体量子構造や擬似位相 整合を用いた非常に高効率な量子もつれ光源 および検出器を開発するプロジェクト研究。枝松が 研究代表者となり、石原を初めとする数名が 研究分担者として参画する	
石原一 (代) 大阪府立大学	H14. 10- H20.3	科学研究費補助金 特定領域研究	石原一 (代) 大阪府立大学 (計 画代表)	H19- H22	物質波動と光波動のインタープレイによる新しい物 性研究が光化学の分野においても重要である ことから、三澤が代表を務める上記特定研究 領域に石原が計画研究代表として参画する	
石原一 (代) 大阪府立大学	H14. 10- H20.3	科学研究費補助金 特定領域研究	安食博志 (共) 大阪大学 (計画代 表)	H19- H23	光マニピュレーション研究に関連して行ってきたカーボ ンナノチューブにおける光-励起子結合、および共鳴 輻射力の研究を一層発展させることを一つの 柱とし、理論グループの安食が上記特定研究領 域に計画研究代表として参画する	

石原一 (代) 大阪府立大学	H14. 10- H20.3	科学研究費補助金 基盤研究(B)	芦田昌明 (共) 大阪大学	H19- H21	本プロジェクトで推進してきた光マシブレーション研究を基礎科学的観点よりサポートする研究であり、本チームより他に石原、飯田らが参画する	
石原一 (代) 大阪府立大学	H14. 10- H20.3	科学研究費補助金 基盤研究(C)	安食博志 (共) 大阪大学	H19- H20	本プロジェクトで推進した共振器 QED に基づく高効率な光非線形物質の設計をさらに発展させる計画。石原が分担者として参加する	
高柳英明 (代) 東京理科大学	H14. 10- H19.9	コヒーレント状態と固体量子ビットに基づく量子情報処理の研究/科研費特別推進研究	山本喜久 国立情報学研究所	H18- H22	大規模な量子コンピュータを実現するための基盤技術として、最も有力視されている量子ビットを含む共振器量子電磁気学システムをコヒーレント状態にある電磁波相互に結合する手法を、半導体素子と超伝導素子によって実現するための基礎技術を確立することをめざす	NTT、国立情報研、慶応大学
高柳英明 (代) 東京理科大学	H14. 10- H19.9	超伝導人工原子を用いた量子物理/科研費基盤研究 A	仙場浩一(共) NTT 物性基礎研	H17- H19	超伝導人工原子を用いることにより、通常の原子を用いた量子光学実験では到達不可能な条件下での量子物理実験を行い、超伝導人工原子技術をナノ加工技術と組み合わせ、量子レベルでのナノ構造体の振動量子 検出・制御や、新たな量子情報担体の可能性を追求する	NTT のみ
岩佐義宏 (代) 東北大学金属材料研究所	H13- H18	配列ナノ空間を利用した新物質科学---ユビキタス戦略/文科省科研費特定領域研究	谷垣勝己(共) 東北大学大学院理学研究科	H19- H23	ナノ物質が形成する空間を利用して、空間幾何、空間閉じ込め、空間自由度、空間階層構造を基本とした新しい物性研究を遂行するとともに、応用展開へ向けた基礎理学を推進する	

6-1-3. JST(CREST、さきがけ等)

CREST		新たに展開したプロジェクト情報				
研究者・所属	期間	課題名/制度名	代表者/所属	期間	概要	関連機関
岩佐義宏 (代) 東北大学金属材料研究所	H13- H18	酸化物・有機分子の界面科学とデバイス学理の構築/CREST	川崎雅司 東北大金研	H18- H23	有機物・酸化物の界面を用いた新しいデバイスとその学理を構築することを目指す	

岩佐義宏 (代) 東北大学金属材料研究所	H13- H18	ナノ界面・電気状態制御による 高速動作有機トランジスタ/CREST	塚越一仁 理化学研究所	H18- H23	有機トランジスタにおける、伝導・注入・蓄積の3問題をナノスケール界面修飾導入によって解決し、デバイスの高性能化を達成する	
岩佐義宏 (代) 東北大学金属材料研究所	H13- H18	第二世代カーボンナノチューブ創製による不代替デバイス開発/CREST	片浦弘道 産業技術総合研究所	H19- H23	金属と半導体を分離制御したカーボンナノチューブを創製して、それによる不代替デバイスを開発することを目的とし、本研究者は分離制御の機構解明、分離したチューブの構造・物性の評価、およびそれを使った分子センサの開発を行う	
河田聡 (代) 大阪大学	H13- H18	プラズマモニタリング走査分析顕微鏡	河田聡(代) 大阪大学	H18- 24.3	表面プラズマモントリタリングをプローブとしたナノスケール顕微分析技術を開拓し、局部ひずみを光学応答の摂動として計測する新規ナノ分析・イメージング法を開発する	
赤穂 博司 (代) 産業技術総合研究所	H15- H19	機能性酸化物を用いた界面相転移スイッチングデバイス開発/CREST	秋永広幸 産業技術総合研究所	H19- H25	金属/絶縁性酸化膜の界面電子状態および強相関相転移の物性制御研究により不揮発性スイッチングデバイス技術の開発する	
石原一 (代) 大阪府立大学	H14- H19	光子数確定パルスの空間制御理論/ さきがけ	越野和樹(共) 東京医科歯科大学	H18- H20	共振器を介して効率的に入射光子と結合した非線形光学物質を舞台に、“光学特性の時間的操作”という新しい自由度を最大限に活用して、光子の量子状態を自在に勝つ厳密に制御する方法の理論を確立する	
河田聡 (代) 大阪大学	H13- H18	プラズマモニタリング・メタマテリアルの創製と新奇光デバイスへの展開/ さきがけ	田中拓男(共) 理化学研究所	H18- H20	光の周波数領域で動作するプラズマモニタリング・メタマテリアルによる新奇な光学現象を用いて、物質境界面において光を完全に透過させる光学素子のようにより、古典光学の範囲では実現し得ない新しい光制御技術の確立とそのデバイス創製を行う	
三澤弘明 (代) 北海道大学	H13- H18	ナノ光リソグラフィによる金属ナノパターン作製技術の開発/ さきがけ	上野貢生(共) 北海道大学教	H19- H21	高い光電場増強を示すナノギャップ金構造をフォトマスクとして、近赤外光による局所的なフォトリソグラフィーによる非線形光反応を誘起し、シングルナノメートルオーダーの高分解能リソグラフィを実現する従来と異なる動作原理に基づいた光加工技術を開発する	

石原一 (代) 大阪府立大学	H14- H19	デザインされた光場によるナノ複合体の力学制御/ さきがけ	飯田琢也(共) 大阪府立大学	H19- H21	特定条件のレーザー照射下でナノ物質間に量子力学的効果による遠隔的な力が生じる現象に注目し、特性をデザインされた光場でナノ物質間に生じる力と揺らぎのバランスを変化させ、ナノ複合体の運動制御を行うための原理を獲得し、新規光機能を有するナノ材料の操作・製造・計測技術を開拓する
石原一 (代) 大阪府立大学	H14- H19	ランダム構造内の欠陥領域を利用した光局在モード制御/ さきがけ	藤原英樹(共) 北海道大学	H19- H21	波長オーダーの無秩序な屈折率分布をもつランダム構造でランダム構造の均一化と構造内に散乱体の無い領域を故意に設ける事により、構造内に制御された光局在モードを実現し、新規な光反応場の構築を目指す
石原一 (代) 大阪府立大学	H14- H19	多光子波束による物質の非線形光学応答/ さきがけ	清水亮介(共) 科学技術振興機構 構研究員	H19- H21	時間一周波数領域における多光子波束の量子的内部自由度を制御する手法の開拓を行い、その非線形光学応答を実験的に調べ、量子レベルの光と物質との非線形光学応答では相互作用を強く起こしたい場合と、時間応答を調べたい場合とで最適な光の状態が異なることを明らかにする
石原一 (代) 大阪府立大学	H14- H19	量子ドットによる光・量子メモリの創出と高光非線形性の探求/ さきがけ	早瀬潤子(共) 情報通信研究機構 専攻研究員	H19- H21	2つの光パルス間の相対位相差として符号化された情報を半導体量子ドットに転写・保存し、制御パルスにより必要な操作を施した後、読み出しパルスを照射しフォトンキューとして再生する際、材料構造の最適化により非線形性を増大させ、極微弱光領域において動作する量子メモリの実現を目指す

このほか科学技術振興調整費、平成 19 年度の新規事業として、大阪大学、島津製作所、シャープなどと次世代 IT 機器を今後 10 年かけて共同研究する「フォトンクス先端融合研究拠点」が採択され、長期の共同研究がスタートするなど CREST 研究の成果の波及範囲は広がりつつある (河田チーム)

6-2. 科学技術理解増進活動（著作、新聞報道除く）

6-2-1. 猪俣チーム

「CREST 研究と夢」東北大学3回生対象（平成 16 年 7 月）

6-2-2. 河田チーム

- (1) 「産学連携を成功させるためのキーコンセプトーナノテクノロジーを事例として」関西経済連合会対象（平成 15 年 3 月）
- (2) 「おもしろいナノテク、もうかるナノテク」読売新聞関西フォーラム（一般）対象（平成 15 年 7 月）
- (3) 「ナノテクって何ナノ？～集まれ！未来の創造者たち」香川県立丸亀高校対象（平成 16 年 2 月）
- (4) 「ナノテクノロジーがどのように役に立つか」三鷹市立第四小学校 6 年生対象（平成 16 年 10 月）
- (5) 「見えない光で計測する、近接場、近赤外ナノイメージング」計測展大阪（一般）対象（平成 16 年 12 月）
- (6) 「ナノテクノロジーの世界」荒川区立第三中学校/先端科学おもしろ授業（平成 17 年 2 月）
- (7) 「ナノフォトニクスとは；ナノと光子とバイオの時代」社会人再教育プログラム（平成 17 年 3 月）
- (8) 「光学測定技術の最先端」ベンチャーサポーターズ勉強会（平成 18 年 2 月）
- (9) 「体験入学、阪大河田研究室」高校生対象（平成 18 年 8 月）
- (10) 「ナノテクノロジーとバイオテクノロジーをつなぐ光技術のブレークスルーとその未来」JST 基礎研究報告会（一般）対象（平成 18 年 10 月）
- (11) 「ナノエレクトロニクス」（日独合同ワークショップ（一般）対象（平成 18 年 11 月）
- (12) 「どんなんかな？阪大工学部」ABC ラジオ放送（一般）対象（平成 18 年 12 月）
- (13) 「光で見て創るナノワールド」スカイパーフェクト TV（一般）対象（平成 19 年 6 月）
- (14) 「医療・バイオの進歩は機械産業が担う」石川県産業創出支援機構講演会（企業）対象（平成 19 年 7 月）
- (15) 「21 世紀はフォトニクス融合の時代」三菱化学横浜センター対象（平成 19 年 7 月）
- 16) 「科学を創るということ：ナノテクを例として」愛媛県立松山西中等教育学校対象（平成 19 年 10 月）

6-2-3. 三澤チーム

- (1) 「フェムト秒レーザーとナノテクノロジー」レーザーエキスポ 2002 特別セミナー（一般）対象（平成 14 年 9 月）
- (2) 「フェムト秒レーザーによる三次元加工（旭硝子中央研究所（企業）対象（平成 14 年 9 月）
- (3) 「レーザーを用いたマイクロ・ナノテクノロジー開発への挑戦」（宇部興産(企業) 対象（平成 14 年 11 月）
- (4) 「フェムト秒レーザーによる 3 次元マイクロ加」（第 9 回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術展（一般）対象（平成 15 年 2 月）
- (5) 「光が拓くナノテクノロジー」（キャノン（企業）対象（平成 15 年 7 月）
- (6) 「フェムト秒レーザー加工の新展開」ベンチャー（信濃川テクノポリス機構）対象（平成 15 年 9 月）
- (7) 「北大発ベンチャー企業『(株) レーザーシステム』の立ち上げと最近の研究成果の紹介」光産業技術振興協会平成 16 年度第 2 回フェムト秒超加工研究会（一般）（平成

16年9月)

- (8) 「表面プラズモンによる微量生体分子計測法の開発」 レーザーエキスポ 2006 特別セミナー (一般) 対象 (平成 18 年 4 月)

6-2-4. 石原チーム

- (1) 「ナノ物質で操る光、光で操るナノ物質」(石原)、「ナノサイエンスの面白さ：その光機能を探る」(伊藤) 高校生・一般対象 (平成 14 年 11 月 30 日)
- (2) 「閉じ込められた電子と光の不思議な語らいナノ物質が拓く新しい光機能」 高校生・一般対象 (平成 15 年 7 月 28 日)
- (3) 「光マニピュレーション」 企業研究者対象 (平成 17 年 12 月 2 日)
- (4) 「光を操るナノ物質、光で操るナノ物質」 高校生・一般対象 (平成 18 年 8 月 8 日)
- (5) 「光を操るナノ物質、光で操るナノ物質」 大阪府立泉北高等学校対象 (平成 18 年 10 月 21 日、19 年 10 月 20 日)
- (6) 「ナノ構造の線形・非線形光学応答、ナノ光マニピュレーション」 企業研究者対象 (平成 18 年 10 月 27 日)
- (7) 「ナノ構造の光学応答理論」 企業研究者対象 (平成 19 年 10 月 26 日)

6-2-5. 松本チーム

- (1) 「カーボンナノチューブを用いた未来のナノデバイス」 大阪市民対象 (平成 16 年 3 月 11 日)
- (2) 「カーボンナノチューブデバイス」 松下電器産業本社技術部門対象 (平成 16 年 7 月 5 日)
- (3) 「カーボンナノチューブデバイス研究の現状と将来展望」 松下電器産業半導体グループ対象 (平成 16 年 12 月 15 日)
- (4) 「カーボンナノチューブの基礎からデバイス応用まで」 名古屋大学対象 (平成 17 年 1 月 11 日～12 日)
- (5) 「カーボンナノチューブの基礎と応用」 シュルンベルジュ社対象 (平成 17 年 7 月 25 日)
- (6) 「カーボンナノチューブの量子伝導とナノデバイス応用」 大阪府立大学対象 (平成 17 年 10 月 18 日～19 日)
- (7) 「カーボンナノチューブを用いた量子効果デバイスと応用」 北海道大学対象 (平成 19 年 1 月 24 日)

6-2-6. 赤穂チーム

- (1) 「強相関酸化物での界面エンジニアリングとスピントネル接合」 鹿児島大学対象 (平成 17 年 1 月)
- (2) 「強相関エンジニアリング」 松下電器ナノテクノロジー研究所対象 (平成 17 年 5 月)