

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 ナノ共振器ープラズモン強結合を用いた高効率光反応システムの開拓とその学理解明

北海道大学・電子科学研究所・教授 みさわ ひろあき
三澤 弘明

研究課題番号：18H05205 研究者番号：30253230

キーワード：プラズモン、ナノ共振器、強結合、電子移動反応、光電子顕微鏡

【研究の背景・目的】

サステナブル社会実現に向け、極めて少ない物質により無尽蔵とも言える太陽光に含まれる可視光を効率良く利用できる革新的光化学反応システムの開拓が強く求められている。我々は、金ナノ微粒子/酸化チタン/金フィルムの積層ナノ電極構造を作製して分光特性や光電変換特性を検討したところ、構成要素である酸化チタン/金フィルムがナノサイズのファブリ・ペロー (FP) 共振器となり、酸化チタン上の金ナノ微粒子の局在プラズモンと強結合して幅広い波長域で大きな光電場増強が発現すること、また非強結合系電極に比べ水を電子源とした光電変換の量子収率が增大することを見出した。本研究は、さらに大きな光電場増強と、量子収率の増大を可能にする強結合系電極を開拓するとともに、本系におけるプラズモン誘起電子移動反応の学理を解明することを目的とする。

【研究の方法】

高い量子収率を示すプラズモン誘起電子移動反応を実現するためには、1) 強結合系積層ナノ電極の最適化、2) 局在プラズモン誘起電子移動反応機構の解明が鍵となる。強結合系積層ナノ電極は、図 1a に示す構造を有している。本電極の特徴は、酸化チタン/金フィルム上に金ナノ構造を形成すると色が黄色から黒色に変化し、可視域の幅広い波長の光を強く吸収することにある (図 1b)。本研究では、研究分担者である北大電子研の笹木教授と共同で電磁場シミュレーションを用い、より大きな光電場増強を可能にするナノ FP 共振器や、金ナノ構造の設計を導出し、それらに従って強結合系積層ナノ電極構造を作製するとともに、それらの分光特性、および光電変換特性を計測することにより、最適構造設計にフィードバックすることを図る。

これらの研究と並行し、プラズモン誘起電子移動反応の機構解明に向けた研究を推進する。本予算で、現有する時間分解光電子顕微鏡にパルス幅~20 fs、中心波長 800 nm (基本波、 ω) のパルスレーザーとその3倍波 (3ω , 267 nm) 発生システム、およびその時間遅延光学系を導入し、励起電子・正孔のエネルギー分布を計測す

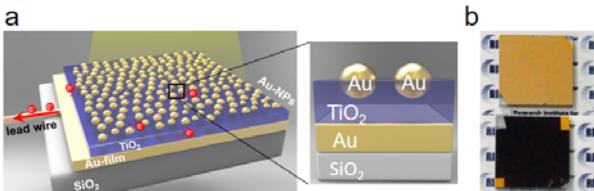


図 1 a 強結合系積層ナノ電極の略図、b 酸化チタン/金フィルム電極 (上段) と強結合系積層ナノ電極の写真 (下段)

るための時間分解 2 光子光電子顕微鏡を構築する (図 2a)。本装置の ω を用いて金ナノ微粒子の局在プラズモン共鳴を励起してホットエレクトロンを生成させるとともに、これらを 3ω によりさらに励起して光電子を発生させる。生成した光電子のエネルギー分布を測定することにより光電子移動反応に関与するホットエレクトロン、および正孔のエネルギー分布について検証する (図 2b)。また、近接場スペクトル、位相緩和時間、および電子移動ダイナミクスについても明らかにする。さらに、研究分担者である北大理学研究院の村越教授と共同で本電極における水の酸化反応の中間体を表面増強ラマン散乱分光により捕捉し、酸素発生メカニズムの解明を行う。

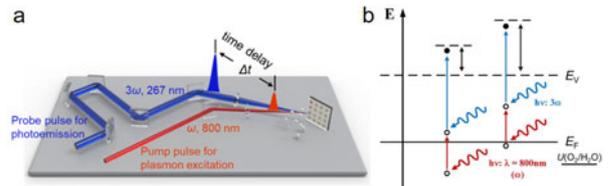


図 2 a 時間分解 2 光子光電子顕微鏡の光学系、b ω により生じた励起電子を 3ω により光電子放出する概念図

【期待される成果と意義】

強結合系積層ナノ電極を用いた光電子移動反応は、可視域全ての光を利用できるという優れた特徴のみならず、可視全領域における光電場増強と、反応の量子収率の増大を実現することが可能であり、プラズモンを利用した太陽光エネルギー変換や、光触媒研究にも大きなインパクトを与えるものと期待される。また、用いる金ナノ構造のサイズやナノ FP 共振器の共振器長を選択することにより光電場増強を発現させる波長を自在に変化させることが可能になり、プラズモン化学のみならず、プラズモニクス、ナノフォトニクス、分光研究などの広い研究分野のパラダイムシフトを誘導するものと考えられる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- H. Yu, Q. Sun, H. Misawa et al., "Exploring coupled plasmonic nanostructures in the near field by photoemission electron microscopy", *ACS Nano* **10**, 110373-10381 (2016).
- K. Ueno, T. Oshikiri, Q. Sun, X. Shi, H. Misawa, "Solid-state plasmonic solar cells", *Chem. Rev.* **118**, 2955-2993 (2018).

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度 - 34 年度
477,700 千円

【ホームページ等】

<http://misawa.es.hokudai.ac.jp>



研究課題名 IceCube-Gen2 実験で拓く高エネルギーニュートリノ天文学の新展開

千葉大学・大学院理学研究院・教授

よしだ しげる
吉田 滋

研究課題番号：18H05206 研究者番号：00272518

キーワード：宇宙線、ニュートリノ、南極、素粒子物理学、天文学

【研究の背景・目的】

南極点深氷河に展開する IceCube ニュートリノ観測所は、2013 年の高エネルギー宇宙ニュートリノの発見を皮切りに、高エネルギーニュートリノ天文学という新しい研究分野を開拓してきました。ニュートリノは、エネルギーを失わずに遠方宇宙から飛来することができる素粒子であるため、光などの通常の観測手段では探査できない超高エネルギー宇宙の姿を調べることができます。2016 年には宇宙ニュートリノ事象を即時に同定して、その観測情報を世界中の天文学観測施設にアラート情報として送信するシステムの運用も始まりました。IceCube が同定したニュートリノ信号を直ちに望遠鏡などがフォローアップ観測することにより、昨年ついにニュートリノ放射天体が同定され、宇宙線放射起源の包括的な理解にむけた大きな一歩を踏み出すことになりました。これはニュートリノが拓く「マルチメッセンジャー天文学」観測の有効性を立証するもので、この手法に供することのできる高エネルギー宇宙ニュートリノ事象の数と到来方向決定精度の向上が重要な課題でありました。

【研究の方法】

宇宙ニュートリノ検出数を飛躍的に増大させるために IceCube 観測所は次世代実験 IceCube-Gen2 計画を策定しました。第一段階(phase 1)として新型の高性能光検出器を IceCube 実験検出器アレイの中心部に密に埋設するアップグレードを実施します。

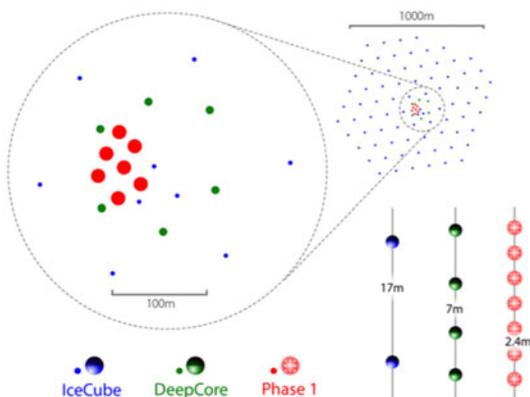


図1 IceCube 実験アップグレードの概念図。上からみた検出器の配置を示している。

日本グループはこのアップグレードにむけて新型検出器 D-Egg を開発しました。この検出器は実面積が従来型の7割と小型でありながら2倍の実効光検出面積を有します。この検出器を200台建造し



図2. 開発した D-Egg 検出器

氷河に埋設します。この増強により宇宙ニュートリノの到来方向をより正確に決定できます。また検出器アレイの外側に設置されている電波検出器網を増強し、より高いエネルギーのニュートリノの観測効率を増強します。マルチメッセンジャー観測に提供するニュートリノ数を倍増させ、TeV (10^{12} eV) から EeV (10^{18} eV)に至る広範なエネルギー帯でのニュートリノによる宇宙探査を実現します。

【期待される成果と意義】

ニュートリノ観測により多数のニュートリノ放射天体が同定され、フォローアップ観測によって超高エネルギー宇宙線起源を理解することができます。またニュートリノでのみ光っているような新たな種類の天体の発見も期待されます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ S.Yoshida 他 IceCube Collaboration, “Constraints on Ultrahigh-Energy Cosmic-Ray Sources from a Search for Neutrinos above 10 PeV with IceCube” Physical Review Letters **117** 141101 1-9 (2016)
- ・ S.Yoshida 他 IceCube Collaboration “The IceCube realtime alert system”, Astroparticle Physics **92** 30-41 (2017)

【研究期間と研究経費】

平成30年度－34年度
411,400千円

【ホームページ等】

<http://www.icehap.chiba-u.jp>

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 時間領域多重 2次元大規模連続量クラスター状態生成とその応用に関する研究

東京大学・大学院工学系研究科・教授 ふるさわ あきら
古澤 明

研究課題番号：18H05207 研究者番号：90332569

キーワード：クラスター状態、量子もつれ、量子コンピューター

【研究の背景・目的】

本研究代表者らが世界で初めて成功させ今や世界標準となった連続量量子テレポーテーションを大規模量子計算に応用するとき、その量子もつれリソースとして 2次元大規模連続量クラスター状態が必要となる。本研究ではこの 2次元大規模連続量クラスター状態を、本研究代表者らが世界で初めて実現に成功した時間領域多重の手法を 2次元に拡張することで生成する。さらに、本研究代表者らが発明したアダプティブヘテロダイン測定とこのクラスター状態を組み合わせたユニバーサル量子計算法を開発する。これらが実現すれば、大規模量子コンピューター実現に向けた大きな一歩となる。

【研究の方法】

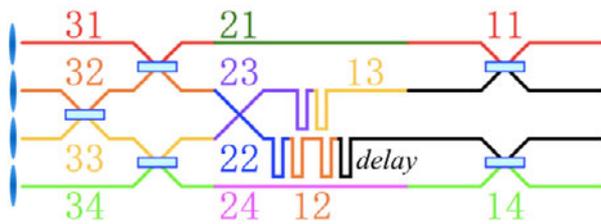


図 1 4つのスクイーズド光（楕円で表示）とビームスプリッターおよび光学遅延により時間無制限 2次元大規模連続量クラスター状態を生成。

原理的には、どんなに大規模な 2次元連続量クラスター状態でも、図 1 のように、4つのスクイーズド光と 5つのビームスプリッターおよび 2つの光学遅延により生成できる (R. Ukai, Springer Theses (2014))。このように時間領域多重には驚異的な拡張性がある。これを検証するのが本研究の最も大きな目的の 1つである。一般に、縦 N ノード、横ノード無制限の 2次元大規模連続量クラスター状態を生成するためには図 1 の 3 列目の時間遅延を光パルスの時間幅の $(N-1)$ 倍にする必要がある。光パルスの時間幅はスクイーズド光の帯域幅の逆数程度であり、レーザーの線幅の逆数程度がコヒーレンス時間となるので、たとえばスクイーズド光の帯域を 100MHz、つまり光パルスの時間幅 10ns、レーザーの線幅を 1KHz、つまりコヒーレンス時間 1ms とすると、 $1ms/10ns=10^5$ 程度まで縦ノード数を増やすことができる。つまり、スクイーズド光の帯域が 100MHz

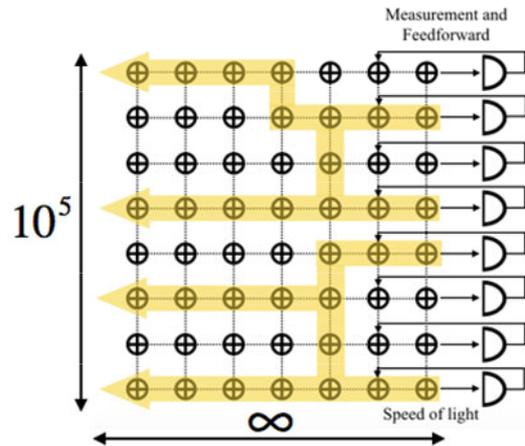


図 2 縦 10^5 ノード×横ノード無制限の 2次元大規模連続量クラスター状態を用いた 10^5 量子ビット並列、時間無制限の量子計算。

でレーザーの線幅が 1KHz であれば、図 1 のセットアップを用いて、原理的には図 2 に示すように、縦 10^5 ノード×横ノード無制限の 2次元大規模連続量クラスター状態を生成することができる。これを用いれば、 10^5 量子ビット並列、時間無制限で量子計算をし続けられることになる。

【期待される成果と意義】

この方式は日本で生まれた日本独自の大規模量子コンピューター実現法である。欧米追従ではない、この日本方式の量子コンピューターを実現に近づけることは極めて意義のあることだと思われる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- A. Furusawa et al., Science **282**, 706 (1998)
- N. Lee et al., Science **332**, 330 (2011)
- H. Yonezawa et al., Science **337**, 1514 (2012)
- S. Yokoyama et al., Nature Photonics **7**, 982 (2013)
- S. Takeda et al., Nature **500**, 315 (2013)

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度－34 年度
489,200 千円

【ホームページ等】

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

研究課題名 光と物質の一体的量子動力学が生み出す新しい
光誘起協同現象物質開拓への挑戦



東京工業大学・理学院・教授

こしはら しんや
腰原 伸也

研究課題番号：18H05208 研究者番号：10192056

キーワード：光物性、光誘起相転移、超高速動的構造

【研究の背景・目的】

安定な物質構造やその光励起状態からのエネルギー緩和過程に基づいて、半導体、誘電体、磁性体といった様々な材料の相転移を光で制御する手法（古典型光誘起相転移）の開発が進められてきました。しかしながらこの従来型の指針では、膨大な情報処理や高効率エネルギー利用に不可欠な、超高速光相スイッチ材料や光エネルギー変換材料開発は、緩和過程を伴うが故の原理的困難に直面しています。

そこで本研究では、固体物質の物性（誘電、伝導、磁性等）の起源である、電荷・構造（電子軌道）・スピンという3つの量子自由度が絡み合って生み出される秩序（相転移）を、物質内協同相互作用が生む素励起の時間振動（量子振動）と光子が強く結合する過程（量子光誘起相転移）を利用し、超高速に制御する、という新しい発想に挑戦します。

具体的には、光励起によって極短時間に発現する、光励起特有の新秩序状態（隠れた状態：Hidden State）の特性を、量子振動一周期をも凌駕する時間分解能を持った分光観測手法、構造観測手法を用いて明らかにします。この為にスピン偏極フェムト秒電子線回折装置開発を行います。得られた知見を基盤に、従来型発想に基づく古典的光誘起相転移では実現不可能な、超高速可逆光相変換物質の開拓、さらには3自由度の秩序が複合的に変化する新奇物質の開拓に挑戦します。

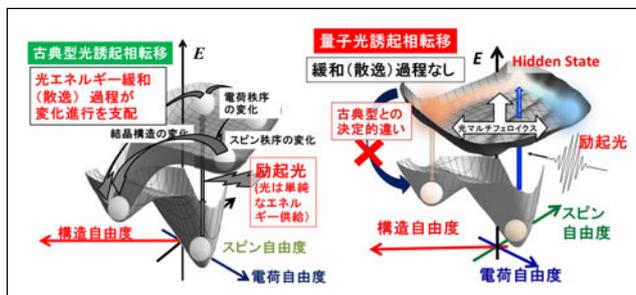


図1 エネルギー緩和のある従来型の（古典型）光誘起相転移（左側）と、緩和をほとんど伴わない、量子ダイナミクスで進行する量子光誘起相転移（右側）の概念図

【研究の方法】

量子光誘起相転移過程を制御し、それに伴う構造、磁気特性の変化を明らかにするために、30フェムト秒のパルス幅を持つスピン偏極超短パルス電子線回折装置を開発します。この装置で得られる知見と、超短パルス分光研究の知見を組み合わせることで、

量子光誘起相転移の特性を明らかにし、Hidden Stateの発現過程、さらには3自由度の複合的変調（光マルチフェロイック）が可能な物質の創成に、有機金属化学、無機材料開発の専門家と協力して挑戦します。

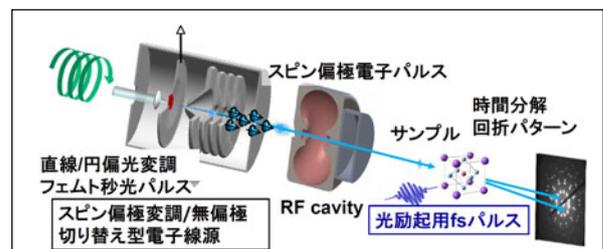


図2 開発する超高速構造変化観測装置（スピン偏極フェムト秒電子線回折装置）の概念図

【期待される成果と意義】

まず学術面では、光がつくる多電子状態のコヒーレンスを活かす形での協同相互作用系の制御、そして超高速光励起特有のHidden Stateの同定と誕生過程解明という、多体现象科学と光科学を包含する根本的な問題に対する統一的な理解が、具体的物質例に基づき得られると期待されます。この基礎概念の確立によって、伝導性・誘電性・磁性の特性が光量子操作によって超高速で切り替えが可能な、夢の光機能物質（光マルチフェロイック）の登場が期待されます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Direct Observation of Collective Modes Coupled to Molecular Orbital Driven Charge Transfer”, T.Ishikawa, M.Hada, *R.J.D. Miller, K.Onda, S.Koshihara, et al. Science 350, pp. 1501 (2015)
- “Coherent dynamics of photoinduced phase formation in a strongly correlated organic crystal”, T.Ishikawa, S.Koshihara, *K.Onda et al. Phys.Rev.B 89, 161102(R) (2014)

【研究期間と研究経費】

平成30年度～34年度
484,700千円

【ホームページ等】

<http://www.chemistry.titech.ac.jp/~koshihara/skoshi@cms.titech.ac.jp>

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 記憶力を有するラセン高分子の創成と究極機能の開拓

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

やしま えいじ
八島 栄次

研究課題番号：18H05209 研究者番号：50191101

キーワード：らせん高分子、らせん構造、キラリティ、不斉触媒、キラル分離

【研究の背景・目的】

生体内では多くの高分子や超分子集合体が一方向巻きのラセン構造を形成し、驚くべき高度な生命機能を発現している。化学者は長年にわたり、その精緻なラセン構造と機能に学び、ラセン構造の人工的な構築や機能の創出に挑んできた。本研究では、これまでのアプローチである生体ラセン構造や機能の模倣とは一線を画し、独自に開発したユニークな「記憶力を有するラセン高分子」が有する、(1) 破格の不斉増幅能、(2) ラセン誘起と記憶、(3) バネのような伸縮性、(4) しなやかさと適応力のあるラセン空孔、(5) 望みの官能基を側鎖に容易かつ記憶力を保持したまま導入可能であるという特長を最大限に活用し、生体系では実現困難な究極機能の開拓を目指す。すなわち、「高分子へのラセン誘起と記憶」の機構の全貌を解明し、目的とする機能に応じた「記憶力を有するラセン高分子」を精密かつ合目的に合成する指針と技術を確認する。これを受け、[1] 従来法では検出困難な微弱なキラリティの直接検出、[2] 著しい不斉増幅能を有し、超高速ラセン誘起と記憶が可能なラセン高分子を合成し、真に実用的な溶出順序可変のキラルカラムや不斉選択性のスイッチが可能な不斉触媒の開発、[3] 望みの官能基を側鎖に導入可能という特長とバネ運動する蛍光性の共役ラセン高分子の実現による、キラリティや光学純度をその場で観察・定量可能な究極のキラルセンサーの開発、[4] ラセン内部の空孔を不斉場に用いた光学分割、不斉反応、物質送達をも目指す。

【研究の方法】

記憶力を有するラセン高分子の特長を最大限に活用した究極機能の開拓を実現するために、ラセン高分子の構造と物性・性質ならびにラセン記憶の安定性との相関を詳細に調べ、「高分子へのラセン誘起と記憶」の機構を詳細な構造解析と理論・計算科学等を駆使して、その全貌を解明し、ラセン構造の記憶を保持したまま、望みの官能基を側鎖に導入可能であるという特長を利用し、目的とする様々の機能に最適の「記憶力を有するラセン高分子」の合成と機能評価を実施する。

【期待される成果と意義】

物性、機能・応用に至る幅広い研究領域、多様な研究分野（化学、物理、材料、生物等）で、ラセンに関する研究が世界中で繰り返されている。一方、

本研究を立ちあげるにあたり、「半世紀におよぶ世界のラセン研究（合成、構造・物性、機能・応用）」の歴史、進展、研究動向を徹底的に調査した（*Chem. Rev.* **2016**, *116*, 13752）。その結果、申請者らが独自に開発した「記憶力を有するラセン高分子」は、微弱なキラリティでも一方巻きのラセンへと著しい不斉の増幅を伴って主鎖に伝わり、直ちに記憶されるという点で他に例を見ない、極めてユニークなラセン高分子であり、既存の合成ラセン高分子や生体高分子では実現困難な究極機能の開拓、加えて、不斉の起源とその増幅過程の理解に多大の貢献を果たすと期待される。

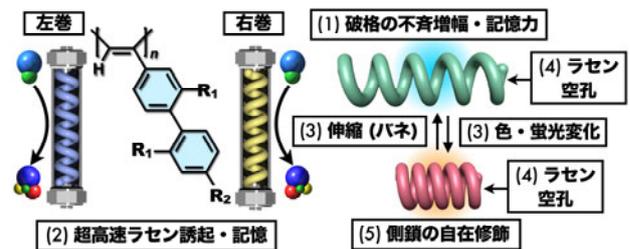


図1 記憶力を有するラセン高分子の特長

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- E. Yashima, N. Ousaka, D. Taura, K. Shimomura, T. Ikai, K. Maeda, Supramolecular Helical Systems: Helical Assemblies of Small Molecules, Foldamers, and Polymers with Chiral Amplification and Their Functions, *Chem. Rev.* **116**, 13752-13990 (2016).
- K. Shimomura, T. Ikai, S. Kanoh, E. Yashima, K. Maeda, Switchable Enantioselective Separation Based on Macromolecular Memory of a Helical Polyacetylene in the Solid State, *Nature Chem.* **6**, 429-434 (2014).

【研究期間と研究経費】

平成30年度～34年度
457,300千円

【ホームページ等】

<http://helix.mol.nagoya-u.ac.jp/j/index.html>
yashima@chembio.nagoya-u.ac.jp

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 原子核乾板

—基礎研究・分野横断研究への21世紀的展開—

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

なかむら みつひろ
中村 光廣

研究課題番号：18H05210 研究者番号：90183889

キーワード：原子核乾板、素粒子宇宙物理学実験、宇宙線ミュオンラジオグラフィ

【研究の背景・目的】

原子核乾板は、三次元で素粒子の飛跡を記録出来る特殊な写真フィルムである。素粒子の一種タウニュートリノ (ν_τ) の発見や ν_τ 出現の検出によるニュートリノ振動の最終検証などを通して素粒子物理学の進展に貢献してきたが、今日ピラミッドの透視などの大型構造物の非破壊検査や、世界最大口径の気球搭載型 γ 線望遠鏡の実現など、その活躍の場を基礎研究のみならず分野横断研究にも急速に広げつつある (図1)。

これを支えるのは、我々が1980年代から開発を続けてきた原子核乾板自動飛跡読取装置と、2010年から開始した大学での原子核乾板の開発・製造である。前者は名大発の独自技術、後者は20世紀の人類の技術資産とも言える銀塩写真技術を、市場の退行に伴い企業から大学に退避させ、研究目的に最適な原子核乳剤の開発を通して、さらに発展させるという側面を有する。今や我々は原子核乾板の開発、最適化、量産、実験・観測での使用、読取・解析を一貫して出来る世界で唯一の研究グループである。

本特別推進研究では、原子核乾板自動飛跡読取装置の現行装置比約40倍の高速化、自動フィルム製造装置開発による原子核乾板供給能力の増強により、年間10000 m²の乾板の供給・解析体制を確立し、並行して原子核乳剤の高機能化をはかり、次世代の基礎研究・分野横断研究の展開に資するものとする。

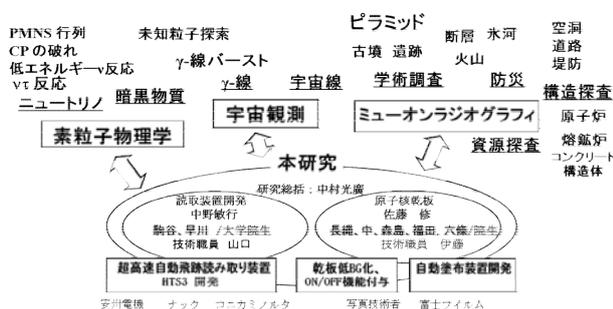


図1 本研究と関連学術領域

【研究の方法】

- ① 斜行光学系を用いて、連続読み出しを実現し、現行装置比40倍の読取速度を実現する。
- ② 原子核乾板の自動塗布機の開発を行い、現行の塗布能力の約30倍上の供給能力を実現する。
- ③ 原子核乳剤製造処方の方データベース化をすすめ、用途に最適な原子核乳剤の製造の体系化をは

かるとともに、使用環境制御によるシャッター機能の付加、含有放射性物質の通減・ゼラチンの高純度化などによる低BG化などの高機能化をはかる。

【期待される成果と意義】

素粒子研究領域においては、標準理論を越える現象の探索とその応用研究が模索されるべき段階にある。前者に関しては、エネルギーフロンティアに新物理の兆候は見えず、ニュートリノ振動現象の発見で標準理論を越えたニュートリノ研究領域をはじめ、インテンシティフロンティアの領域、ほか様々な領域に探索を拡大して行くべき段階にある。JPARCでのNINJA実験、CERNでの ν_τ 反応の精密研究計画DsTAU/SHiP実験などはまさにこのような位置にある。また標準理論に組み込めていない宇宙の暗黒物質検出に関しては、原子核乾板は従来の検出手法と相補的な方向性観測を実現出来る(NEWSdm実験@イタリア・グランサッソ)。

応用研究に関しては、ミュオンラジオグラフィは素粒子実験技術活用の典型例として今や一つの学術領域を形成しつつある。またFermi衛星の10倍の口径と一桁上の角度解像度でGeVエネルギーの宇宙 γ 線を観測するGRAINE計画は、 γ 線バーストなどの突発現象に対して世界最高の感度を有する。

これら分野横断領域においては、従来の常識にとらわれない思考と試行の積み重ねが重要であり、原子核乾板は、世界最高精度の三次元飛跡検出能力を有し、開発製造が全て研究者の手の内にあり、かつ低コスト、コンパクトであり、それらの帰結として試行が手軽にできること、また大面積展開が容易であることでもって、この局面に大きく貢献してゆける能力を有していると考えられる。

本特別推進研究で実現する乾板、その供給・解析能力は、これらの諸展開を積極的に推進し新しい学術領域を開拓する原動力となるものである。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・特集「拓け行く原子核乾板応用の地平」日本写真学会誌 第71巻第5、6号。

【研究期間と研究経費】

平成30年度～34年度
455,400千円

【ホームページ等】

<http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/>

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 パルスを情報伝達担体とする超低電力100GHz級超伝導量子デジタルシステムの探求

名古屋大学・大学院工学研究科・教授 ふじまき あきら
藤巻 朗

研究課題番号：18H05211 研究者番号：20183931

キーワード：単一磁束量子、半磁束量子、磁性ジョセフソン接合

【研究の背景・目的】

インターネットに代表されるデジタル技術の広範な普及によって、我々の社会生活は、大きな変貌を遂げつつある。利便性が大幅に向上した反面、サービスを支えるデータセンタの電力消費量は上昇する一方であり、エネルギー効率の高いデジタルシステムの構築が喫緊の課題となっている。

超伝導単一磁束量子 (SFQ) 回路は、情報伝達を担う信号が幅数ピコ秒のインパルス状である。従来の半導体集積回路において高速化と低消費電力化を阻む原因であった充放電現象から解放されるため、100 GHz級の周波数で動作するエネルギー効率の高い集積回路がSFQ回路には期待されている。

しかしながら、マトリクスメモリではSFQ回路であってもアドレス選択には、充放電現象を使わざるを得ず、この解決が実用化に向けての最後の課題であった。本研究では、磁性ジョセフソン接合を導入することで、記憶セルの2状態間の遷移に必要なエネルギーを大幅に低減化し、パルスで動作するメモリを構築する。半磁束量子 (HFQ) 回路と呼ばれるこの回路の基本要素は、量子計算機で使われる磁束量子ビットと同じ構造をしている。親和性の高さを活かし、将来は量子計算機と融合し、革新的なエネルギー効率を持つデジタルシステムを構築する。

【研究の方法】

低消費電力化の鍵を握るデバイスは、量子力学的位相差が初期状態で通常のジョセフソン接合 (0 接合) に比べ、 π だけシフトしている磁性ジョセフソン接合 (π 接合) である。0 接合と π 接合を1つの超伝導リングに組み込むと π 接合の初期位相の効果が顕著に表れる π シフト量子干渉計 (π SQUID) が構成される。

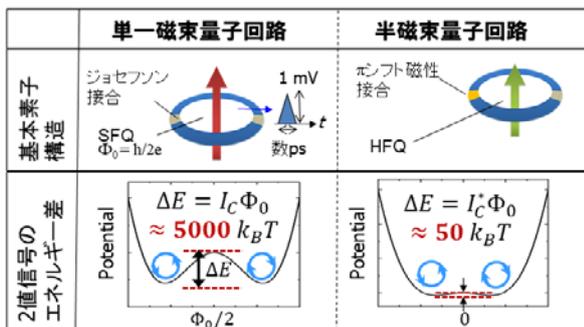


図1 各磁束量子回路の基本構造とポテンシャル

図1がSFQ回路とHFQ回路の構成要素と、情報の“1”と“0”を区別する二重ポテンシャル井戸の形状を示したものである。通常は井戸の底部が安定状態となる。2状態間の遷移には、外部からエネルギーを与える必要があるが、HFQ回路の基本素子となる π SQUIDでは、その大きさをSFQ回路の1/100程度とできる。また、外部からの直流磁束がない状況で双安定状態が実現されることから、低消費電力化も図れる。本研究では、SFQ/HFQ集積回路によるマイクロプロセッサとメモリの構築を目指す。

【期待される成果と意義】

SFQ集積回路では、高速化を図ることで100GHzに迫る周波数でマイクロプロセッサを実証する。加えて、HFQ回路によるマトリクスメモリの研究を進め、最終的には両者を一体化したデジタル回路を構築する。

π SQUIDを利用することで、SFQ回路を極限まで高速化可能となる。この実験を通し、不確定性関係が古典計算に与える影響について検証する。さらに将来は、量子計算機との親和性の高さを活かし、真に高性能な計算機システムの構築を目指す。

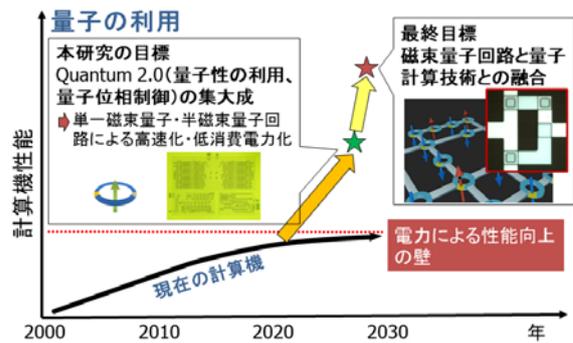


図2 本研究の発展性

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・T. Kamiya, M. Tanaka, A. Fujimaki, et al., IEICE Trans. Electron., E101-C(5), pp.385-390, 2018.

【研究期間と研究経費】

平成30年度-34年度
473,400千円

【ホームページ等】

<http://www.super.nuee.nagoya-u.ac.jp/tokusui/>



研究課題名 半導体イントラセンター・フォトニクスの開拓

大阪大学・大学院工学研究科・教授

ふじわら やすふみ
藤原 康文

研究課題番号：18H05212 研究者番号：10181421

キーワード：半導体、薄膜、光物性、光デバイス

【研究の背景・目的】

我々の身の回りは半導体から生じる様々な光で満ち溢れている。これらの光は半導体の伝導帯と価電子帯の間で生じるインターバンド遷移に起因するため、宿命的な課題を抱えている。

研究代表者は希土類蛍光体と半導体のハイブリッド材料である「希土類添加半導体」を新しい光機能材料として位置づけ、Eu 添加 GaN を用いた赤色 LED を発明している。この赤色発光は Eu³⁺イオンの 4f 殻内での電子配置の変化により生じるため、これまでの半導体からの発光では考えられなかった特徴を有している。

本研究提案では、Eu イオン周辺局所構造と、それが置かれるフォトン場の両方を極限まで制御すること（イントリンシック制御とエクストリンシック制御）により、究極的な Eu 発光機能を実現する。また、その理解を基盤として、Eu 添加 GaN 赤色 LED の更なる高輝度化を目指す（図 1）。本研究を契機として、希土類元素特有のイントラセンター遷移による発光機能に着目した、新しい「半導体イントラセンター・フォトニクス」の開拓が期待される。

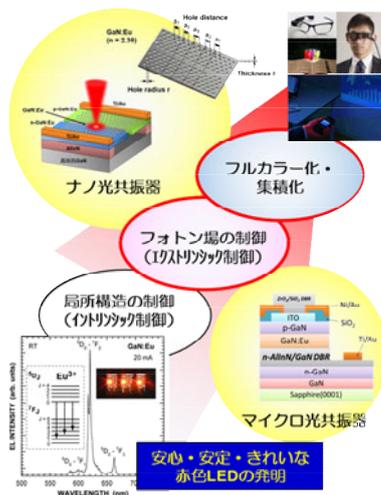


図 1 研究提案の内容と流れ

【研究の方法】

本研究では、GaN へ添加された Eu を主たる研究対象とし、Eu 特有の発光機能の究極を追求する。

(1) フォトン操作を可能とするナノ構造を設計し、作

製する。光励起下において究極的な Eu 発光機能の発現を目指すとともに、Eu イオンとフォトン場との相互作用など、内包する物理を解明する。

(2) 光励起下で得られた究極的な Eu 発光機能を電流注入下で実現する。フォトン操作を可能とする最適なナノ構造を LED 構造へ組み込む。構造作製プロセスを確立し、赤色 LED の超高輝度化を実証する。

(3) 青色を呈する Tm、緑色を呈する Er へ展開し、希土類添加窒化物半導体を基盤とした LED のフルカラー化と集積化を目指す。

【期待される成果と意義】

(1) <超スマートディスプレイを実現する> 「超スマート社会」では、超小型の情報端末により高精細な画像や映像をあらゆる場所で表示することが求められる。本研究の集大成として開発するフルカラー LED とその集積化はヘッドマウント LED ディスプレイやマイクロ LED プロジェクターなど、超小型・高精細 LED ディスプレイの実現可能性を示唆する。

(2) <希土類元素を極める> 原子レベルで制御して半導体へソフトに添加された希土類元素とフォトン場の組み合わせから生じる新たな発光機能を科学することにより、超高輝度な希土類蛍光体探索の指導原理を、世界に先駆けて構築することを可能とする。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- B. Mitchell, Y. Fujiwara *et al.*: “Perspective: Highly efficient GaN-based red LEDs using europium doping,” *Journal of Applied Physics* **123** (2018) pp. 160901/1-12.
- B. Mitchell, Y. Fujiwara *et al.*: “Utilization of native oxygen in Eu(RE)-doped GaN for enabling device compatibility in optoelectronic applications,” *Scientific Reports* **6** (2016) pp. 18808/1-8.

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度－34 年度
490,300 千円

【ホームページ等】

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/mse6/>