

平成23年度科学研究費補助金（特別推進研究）自己評価書 〔追跡評価〕

◆記入に当たっては、「平成23年度科学研究費補助金（特別推進研究）自己評価書等記入要領」を参照してください。

平成23年 5月23日現在

研究代表者 氏名	小宮山 進	所属研究機関・ 部局・職	東京大学・大学院総合文化研究科・ 教授
研究課題名	半導体量子構造の平衡・非平衡電子ダイナミクスの解明と量子制御		
課題番号	13002002		
研究組織 (研究期間終了時)	研究代表者 小宮山 進（東京大学・大学院総合文化研究科・教授） 研究分担者 生嶋 健司（東京大学・大学院総合文化研究科・助手）		

【補助金交付額】

年度	直接経費
平成13年度	56,000 千円
平成14年度	41,000 千円
平成15年度	27,400 千円
平成16年度	22,000 千円
平成17年度	19,000 千円
総計	165,400 千円

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか

特別推進研究によってなされた研究が、どのように発展しているか、次の(1)～(4)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究の概要

本研究は、A) 量子ドットによるテラヘルツ帯超高感度検出器を利用して半導体量子構造の理解を進展させること、および B) 量子ホール電子系や2重量子ドット系の核スピン系を含めた位相制御を探索する、という2つの方向性を持っていた。

A) の方向の発展として、CRESTプロジェクト「半導体量子構造の探索とテラヘルツ波計測技術開拓」(平成18-23年度)の援助を得て、量子物性研究の枠を超えてテラヘルツによる物質一般の研究を促進することを意図した。そのために、常温試料を対象とし、波長の回折限界を大幅に突破するナノメートルスケールの空間分解能をもつ、パッシブな超高感度テラヘルツ顕微鏡の開発を目指した。そのためにまず、2重量子井戸を用いたCSIP検出器(Charge Sensitive Infrared Phototransistor)を含めて、新たな機構に基づく複数の超高感度検出器を開発し、テラヘルツ領域(波長12 μm ~600 μm)にわたって、従来型高感度検出器の数倍以上の感度を持つフォトンカウンターのライナップを実現した。その上で、CSIP検出器(波長~15 μm)を応用して、上記の目的通り、世界で初めて空間分解能~60nm(波長の1/300)を有する、パッシブな超高感度走査型近接場顕微鏡を開発した。この顕微鏡では、試料をテラヘルツ光で照射することなく、試料自体が表面近傍に有するテラヘルツ電磁波(エバネセント波)を、表面近傍のAFMで制御された金属深針で散乱することによって検出する。ごく最近、この顕微鏡によって常温の金属表面とイオン性を有する誘電体の表面近傍(表面からの距離100nm以下)に、プランク輻射に比べて100倍以上強いテラヘルツエバネセント波が熱的に励起される事を見出した(論文未発表)。これは、表面ポラリトンとは異なり、伝導電子またはイオン格子の熱運動(個別励起)に起因する電荷・電流揺らぎが作る波であり、物質内部のミクロな情報を担っている。従来検出が不可能だったこのような物質表面固有の普遍的なテラヘルツエバネセント波が観測可能になったことで、今後応用が広がり、さまざまな物質表面の物理化学的性質の解明に広い分野で役立つことが期待される。

一般物質系への研究拡大に加えて、半導体量子構造の研究も持続した。テラヘルツフォトンカウンティング顕微鏡の改善によって量子ホール電子系の研究をさらに進めるとともに、GaAs/AlGaAs系結晶を用いて、テラヘルツフォトンの発生—伝播—検出を単一素子の上で完結する“オンチップテラヘルツ素子”(波長=130~150 μm)を新たに開発した。これは同一チップ上の量子ホール素子(発生)と量子ドット検出器(検出)、およびそれらを結合するコプレーナ型金属導波路(伝播)からなり、オンチップテラヘルツ分光計の可能性を示した。

B) の発展として、科研費基盤研究 A) 「量子ホール電子系による位相および核スピンの制御」(平成 19—22 年)を得て、量子ホール系のスピン分極した端状態によって生成する核スピン偏極を用いて研究し、核スピン偏極のダイナミクスとともに、電子スピンの端状態近傍における固有状態を明らかにした。具体的には、核スピン偏極の空間プロファイルをナノメートル分解能で測定し、さらにその分布プロファイルの時間発展・変化を調べることで、核スピン偏極の生成過程、および拡散・格子緩和による減衰過程をナノメートルスケールの空間分解能で明らかにした。さらに、量子ホール系端状態の電子スピン固有状態が、閉じ込めポテンシャル勾配に応じてスカーミオンと呼ばれる特殊なスピントクスター状態となっていることを初めて明らかにした。これは10年以上前理論的に予言されていた物理現象の初めて実験的検証であり、スピン自由度を含めた量子ホール端状態の固有状態が初めて明らかになった。さらに、核スピン偏極の拡散と格子緩和についてレート方程式によるシミュレーションを行い、核スピン偏極のダイナミクスを実験・理論両面から明確にした。

上記した核スピンに関連した研究とは別に、2重量子ドットを同一基板上の超伝導 Al のコプレーナ共振器と結合することで、マイクロ波フォトンと2重量子ドットを強結合した circuit-QED (Quantum Electrodynamics) の実験を試みるとともに、量子ホール効果の電流増大に伴う崩壊現象のダイナミクスを追求した。

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など（研究の発展過程でなされた研究成果の発表状況）

西暦	論文数	招待講演		学会発表		解・総説	特許
		国際会議	地域会議	国外	国内		
研究期間内	33	25	3	34	31	13	1
平成18年度	8	2	4	4	5	4	3
平成19年度	5	2	0	4	6	1	0
平成20年度	7	2	4	2	1	1	0
平成21年度	7	2	2	11	6	0	2
平成22年度	16	2	3	7	6	1	0

以下に、個別テーマごとに研究発展過程を示す論文・発表・解説記事の抜粋を示す。

[テラヘルツフォトンカウンティング計測]

- ・ K. Ikushima, S. Komiyama, Imaging by single THz photon counting, The 31th Int. Conf. Infrared and Millimeter Waves and The 14th Int. Conf. Terahertz Electronics, 2007, 3-7 Sep., Cardiff, UK
「招待講演：量子ドット検出器を用いたテラヘルツのフォトンカウンティングイメージングにつきレビュー報告」
- ・ K. Ikushima and S. Komiyama, Imaging by terahertz photon counting, Comptes Rendus, Physique 11, 444-456, 2010.
「招待論文：テラヘルツフォトンカウンティング計測のレビュー報告」

[テラヘルツ領域の超高感度検出器開発]

- ・ H. Hashiba and V. Antonov, L. Kulik, A. Tzalenchuk, P. Kleinschmid, and S. Giblin, S. Komiyama, Isolated quantum dot in application to terahertz photon counting, Phys. Rev. B73, 081310(1-4), 2006.
「半導体量子ドットと超伝導接合 SET を組み合わせたフォトンカウンター（波長~700 μ m）の開発」
- ・ T. Ueda, Z. An, K. Hirakawa and S. Komiyama, Charge sensitive infrared phototransistors: Characterization by an all-cryogenic spectrometer, J. Appl. Phys. 103, 093109(1-7), 2008.
「2重量子井戸による新たな検出器（CSIP、波長~15 μ m）の開発と特性評価」
- ・ S. Komiyama, Single-Photon Detectors in the Terahertz Range, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 17(1), 54-66, 2011. 「招待論文：開発した一連のテラヘルツ超感度検出器のReview」

[パッシブテラヘルツ近接場顕微鏡の開発]

- ・ Y. Kajihara, K. Kosaka and S. Komiyama, A sensitive near-field microscope for thermal radiation, Rev. Sci. Instrum. 81, 033706, 2010. 「CSIP 検出器を利用したパッシブ顕微鏡によって近接場信号を始めて観測」
- ・ S. Komiyama, Single-photon detection in THz and its application, QLEO (Conf. Lasers & Electro-Optics) 2010, 16-21 May, San Jose, USA. 「招待講演：CSIP 検出器とパッシブ近接場顕微鏡の紹介」
- ・ Y. Kajihara, K. Kosaka and S. Komiyama, Thermally excited near-field radiation and far-field interference, Opt. Express 19(8), 7695-7704, 2011. 「パッシブ近接場顕微鏡による熱励起エバネセント波の報告」

[量子ホール電子系における核スピンの物理]

- ・ T. Nakajima, Y. Kobayashi, S. Komiyama, M. Tsuboi, T. Machida, Scanning microscopy of nuclear spin polarization via quantum Hall edge channels, Phys. Rev. B81, 085322 (2010)
「核スピン偏極の局所的プロファイルの、ナノスケールでの挿引顕微計測」
- ・ T. Nakajima, Y. Kobayashi, S. Komiyama, Spin-textured edge states probed by local nuclear spin polarization, Phys. Rev. B82, 201302(R), 2010.
「核スピン偏極を端状態スピンに対するナノスケールの超敏感プローブとして用い、端状態の Skyrmion を発見」

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）**(3) 研究費の取得状況（研究代表者として取得したもののみ）**

・ H18 年～H23 年

(独) 科学技術振興機構 CREST

物質現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術

研究課題名 「半導体量子構造の探索とテラヘルツ波計測技術開拓」

研究期間全体配分額 289,900 千円

・ H18 年～H22 年

情報通信研究機構(NICT) 委託研究

研究課題名 「ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発」

課題ア テラヘルツ帯遠隔イメージング技術

ア-1 テラヘルツ帯イメージャに関する研究開発

研究期間全体配分額 34,600 千円

・ H19 年～H22 年

文部科学省科学研究費（基盤研究A）

研究課題名 「量子ホール電子系による位相および核スピンの制御」

研究期間全体配分額 46,150 千円

(4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見

- ・ 量子ホール電子系端状態のサイクロトロン発光に関わるランダウ準位間エネルギーの特異性
- ・ 量子ホール電子系端状態のスピン自由度を含めた理解：端状態における Skyrmion 生成の発見
- ・ GaAs 結晶中の局所的核スピン偏極の拡散と格子緩和のダイナミクス、および、拡散と格子緩和に対する 2次元電子系の影響
- ・ 量子ドットおよび量子井戸を用いた、新たなテラヘルツ単一光子検出器の開拓
- ・ 量子ドット検出器による半導体量子構造観察を超えて、室温の金属・誘電体を超波長分解能と超高感度で観察する事によって、常温物質の表面に熱励起されるテラヘルツエバネセント波を発見

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況

特別推進研究の研究成果が他の研究者に活用された状況について、次の(1)、(2)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 学界への貢献の状況（学術研究へのインパクト及び関連領域のその後の動向、関連領域への関わり等）

テラヘルツの究極の高感度計測への関心が各国で強まっている。天文関連分野においては、米国カリフォルニア工科大学の Jet Propulsion Lab. が中心となってテラヘルツフォトンカンテイング計測に関するプロジェクトを立ち上げる動きがある。この事に関連して、天文の観測技術に関する最大の国際会議でプレナリー講演 (S. Komiyama, Ultrahigh sensitive detectors in the terahertz region, "20th Int. Symposium on Space Terahertz Technology (ISSTT2009), 2009, 20-22, Apr. Charlottesville, Virginia, USA) を行った。天文分野とは別に、イギリスでは London 大学の Dr. V. Antonov のグループがフォトンカンテイング検出器の開発を進めるとともに計測も行っている。わが国では理研（現在東工大）の河野行雄氏がテラヘルツの究極の高感度計測技術の開拓を広く行っているが、これらの研究は本研究を発端としている。

特別推進研究の発展で最近我々の研究グループが開発に成功した、パッシブな散乱型テラヘルツ近接場顕微鏡 (Y. Kajihara, K. Kosaka & S. Komiyama, A sensitive near-field microscope for thermal radiation, Rev. Sci. Instrum. 81, 033706, 2010, 同じく Thermally excited near-field radiation and far-field interference, Opt. Express 19, 7695, 2011) は、超高感度性に加えて超波長分解能を実現したものである。さらについ最近の測定では、常温物質の表面に熱励起される普遍的なテラヘルツエバネセント波を検出した（論文未発表）。熱励起の表面テラヘルツエバネセント波は、物質測定にとって一般的重要性を有する。これらの計測実現以来まだ日が浅いため、国際的に関連研究が始まる等の学会への波及効果はまだ十分広がっていない。しかし、国際会議での講演では、招待講演 (S. Komiyama, Single-photon detection in THz and its application, QLEO (Conf. Lasers & Electro-Optics) 2010, 16-21 May, San Jose, USA) を含めて、大きな関心を呼んでおり、今後急速に関連分野の研究が発展すると考えられる。

量子ホール電子系と核スピンの相互作用の重要性が多くの測定で認知されて研究が広がっている。特別推進研究の終了近くに量子ドット系への重要な応用が示された (G. Yusa, K. Muraki, K. Takashina, K. Hashimoto and Y. Hirayama: Nature 434 (2005) 1001)。さらに、量子ドット中の電子スピンに対する核スピンの影響がさまざまな側面から明らかになっている。さらにドイツ Duisburg-Essen 大学の Dr. A. Lorke のグループは量子ホール端状態と核スピン系の相互のダイナミクスを明らかにしている。また、東大生産研の町田友樹氏（准教授）のグループは現在も活発に研究を展開している。GaAs/AlGaAs 系の核スピンの存在は、電子スピンに位相緩和をもたらすため、電子スピンによる量子ビットの阻害要因となる。一方、核スピン自体の量子状態を利用する試みもあるが、今のところまだブレークスルーは得られていない段階であり、今後のさらなる展開が必要である。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況（続き）

(2) 論文引用状況（上位10報程度を記述してください。）

【研究期間中に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	Performance of High-sensitivity Quantum Hall Far-infrared Photodetectors Y. Kawaguchi, K. Hirakawa, M. Saeki, K. Yamanaka and S. Komiyama Appl. Phys. Lett. 80, 136-138 (2002)	量子ホール素子を利用した、高感度テラヘルツ検出器（量子ホール検出器）の特性評価	29
2	Single-photon detector in the microwave range, O. Astafiev, S. Komiyama, T. Kutsuwa, V. Antonov, Y. Kawaguchi, and K. Hirakawa Appl. Phys. Lett. 80, 4250-4252 (2002)	2重量子ドットによる、磁場を利用しない条件下での世界初のマイクロ波単一フォトン検出の実現	56
3	Spin polarization of fractional quantum Hall edge channels studied by dynamic nuclear polarization, T. Machida, S. Ishizuka, T. Yamazaki, S. Komiyama, K. Muraki, and Y. Hirayama Phys. Rev. B65, 233304 (2002)	分数量子ホール端状態の非平衡分布による、動的核スピン偏極の発見：（分数端状態のスピン偏極を明らかにした）	35
4	Local control of nuclear polarization in quantum Hall devices, T. Machida, T. Yamazaki, and S. Komiyama, Appl. Phys. Lett. 80, 4178 (2002)	整数量子ホール系のスピン分離した端状態によって、局所的に制御して核スピン偏極を作る実験	35
5	Coherent control of nuclear-spin system in a quantum-Hall device, T. Machida, T. Yamazaki, K. Ikushima, and S. Komiyama, Appl. Phys. Lett. 82, 409-411 (2003)	整数量子ホール系のスピン分離した端状態によって局所的に生成した微小領域の核スピン偏極に対して、リソグラフィーで作ったマイクロコイルによってパルス NMR を起こした。（局所的領域の核スピンのユニタリー変換を電気的手段で実現した。）	64
6	A highly-sensitive scanning far-infrared microscope with quantum Hall detectors, K. Ikushima, H. Sakuma, S. Komiyama, Rev. Sci. Instrum. 74, 4209-4211 (2003)	量子ホール検出器を用いた高感度のテラヘルツ顕微鏡（波長~150 μ m）の開発	17
7	Imaging of cyclotron emission from edge channels in quantum Hall conductors, K. Ikushima, H. Sakuma, S. Komiyama, and K. Hirakawa, Phys. Rev. Lett. 93, 146804 (2004)	量子ホール検出器による高感度テラヘルツ顕微鏡で量子ホール系端状態を観察し、端状態のサイクロトロン発光を発見	21
8	Highly sensitive detector for submillimeter wavelength range, H. Hashiba, L. Kulik, V. Antonov, S. Komiyama, and C. Stanley, Appl. Phys. Lett. 85, 6036-6038 (2004)	量子ドットの電荷状態を近接した超伝導（アルミニウム）接合 SET で感知する、サブミリ波検出器の開発	18
9	Lateral electron transport through single self-assembled InAs quantum dots, M. Jung, K. Hirakawa, Y. Kawaguchi, S. Komiyama, S. Ishida and Y. Arakawa, Appl. Phys. Lett. 86, 033106 (2005)	InAs の自己生成量子ドットの面内伝導の研究。ドット内の束縛状態の同定と、検出器応用の探索	36
10	Shell structures in self-assembled InAs quantum dots probed by lateral electron tunneling structures, M. Jung, T. Machida, and K. Hirakawa, S. Komiyama, T. Nakaoka, S. Ishida, and Y. Arakawa, APPL. PHYS. LETT. 87, 203109 (2005)	面内トンネル伝導による、InAs 自己生成量子ドットのゼロ次元量子化状態（殻構造）の観察	26

【研究期間終了後に発表した論文】

No	論文名	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	Isolated quantum dot in application to terahertz photon counting, H. Hashiba and V. Antonov, L. Kulik, A. Tzalenchuk, P. Kleinschmid, and S. Giblin, S. Komiyama, Phys. Rev. B73, 081310 (2006)	半導体量子ドットと超伝導接合 SET を組み合わせた新たなフォトンカウンター (波長~700 μ m)の動作報告	20
2	Photon counting microscopy of terahertz radiation, K. Ikushima, Y. Yoshimura, T. Hasegawa, S. Komiyama, T. Ueda, K. Hirakawa, Appl. Phys. Lett. 88, 152110 (2006)	量子ドット検出器 (波長~150 μ m)を用いた、量子ホール電子系のテラヘルツフォトンカウンティング顕微計測	19
3	Metastable excited states of a closed quantum dot with high sensitivity to infrared photons, Zhenghua An, T. Ueda, S. Komiyama, & K. Hirakawa, Phys. Rev. B75, 085417 (2007)	2重量子井戸を用いた、新たな機構による超高感度検出器 (CSIP、波長~15 μ m)の動作を実証。	14
4	Reset Operation of Quantum Well Infrared Phototransistors, Zhenghua An, T. Ueda, K. Hirakawa & S. Komiyama, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES 54, 1776 (2007)	超高感度検出器 (CSIP、波長~15 μ m)の動作を、リセット機構を導入して実用レベルに改善	11
5	Charge sensitive infrared phototransistors: Characterization by an all-cryogenic spectrometer, T. Ueda, Zhenghua An, K. Hirakawa & S. Komiyama, J. Appl. Phys. 103, 093109 (2008)	超高感度検出器 (CSIP、波長~15 μ m)の感度の絶対的評価: 従来型検出器に比して数百倍の感度を実証。	16
6	Co-tunneling current affected by spin-polarized wire molecules in networked gold nano-particles, T. Sugawara, M. Minamoto, M. M. Matsushita, P. Nickels, and S. Komiyama, Phys. Rev. B 77, 235316 (2008)	金ナノ粒子の分子鎖ネットワークのコヒーレントな伝導 (クーロン閉塞条件下でのコトンネリング伝導)の発見	12
7	Temperature dependence of the performance of charge-sensitive infrared phototransistors, T. Ueda, S. Komiyama, Zhenghua An, N. Nagai & K. Hirakawa, J. Appl. Phys. 105, 64517 (2009)	超高感度検出器 (CSIP、波長~15 μ m)の温度依存性の研究。約 20K までの動作を確認して検出器としての有用性を実証。	10
8	A passive long-wavelength infrared microscope with a highly sensitive phototransistor, Y. Kajihara, S. Komiyama, P. Nickels, T. Ueda, Rev. Sci. Instrum. 80, 063702 (2009)	超高感度検出器 (CSIP、波長~15 μ m)を用いてパッシブテラヘルツ共焦点顕微鏡 (空間分解能~20 μ m)を構築。続く、近接場顕微鏡開発の土台とする。	9
9	Scanning microscopy of nuclear spin polarization via quantum Hall edge channels, T. Nakajima, Y. Kobayashi, S. Komiyama, M. Tsuboi, T. Machida, Phys. Rev. B81, 085322 (2010)	核スピン偏極の局所的プロファイルを、量子ホール電子系端状態のスピンを利用してナノスケールで測定し、さらにその時間変化から核スピン偏極の生成・拡散・緩和のダイナミクスを明らかにした。	2 (Editors choice)
10	Spin-textured edge states probed by local nuclear spin polarization, T. Nakajima, Y. Kobayashi, S. Komiyama, Phys. Rev. B Rapid, 82, 20130 (2010)	量子ホール電子系端状態のスピン状態を核スピン偏極を用いて調べる事により、端状態のスピンテクスチャー生成 (Skyrmion)を示した。	0
11	A sensitive near-field microscope for thermal radiation, Y. Kajihara, K. Kosaka and S. Komiyama, Rev. Sci. Instrum. 81, 033706 (2010)	超高感度検出器 (CSIP、波長~15 μ m)を用いたパッシブテラヘルツ共焦点顕微鏡に、AFM制御の金属プローブを導入する事により、テラヘルツ近接場顕微鏡 (分解能~120nm)の開発に成功。	1
12	Thermally excited near-field radiation and far-field interference, Y. Kajihara, K. Kosaka & S. Komiyama, Opt. Express 19, 7695 (2011)	パッシブテラヘルツ近接場顕微鏡 (分解能~60nm)による、熱励起近接場の検出を報告	0

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報

次の(1)、(2)の項目ごとに、該当する内容について具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究成果の社会への還元状況（社会への還元の程度、内容、実用化の有無は問いません。）

本研究での高感度テラヘルツ顕微鏡（波長：130~160 μm 、空間分解能：60 μm 、試料温度：4.2K）によるテラヘルツ光の超高感度計測が、2重量子井戸による超高感度テラヘルツ検出器（CSIP）の開発に結び付いた。さらに、ナノメートル分解能を有し、常温試料の観察が可能な汎用型テラヘルツ顕微鏡（波長~15 μm 、空間分解能：60nm、試料温度：300K）の開発をもたらした。開発された顕微鏡は、今まで観測が不可能だった物質固有のテラヘルツエバネセント波を観測する唯一の手段を与えるため、今後さまざまな分野に浸透して応用が広がると考えられる。

量子ホール効果は現在抵抗の国際標準として利用されており、本研究における量子ホール電子系の研究、特に電流増大に伴う崩壊現象のダイナミクス研究は、抵抗標準の精度向上と、信頼できる測定法の確立に役立っている。

電子スピンを利用して新たな素子を開拓するスピントロニクスの研究開発が精力的に行われているが、本研究はスピントロニクス固体素子を実現する際、母体結晶の核スピン系との相互作用が重要であることを示した。

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報（続き）

(2) 研究計画に関与した若手研究者の成長の状況（助手やポストク等の研究終了後の動向を記述してください。）

生嶋 健司（元助教）

平成20年2月より 東京農工大学・工学研究院・准教授に就任

（研究内容）

半導体量子輸送現象の基礎研究とテラヘルツ計測技術の開発

超音波・電波変換を利用した計測技術の開発

物理について教養課程・専門課程・大学院にて教育に従事

（主要文献）

- ① K. Ikushima and S. Komiyama, "Imaging by terahertz photon counting", C. R. Physique, 11, 444 - 456, 2010.
- ② K. Ikushima, D. Asaoka, S. Komiyama, T. Ueda and K. Hirakawa, "Manipulating terahertz photons on a quantum Hall effect device", Physica E, 42, 1034, 2010.
- ③ K. Ikushima, S. Komiyama T. Ueda and K. Hirakawa, "THz-photon generation due to electrons injected via quantum-Hall edge channels", Physica E, 40, 1026, 2008.
- ④ K. Ikushima, Y. Yoshimura, T. Hasegawa, S. Komiyama, T. Ueda and K. Hirakawa, "Photon-counting microscopy of terahertz radiation", Appl. Phys. Lett., 88, 152110 (1-3), 2006.
- ⑤ K. Ikushima, H. Sakuma, S. Komiyama and K. Hirakawa "Imaging of cyclotron emission from edge channels in quantum Hall conductors", Phys. Rev. Lett., 93, 146804 (1-4), 2004.

（研究費の取得状況）

制度名 JST さきがけ

課題名 テラヘルツ波の単一光子検出と近接場センシング

期間 H20 ~ H23

上記課題における役割 研究代表者

制度名 旭硝子財団 若手継続グラント

課題名 テラヘルツ放射の単一光子検出技術とマイクロサーモグラフィの開拓

期間 H21 ~ H23

上記課題における役割 研究代表者

制度名 科学研究費補助金 基盤研究（B） 一般

課題名 超音波による電気・磁気特性の画像化

期間 H22 ~ H24

上記課題における役割 研究代表者