

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610104

研究課題名(和文)カンチレバーを用いた高周波電子スピン共鳴測定法の高感度化とタンパク質観測の実現

研究課題名(英文) Developments of the high-frequency ESR system using the micro-cantilever and its application to the detection of protein

研究代表者

太田 仁(Ohta, Hitoshi)

神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・教授

研究者番号：70194173

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)： piezo抵抗型カンチレバーのESR測定周波数を世界最高記録の1.1 THzに拡張することに成功した。さらに、カンチレバーの変位を高感度に検出する方法としてFabry-Perot干渉計による新しい変位計測手法を開発した。その結果、ヘムタンパク質の活性中心であるヘミン分子の微量試料(～100 ng)に対しても高周波ESR測定を行い、0.5 THzまでの高周波ESR信号の検出に成功した。そして、多周波数測定の結果から詳細なゼロ磁場分裂定数の導出に成功した。

研究成果の概要(英文)： We have succeeded in extending the frequency region of piezo-resistive micro-cantilever ESR up to 1.1 THz, which is the world record for such micro-cantilever ESR measurement. Moreover, we have developed a new micro-cantilever ESR system with much higher sensitivity by using the Fabry-Perot interferometer, which enables the detection of the displacement of micro-cantilever with high accuracy. Using this new micro-cantilever ESR system, we have succeeded in observing high frequency ESR of hemin (about 100 ng), which is the active center of hem protein, up to 0.5 THz. Multi-frequency ESR measurements of hemin have enabled us to obtain the zero-field splitting parameters in details.

研究分野：数物系科学

キーワード：カンチレバー 電子スピン共鳴 金属タンパク質 ESR タンパク質計測 高周波 高感度

### 1. 研究開始当初の背景

タンパク質は巨大分子で、その活性中心の電子状態を電子スピン共鳴(ESR)で調べるには分子量約 10 万当り 1 電子という非常に希薄なスピン濃度での測定が必要となる。一般的な無機化合物では、単位胞の分子量約 100 当り 1 電子の ESR 測定であるので、単純な比較からタンパク質の測定には通常の 1000 倍以上の感度が必要となる。一方、ESR は電子状態を調べるのに有効な測定で、物理、化学、工学などの広い分野で利用されている。その中心となるのは、市販の X-band (9.5GHz) ESR 装置で cm オーダーの空洞共振器を用い、 $10^{10}$  spins/G の感度を持っているが、試料が微量でスピン濃度が低いタンパク質の測定には全く感度が不足している。また、X-band は水の誘電損失が大きく、水分子がかかわるタンパク質の場合、空洞共振器の Q 値が低下し、測定が困難となる。一方、ESR の共鳴条件は周波数と共鳴磁場が比例するため、使用する電磁波の高周波数化のためには強磁場化が必要となるが、高スペクトル分解能、信号強度の増加、誘電損失の減少という大きな利点を持つため申請者をはじめ世界中の強磁場施設で、装置開発が進んでいる。しかし、これまでの単純な透過法の感度は低く、このままではタンパク質測定への展望は開けない。そこで、申請者は、分担者の大道が市販のマイクロカンチレバーを用いて  $\mu\text{g}$  の微小試料でも強磁場下のトルク測定により磁化測定が可能(Rev. Sci. Inst. 73 (2002) 3022)という成果をとらえて、発想が従来の ESR 測定と全く異なるマイクロカンチレバーを用いた高周波 ESR 装置の開発に、分担者と共同で取り組んでいる。このマイクロカンチレバー高周波 ESR の感度をさらに向上させればタンパク質測定に応用できるのではないかというのが、本研究発想の背景である。

なお、研究開始時の国内外の研究動向は、次の通りであった。カンチレバー ESR の定常磁場における先駆的仕事は Rugar らによる [Rugar et al., Nature 360 (1992)563-566]。ただ Rugar らの目的は空間分解能を持つスピン検出で申請者の目的と異なる上、ファラデー法を用いるため強磁場中では観測できず、その測定は 3GHz に留まっていた。申請者らは、Rugar らとは異なるトルク法を用いて、これまで高周波数化を目指してきた。

### 2. 研究の目的

磁気トルクを用いたマイクロカンチレバー高周波電子スピン共鳴(ESR)測定法で  $\mu\text{g}$  オーダーの磁性体において 315 GHz までの測定を実現した実績を背景に、光てこ法や ESR 測定に最適化したカスタムカンチレバーの採用により、マイクロカンチレバー高周波 ESR の感度を現状の 1000 倍以上に向上させることを目指す。そして、それを用いたス

ピン濃度が非常に希薄なタンパク質の ESR 測定を世界で初めて達成し、ライフサイエンス研究応用への糸口を開く。

### 3. 研究の方法

試料にはたらく力は、カンチレバーをたわませるので、そのたわみをカンチレバー ESR 測定では検出する。これまで申請者が用いてきた市販の AFM 用カンチレバーは、たわみをカンチレバー根元のピエゾ素子の抵抗変化として検出している。一方、本研究で自作するカスタムカンチレバーの場合はピエゾ素子の作成が困難であり、市販のものでもピエゾ素子を持たないものもあるため、レーザー光を用い、カンチレバーでの反射光と入射光との干渉が、たわみで変化する干渉光強度から検出する(光てこ法)。また、光てこ法は、一般的にピエゾ素子より高感度であることが期待される。申請者らは、すでに卒業研究や大学院生の研究を通して光てこ法技術を確立している。

ESR による磁化の変化をカンチレバーで検出する方法として以下の 2 つが考えられる。

**I) トルク法:** 磁化 M と磁場 B の間の磁気トルク  

$$\tau = M \times B \quad (1)$$

がはたらくので、これをカンチレバーのたわみとして検出する。

**II) ファラデー法:** 磁場勾配の下で磁化にはたらく力

$$F_y = VM_z (\partial B_z / \partial y) \quad (2)$$

をカンチレバーで検出する。ここで V は試料の体積。

申請者らはこれまで I) の方法で ESR を測定してきた。この方法は試料がある程度磁気異方性を持つことが必要だが、高周波数を用いた強磁場中ほど応答が大きくなる特徴がある。一方、Rugar らは永久磁石で非常に強い磁場勾配を発生して II) の方法で ESR を測定している。この方法は試料が磁気異方性を持たなくても測定できる特徴を持つが、強磁場中では工夫が必要である。これまでカンチレバー ESR の高周波数化(強磁場化)を目指したので、トルク法を用いてきた。なお、マイクロカンチレバーのおおきなノイズ源は熱振動なので、液体 He 温度で測定をおこなった。この実験に必須だが、希少な液体ヘリウムは、神戸大学研究基盤センターに設置されているヘリウム液化機から供給を受け、発生したヘリウムガスは回収してセンターでリサイクルされた。

研究当初は以下の方針で開始した。

**光変調法を用いたカンチレバー強磁場 ESR 測定システムの開発**

実験に用いる装置は以下のとおりである。

15T 超伝導磁石とクライオスタット (現有)

テラヘルツ光源 (現有): 後進行波管 (BWO) 発振器 0.3-1.2 THz

リソグラフィ装置 (現有)

エッチング装置（現有）

光てこ法用波長可変レーザー、アイソレータと検出器（現有）

テスト試料として磁気異方性が大きく測定実績のある Co-Tutton 塩を用いる。これまでに実績を上げた 315GHz までの測定は、ガン発信器の発振強度を、数ボルトの電源電圧を変調することにより変調し、ロックイン検出することで高い感度を達成した。しかし、それより高い周波数は電源電圧が数キロボルトの BWO 電源を変調するため困難である。そこで、発振強度の変調がカンチレバーに温度変化を与えることにより生じる強度変化に同調した振動ノイズをおさえつつ、BWO でのロックイン検出を可能にするため、チョッパーを用いたカンチレバー強磁場 ESR 測定システムの開発を進める。また、磁場変調周波数を、試料を装着したカンチレバーの固有振動数の数 kHz に一致させることにより共振条件を実現し、現状より 1 桁以上の感度向上と高周波数化（強磁場化）を目指した。

#### 4. 研究成果

##### 1) 平成 26 年度

これまで市販の原子間力顕微鏡用のカンチレバーを用い、そのたわみをカンチレバー根元のピエゾ抵抗の変化として取り出し、磁性体の電子スピン共鳴(ESR)測定に適用して我々は実績を上げて来た。本研究では、さらに高感度測定を可能にするため ESR に伴うカンチレバーの微小変位を検出する方法として光てこ法のひとつである波長可変レーザーを用いた Fabry-Perot 干渉計方式を採用することとした。この方式では Fabry-Perot キャビティの共振器長の最適化が必要だが、ここでは波長可変レーザーを採用したため、可動部分がない、装置の小型化、低ドリフトという利点をえることができた。本年度は最終的な目標スペックである最高磁場 15.1T、最高周波数 500GHz にはまだ達しなかったが、測定装置の高感度化が進められたので、最終的な目標である生体タンパク質の高周波 ESR の信号検出を試みた。

具体的には、生体金属タンパク質のひとつであるミオグロビンを取り上げた。このタンパク質は筋肉中の酸素貯蔵に関する働きを担い、Fe イオンが活性中心として機能することが知られており、市販もされていることから入手が容易でテスト材料としては最適である。一方、ミオグロビンは非常に大きな分子量 17000 を持つため、スピン濃度が薄く、通常の透過法高周波 ESR 測定法では信号検出が非常に困難である。本研究では 100 ミクロン程度の大きさしかないカンチレバーへの試料搭載方法などの検討を重ね、初めて 100 ng 程度の微量凍結試料について 80-105 GHz の領域での ESR 信号検出に成功した。そのスピン感度としては  $10^5$  spins/G に達

し、この 80-105 GHz の領域では目標スペックの  $10^6$  spins/G を上回る結果を得た。

##### 2) 平成 27 年度

これまでの市販の原子間力顕微鏡用のカンチレバーを用いたトルク法によるマイクロカンチレバー電子スピン共鳴(ESR)に関しては、15T 超伝導磁石と 1.1THz までの後進行波管(BWO)を用いて、Co Tutton 塩のマイクロカンチレバー ESR 測定を 4.2K で行い、ESR 信号の観測に成功した。これは、我々のこれまでの最高周波数 0.37 THz を大幅に更新するもので、機械検出による ESR 測定の世界最高記録であり、Appl. Phys. Lett. に結果を発表した[6]。

一方、あらゆる生体金属タンパク質のマイクロカンチレバー ESR 測定を可能にするには、ESR に伴うカンチレバーの微小変位を検出する方法として光てこ法のひとつである波長可変レーザーを用いた Fabry-Perot 干渉計方式を用いたファラデー法による測定の高感度化が必要で、その開発を進めた。そのためには、試料空間の磁場勾配を増大することが考えられる。そこで、これまでのフェライト磁気チップをジスプロシウムに置き換えることで、磁場勾配を桁違いに増大することに成功し、検出感度を 2 桁向上することができた。最終的な目標は、生体金属タンパク質の測定であるが、まず装置改良のテストとして、金属タンパク質のモデル物質である金属フタロシアニン錯体のマイクロカンチレバー ESR 測定を行った。その結果、銅ポルフィリン錯体について観測に成功し、過去の ESR 結果を再現できていることを確認した。また、鉄ポルフィリン錯体についても測定を行い、特徴的な  $g=6$  の ESR 信号を機械検出により観測することに成功した。

##### 3) 平成 28 年度

28 年度を含め 3 年間の成果を取りまとめる。

(1) ピエゾ抵抗型カンチレバーと後進行波管 (BWO) を組み合わせた測定系を構築し、Co Tutton 塩の高周波 ESR 測定を 1.1 THz の周波数で成功した。この値はこれまで我々のグループにおける最高周波数 0.37 THz を 3 倍更新する成果であり、機械検出による ESR 測定周波数の世界最高記録を達成した[6]。

(2) カンチレバーの変位を高感度に検出する方法として Fabry-Perot 干渉計による新しい変位計測手法を開発した。これによりリアルタイムで数 pm という微小変位計測が可能になった。微小磁気片を用いて試料空間に磁場勾配を導入することで磁気異方性のない試料の機械検出 ESR 測定法を開発した。磁性体としてジスプロシウムを採用することにより高い磁場勾配を発生し、測定可能周波数領域を 0.5 THz まで拡張することに成功

した[2,4,5]。

(3) 本研究で開発した新技術を用いて金属タンパク質のモデル物質について高周波 ESR 測定を行った。銅ポルフィリン錯体については約  $1\ \mu\text{g}$  の微小試料について 0.39 THz までの ESR 測定に成功し、 $10^9\ \text{spins/G}$  という最小スピン検出感度の実現に成功した。また、ヘムタンパク質の活性中心であるヘミン分子の微量試料( $\sim 100\ \text{ng}$ )に対しても高周波 ESR 測定を行い、0.5 THz までの高周波 ESR 信号の検出に成功した。特に、ヘミン分子に特徴的な  $g=6$  の ESR 信号の検出に成功し、多周波数測定の結果から詳細なゼロ磁場分裂定数の導出に成功した[1, 3]。

#### 4) 今後の展望

今後の推進方策としては以下の2点が挙げられる。まず、実際の金属タンパク質試料に対する高周波 ESR 測定の応用であり、対象としてはヘムタンパク質であるミオグロビンやヘモグロビンなどが挙げられる。金属タンパク質では通常、単結晶試料の大きさが  $100\ \mu\text{m}$  程度しかなく、従来の測定手法では高周波 ESR 測定が極めて困難である。微小なカンチレバーの利点を最大限に活かして、金属タンパク質における高周波 ESR を今後可能にしていくことが重要である。モデル錯体に比べ金属タンパク質では分子量が数十倍大きいことから、ルーチン的に ESR 信号の検出を可能にするためには、今後も引き続き、さらなる高感度化に向けた技術開発が重要である。

もう一つの方向性として、空間分解測定が挙げられる。現状ではカンチレバーの上に測定試料を配置しているために試料全体からの信号を取得している。カンチレバー上に微小な磁気チップを配置し、これを測定対象に対し掃引することで空間分解能を取得することが可能になる。もし、空間分解 ESR 測定が可能になれば、微小な試料空間内でのスピン分布の可視化が可能になる。このような高分解能、空間分解 ESR 測定はこれまでに例を見ないものであり、実現できれば生物、化学などの広い分野に大きなインパクトがあるものと考えられる。技術的には、現状の信号検出系に加え、低温強磁場で動作するアクチュエータを組み合わせることで実現可能であり、技術的には十分に実現可能な応用であると考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(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 6 件)

1. Force-detected ESR measurements in a terahertz range up to 0.5 THz and application to hemin  
Tsubasa Okamoto, Hideyuki Takahashi, Eiji Ohmichi and Hitoshi Ohta

Applied Magnetic Resonance 48 435-444 (2017) 査読有

2. Wide-dynamic-range cantilever magnetometry using a fiber-optic interferometer and its application to high-frequency electron spin resonance spectroscopy  
Hideyuki Takahashi, Tsubasa Okamoto, Eiji Ohmichi, and Hitoshi Ohta  
Applied Physics Express 9 (2016) 126701/1-4 査読有
3. Development of Ultrasensitive Terahertz ESR Spectroscopy for Metalloprotein Using a Microcantilever  
T. Okamoto, H. Takahashi, E. Ohmichi, and H. Ohta  
Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves 37 (2016) 1173-1184 査読有
4. Multi-frequency force-detected electron spin resonance in the millimeter-wave region up to 150 GHz  
E. Ohmichi, Y. Tokuda, R. Tabuse, D. Tsubokura, T. Okamoto, and H. Ohta  
Review of Scientific Instruments 87 (2016) 073904/1-9 査読有
5. High-frequency electron paramagnetic resonance of metal-containing porphyrin compounds using a microcantilever  
Eiji Ohmichi, Tsubasa Okamoto, Masaaki Mitani, Hideyuki Takahashi, and Hitoshi Ohta  
Journal of Inorganic Biochemistry 162 (2016) 190-193 査読有
6. Mechanical detection of electron spin resonance beyond 1 THz  
Hideyuki Takahashi, Eiji Ohmichi, and Hitoshi Ohta  
Applied Physics Letters 107 (2015) 182405/1-3 査読有  
DOI: 10.1063/1.4935204

[学会発表] (計 31 件)

1. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, H. Takahashi, “Multi-Extreme ESR Measurements in Kobe”, The 4th Awaji International Workshop on Electron Spin Science & Technology (AWEST 2016), Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan (2016.6.19-21)
2. H. Ohta, “Multi-Extreme THz ESR: Its Developments and Applications to Magnetic Systems”, Seminar at Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznan, Poland (2016.6.24) (招待講演)

3. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, S. Hara, H. Takahashi, “Exotic Quantum Spin Systems Studied by Multi-Extreme THz EMR”, The 4th Forum EMR-PL at Morasko AMU campus, Poznan, Poland (2016. 6. 27-29) (基調講演)
4. H. Ohta, “Multi-Extreme THz ESR: Its Developments and Applications”, Seminar at Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland (2016. 6. 30-7. 3) (招待講演)
5. T. Okamoto, H. Takahashi, E. Ohmichi, H. Ohta, “Development of High-frequency Cantilever-detected ESR Technique and its Application to Metalloporphyrin Complex”, The 58th Annual Rocky Mountain Conference on Magnetic Resonance at Beaver Run Resort & Conference Center, Breckenridge, Colorado, USA (2016. 7. 17-21)
6. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, H. Takahashi, “Multi-extreme THz ESR: New developments and applications”, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016 at Mayak Hotel, Irkutsk, Russia (2016. 8. 28-9. 2) (基調講演)
7. H. Takahashi, T. Okamoto, E. Ohmichi and H. Ohta, “Improved setup for force-detected ESR measurement using fiber-optic interferometry”, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016 at Mayak Hotel, Irkutsk, Russia (2016. 8. 28-9. 2)
8. T. Okamoto, H. Takahashi, E. Ohmichi, H. Ohta “Force-detected ESR measurements in a terahertz range up to 0.4 THz”, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016 at Mayak Hotel, Irkutsk, Russia (2016. 8. 28-9. 2)
9. 岡本翔、高橋英幸、大道英二、太田仁, “微量ミオグロビン試料の力検出高周波 ESR 測定”, 日本物理学会 2016 年秋季大会・金沢大学角間キャンパス (2016. 9. 13-16)
10. 高橋英幸、岡本翔、大道英二、太田仁, “ファイバー干渉光学系を用いた広ダイナミックレンジ磁化測定と高周波 ESR 測定への応用”, 日本物理学会 2016 年秋季大会・金沢大学角間キャンパス (2016. 9. 13-16) (口頭)
11. 大道英二, “カンチレバーを用いたテラヘルツ領域における電子スピン共鳴測定”, テラヘルツ技術セミナー「テラヘルツ分子科学の進展」・ホテル北野ブラザ六甲荘 (2016. 10. 26)
12. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, S. Hara, H. Takahashi “Multi-Extreme THz ESR: Recent Developments and Future” Modern Development of Magnetic Resonance at Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia (2016. 10. 31-11. 3) (基調講演)
13. H. Takahashi, T. Okamoto, E. Ohmichi and H. Ohta, “Development and application of force-detected THz-ESR measurement system” MR-THz2016 at Kobe University, Japan (2016. 11. 8-9)
14. T. Okamoto, H. Takahashi, E. Ohmichi, H. Ohta, “Terahertz ESR Measurement of Metalloporphyrin Complexes” MR-THz2016 at Kobe University, Japan (2016. 11. 8-9)
15. T. Miki, E. Ohmichi, H. Ohta, “Fabrication of Fabry-Perot type cantilever for high-sensitivity force-detected ESR measurement”, MR-THz2016 at Kobe University, Japan (2016. 11. 8-9)
16. 高橋英幸、岡本翔、大道英二、太田仁 “ファイバー干渉光学系を用いた力検出型 THz-ESR 測定システムの開発”, 第 55 回電子スピンサイエンス学会年会 (SEST2016)・大阪市立大学 (2016. 11. 10-12)
17. 岡本翔、高橋英幸、大道英二、太田仁 “力検出 ESR 測定法の金属ポルフィリン錯体への応用”, 第 55 回電子スピンサイエンス学会年会 (SEST2016)・大阪市立大学 (2016. 11. 10-12)
18. 岡本翔、高橋英幸、大道英二、太田仁, “力検出型 THz-ESR 測定法のダイナミックレンジ拡張とヘムタンパク質モデル錯体への応用”, 第 26 回 (平成 28 年度) 日本赤外線学会研究発表会・国立天文台 三鷹キャンパス (2016. 11. 17-18)
19. 太田仁, “神戸大学における多重極限 THz ESR の現状と将来”, 分子研研究会・自然科学研究機構 分子科学研究所 (2016. 12. 7-8)
20. 岡本翔、高橋英幸、大道英二、大久保晋、太田仁, “ヘミンのテラヘルツ ESR 測定”, 分子研研究会・自然科学研究機構 分子科学研究所 (2016. 12. 7-8)
21. 大道英二, “マイクロカンチレバーを

- 用いたテラヘルツ電子スピン共鳴測定とその応用”，テラヘルツ波科学技術と産業開拓182委員会第30回研究会・大阪産業大学梅田サテライトキャンパス(2017.2.3)
22. E. Ohmichi, “Development of mechanically detected terahertz electron spin resonance technique”, Molecular Photo Research Center International Symposium “Recent Advances in Terahertz Molecular Science” at Kobe University (2017.3.10)
23. 岡本翔, 大道英二, 大久保晋, 太田仁, “ヘムタンパク質モデル錯体ヘミンの多周波 ESR 測定”, 日本物理学会 第72回年次大会(2017年)・大阪大学豊中キャンパス(2017.3.17-20)
24. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, H. Takahashi, “Multi-extreme THz ESR systems and Its Application to Quantum Spin Substance”, The 3rd Awaji International Workshop on Electron Spin Science & Technology (AWEST 2015) 淡路市淡路夢舞台(2015.6.14) (招待講演)
25. T. Okamoto, E. Ohmichi, H. Ohta, “Development of cantilever-detected ESR technique for small-volume heme protein analysis”, The 3rd Awaji International Workshop on Electron Spin Science & Technology (AWEST 2015) 淡路市淡路夢舞台(2015.6.14)
26. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, H. Takahashi, S. Ikeda, S. Hara, H. Sakurai, “Multi-Extreme THz ESR: Developments and Its Application to Multiferroic Substance YCrO<sub>3</sub>”, International Society of Magnetic Resonance (ISMAR2015), Shanghai, China (2015.8.17) (招待講演)
27. H. Ohta, S. Okubo, E. Ohmichi, T. Sakurai, “Multi-extreme THz ESR: Its Developments and Applications”, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT2015) 静岡県浜松市アクトシティ浜松(2015.8.31)
28. T. Okamoto, H. Takahashi, E. Ohmichi, H. Ohta, “Development for ultrasensitive terahertz ESR of metal protein using a microcantilever”, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT2015),

静岡県浜松市アクトシティ浜松(2015.8.31)

29. 岡本翔, 高橋英幸, 大道英二, 太田仁, “Development for ultrasensitive terahertz ESR of metal protein using a microcantilever”, FTT2015 静岡県浜松市アクトシティ浜松(2015.8.31)
30. 岡本翔, 高橋英幸, 大道英二, 太田仁, “カンチレバーを用いたヘムたんぱく質の高周波 ESR 測定装置の改良”, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 関西大学千里山キャンパス(2015.9.16)
31. 岡本翔, 高橋英幸, 大道英二, 太田仁, “磁化検出高周波 ESR 測定法のタンパク質への応用”, 第54回電子スピンサイエンス学会年会 (SEST2015), 新潟市朱鷺メッセ(2015.11.3)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
太田 仁 (OHTA, Hitoshi)  
神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・教授  
研究者番号: 70194173

(2) 研究分担者  
大道 英二 (OHMACHI, Eiji)  
神戸大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 00323634