

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23241034

研究課題名(和文) マイクロステップ光学素子を用いた1ショット広帯域実時間イメージング分光法の開発

研究課題名(英文) Broadband single-shot imaging spectroscopy using a micro-step echelon optics

研究代表者

武田 淳 (Takeda, Jun)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60202165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,700,000円

研究成果の概要(和文)：0.2 $\mu\text{m}$ 以下の加工精度で1 $\mu\text{m}$ オーダーのステップ構造を持つ反射型エシェロンを作製し、これをプローブ光の遅延時間発生光学素子として用い、不可逆光反応のダイナミクスを可視化できる高時間分解能、スポット集光、広帯域、時間・波長2次元同時検出すべてを満たす世界唯一の1ショット広帯域実時間イメージング分光法を開発した。

この分光技術を駆使し、光メディアとして広く使用されているカルコゲナイドガラスの相変化ダイナミクス、光劣化する生体系有機分子の超高速内部転換のシングルショット計測に成功した。

また、本分光技術のターゲットの1つである紫外線吸収分子の一重項酸素増感生成および消光能について検討を行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed broadband single-shot femtosecond spectroscopy in time-frequency space using a reflective echelon mirror. The echelon mirror is employed to make a spatially encoded time-delay for the white-light continuum probe pulse; it produces a temporal step of 66 fs and an overall time-delay of 33 ps. By utilizing this technique, we have observed not only an internal conversion dynamics in organic molecules but also an ultrafast crystalline-to-amorphous phase-change in chalcogenide alloys.

In case of chalcogenide alloys, the observed rise time to reach the amorphization was 130-200 fs, suggesting that the ultrafast amorphization can be attributed to the rearrangement of Ge atoms from an octahedral to a tetrahedral structure.

We also revealed the excited states and photo-sensitization effects in several UV absorbers, which are next targets to perform our single-shot spectroscopy.

研究分野：光物性

キーワード：シングルショット フェムト秒 不可逆光誘起現象 紫外吸収剤 可視化

### 1. 研究開始当初の背景

光合成を模した高効率光エネルギー変換システムの構築や化学反応の光制御技術の確立は、21世紀のナノバイオフォトンクス研究の最優先課題の1つである。この実現のためには、新規機能性物質の開拓(物質探索)のほか、その光機能を瞬時に可視化する新たな分光技術の開発が望まれる。とりわけ、光反応の最終的な効率、光励起直後の電子状態、そこからの初期反応過程に強く依存することから、分光技術としてはその初期過程(フェムト秒〜ピコ秒)をいかに実時間で可視化するかが最も重要なキーワードとなる。とくに、ナノバイオ関連の先端物質は合成や精製のプロセスを通して極微量しか得られない場合が多く、結晶サイズも微小である。なおかつポンプ・プローブ光の繰り返し照射によって必ず劣化損傷する。したがって、劣化する前の短時間に、極微量・微小結晶サンプルの光反応の初期過程を一気に可視化できるフェムト秒分光技術の開発が急務である。

### 2. 研究の目的

本研究では、温度制御したナノプロセッシング技術により、0.2 μm以下の加工精度で1 μmオーダーのステップ構造を持つ階段状光学素子(反射型エシエロン)を作製する。これをプローブ光の遅延時間発生光学素子として用いることにより、極微量・極微小サンプルの(不可逆)光反応のダイナミクスを可視化する、高時間分解能(<40 fs)、スポット集光(≦0.5 $\phi$ )、広帯域(可視〜紫外)、時間・波長2次元同時検出すべてを満たす世界唯一の1ショット広帯域実時間イメージング分光法を開発する。また、この分光手法を駆使し、高密度励起下における有機分子や微小結晶の非線形不可逆光応答(絶縁体-金属相転移や相変化)のダイナミクスの時間・周波数特性を広帯域で1ショット検出する。また、本分光技術のターゲットの1つである各種紫外線吸収剤の光劣化の原因を一重項及び三重項状態のエネルギー準位と寿命の観点から明らかにする。

### 3. 研究の方法

ダイヤモンドバイトと完全温度制御したナノプロセッシング技術の導入により、0.2 μm以下程度の加工精度で1 μmオーダーのステップ構造を持つ階段状光学素子(反射型エシエロン)を設計・加工する。これを既存の分光光学系に組み込み、可視〜紫外域で動作する1ショット広帯域実時間イメージング分光法を構築する。構築した分光手法を評価するため、光劣化する有機分子(ベータカロテンなど)の超高速過渡応答測定を行う。その後、カルコゲナイド半導体や一次元パイエルズ絶縁体におけるアモルファス化や絶縁体・金属相転移などの非線形光誘起現象にこの手法を適用し、不可逆光誘起ダイナミクスの解明を行う。これらを通してこの分光手法

の有用性が示された折には、高強度テラヘルツ波発生・検出手法と組み合わせ、1ショット分光をテラヘルツ領域に拡張する。あわせて、この分光手法のターゲットである紫外線吸収剤の光劣化の原因を電子スピン共鳴や発光寿命測定から明らかにする。

### 4. 研究成果

以下に主な研究成果を項目別に述べる。

#### (1) 反射型エシエロンを用いた1ショット広帯域イメージング分光

ミクロンオーダーの階段構造を持つ反射型エシエロンを設計加工した。作製した反射型エシエロンミラーをプローブ光の光学遅延素子として用いることにより、超短パルス光の時間・周波数応答を実時間 FROG (frequency-resolved optical gating) 計測し、そこから光パルスの位相やスペクトルのシングルショット解析を可能にした。また、ヘテロダイン検波を加えた光カーゲート法により、強誘電体 LiNbO<sub>3</sub>の非対称 E モードフォノンポラリトンの分散をシングルショットベースで広帯域計測することに成功し、この新規分光法の汎用性を実証した。

#### (2) 広帯域シングルショット分光による光誘起現象の実時間イメージング

(1)の成果を受け、可視〜紫外域で動作する広帯域シングルショット分光法を構築した。広帯域の波長範囲をプローブするため、プローブ光として自己位相変調により発生したフェムト秒白色光を用いた。その際、反射型エシエロンのステップの段幅及び高さを調整し、回折効果をできる限り抑え、試料上で~1 mm以下程度のスポット径になるように最適設計した。図1に生体系サンプルであるベータカロテンの過渡吸収変化のシングルショット計測結果を示す。図1(a)は、シングルショット検出した時間・スペクトル画像であり、この画像から~200 nmの波長範囲、~20 psの時間範囲をシングルショットで一度にマップできることがわかる。図1(b)の時間方向に切り出した過渡吸収変化の時間発展スペクトルから、<sup>2</sup>1A<sub>g</sub>状態から高次の状態への吸収が立ち上がり時間~0.3 ps、緩和時間~9 psで生じる事がわかった。

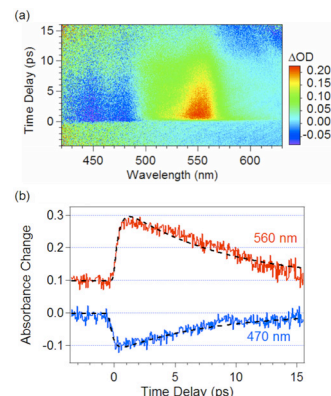


図 1 (a) 広帯域シングルショット分光により計測したベータカロテンの吸収変化の時間・スペクトル 2 次元画像。(b) (a) の画像から切り出した吸収変化の時間発展スペクトル。

(3) カルコゲナイド薄膜の超高速アモルファス化のシングルショット計測

多成分カルコゲナイド半導体は、結晶相とアモルファス相の間を光・熱により繰り返し相変化することが知られている。この性質を利用して、すでに DVD-RAM やブルーレイディスクなどの光メディアとして広く利用されている。アモルファス相から結晶相への相変化は、集光したナノ秒レーザーや連続光による過渡的温度勾配を介して誘導される。一方、結晶相からアモルファス相への相変化は超高速の非熱的過程で生じることが報告されているが、そのメカニズムは未だ解明されていない。

そこで、我々独自のシングルショット分光を駆使して、超高速アモルファス化のシングルショット計測を行った。図 2 (a) に結晶相の  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  (GST) 薄膜に 800 nm のポンプ光を照射したときの過渡吸収変化の時間・周波数 2 次元イメージ画像を示す。また、その下の図 2 (b) に、様々な励起密度に対する過渡吸収変化の時間発展を示す。その結果、アモルファス化に要する立ち上がり時間は 130 ~ 200 fs 程度の超高速で生じ、励起密度にはほとんど依存しないことがわかった。また、立ち上がり時間が Ge-Te 振動の振動周期の半分程度である点から、カルコゲナイド合金の超高速アモルファス化は Ge 原子の 8 面体構造から 4 面体構造への再配列によって生じることを見出した。

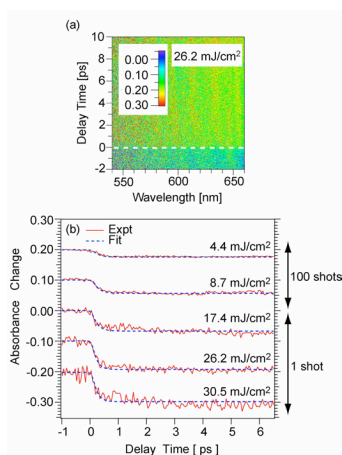


図 2 (a) シングルショットのポンプ光照射 (励起密度: 26.2 mJ/cm<sup>2</sup>) における結晶相 GST 薄膜の吸収変化の時間・波長 2 次元イメージ画像。(b) 異なる励起密度に対する吸収変化の時間発展スペクトル。点線は、指数関数的な立ち上がりを現象論的に仮定し、200 fs の半値幅を持つガウス型の装置関数を用いて畳み込み積分を行ったフィッティング結果を示す。

(4) 高強度テラヘルツ波による局在電子の制御

金ナノ構造体はバルクとは全く異なる特異な電気伝導特性を発現する。次世代のナノ光学デバイスの開発には、こうした電気伝導の制御性を向上させることが必要不可欠である。そこで我々は、高強度テラヘルツ (THz) 波を用いて金ナノ構造薄膜における局在電子を非接触・超高速で制御することを行った。図 3 (a-c) に作製した Au 薄膜の SEM 画像を示す。(d) には各試料における透過率の電場強度依存性を示す。THz 波の入射電場強度が高いほど透過率が低くなる非線形性は、パーコレーション閾値 (~15 nm) を上回る金薄膜特有の現象であることを見出した。また、FTIR を用いて広帯域の透過スペクトルを測定し、広帯域に渡る誘電分散を Drude-Smith model によって解析した。その結果、観測された非線形性は、ナノギャップにおける電子トンネリングに起因する非線形伝導によるものであることを突き止めた。

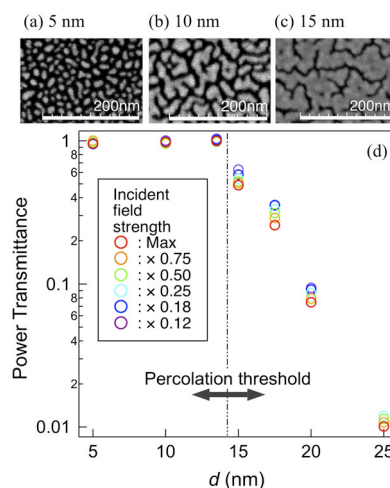


図 3 (a-c) 異なる膜厚の Au ナノ構造薄膜の SEM 画像。(d) 様々な膜厚の Au ナノ構造薄膜の THz 透過率の電場強度依存性

(5) 紫外線吸収分子の励起状態の解明

紫外線吸収分子として有効性が確認されているが、その励起状態が未解明な有機系紫外線吸収分子に対し、励起状態のエネルギー準位、電子状態および緩和過程を、UV 吸収、蛍光、りん光および最低励起三重項状態の電子スピン共鳴から明らかにした。具体的には、UV-B 吸収分子として認可されているエチルヘキシルトリアゾン (EHT) 及びエチルヘキシルブタミドトリアゾン (DBT) に対して実験を行い、これらの励起状態が分子の部分構造に局在していることを見出した。

また、代表的な活性酸素である一重項酸素が紫外線吸収分子から酸素分子へのエネルギー移動により生成 (光増感生成) する可能性について時間分解近赤外発光法により検討した。その結果、EHT および DBT の励起状態から一重項酸素が光増感生成することが判明した。紫外線吸収分子による一重項酸素

素光増感生成とは逆に、紫外線吸収分子の一重項酸素消光剤としての機能の有無を確認したところ、EHT および DBT の一重項酸素消光能は高くないことが明らかになった。

#### 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 33 件)

- 1) 武田 淳、南 康夫、片山郁文 (招待論文) 『反射型エシエロンを用いた時間・周波数 2 次元イメージング分光』、レーザー研究 **43**, pp. 208-212 (2015).
- 2) K. Yoshioka, Y. Minami, K. Shudo, T. D. Dao, T. Nagao, M. Kitajima, J. Takeda, and I. Katayama, "Terahertz-field-induced Nonlinear Electron Delocalization in Au Nanostructures", *Nano Lett.* **15**, pp. 1036-1040 (2015).
- 3) T. Tuchiya, A. Kikuchi, N. Oguchi-Fujiyama, K. Miyazawa, and M. Yagi, "Photoexcited Triplet States of UV-B Absorbers: Ethylhexyl Triazone and Diethylhexylbutamido", *Photochem. Photobiol. Sci.* **14**, pp. 807-814 (2015).
- 4) R. Kumasaka, A. Kikuchi, and M. Yagi, "Photoexcited States of UV Absorbers, Benzophenone Derivatives", *Photochem. Photobiol.* **90**, pp. 727-733 (2014).
- 5) A. Kikuchi, N. Oguchi-Fujiyama, K. Miyazawa, and M. Yagi, "Triplet-Triplet Energy Transfer from a UV-A Absorber Butylmethoxydibenzoylmethane to UV-B Absorbers", *Photochem. Photobiol.* **90**, pp. 511-516 (2014).
- 6) 片山郁文、南 康夫、武田 淳 (招待論文) 『テラヘルツ時間領域分光法による薄膜・表面の物性評価』、表面科学 **35**, pp. 680-685 (2014).
- 7) K. Sato, K. Tahara, Y. Minami, I. Katayama, M. Kitajima, H. Kawai, K. Yanagi, and J. Takeda, "Resonant Enhancement of First- and Second-Order Coherent Phonons in Metallic Single-Walled Carbon Nanotubes", *Phys. Rev. B* **90**, 235435: pp.1-5 (2014).
- 8) Y. Minami, J. Takeda, T. D. Dao, T. Nagao, M. Kitajima, and I. Katayama, "Nonlinear Electron Dynamics of Gold Ultrathin Films Induced by Intense Terahertz Waves", *Appl. Phys. Lett.* **105**, 241107: pp.1-4 (2014).
- 9) J. Takeda, W. Oba, Y. Minami, T. Saiki, and I. Katayama, "Ultrafast Crystalline-to-Amorphous Phase Transition in Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> Chalcogenide Alloy Thin Film Using Single-Shot Imaging Spectroscopy", *Appl. Phys. Lett.* **104**, 261903: pp. 1-4 (2014).
- 10) J. Takeda, I. Katayama, K. Shudo, and M. Kitajima, (Invited paper) "Coherent Phonon and Surface-Enhanced Raman Scattering Dynamics in Solids", *J. Lumin.* **152**, pp. 23-27 (2014).
- 11) Y. Minami, M. Yamaki, I. Katayama, and J. Takeda, "Broadband Pump-Probe Imaging Spectroscopy Applicable to Ultrafast Single-Shot Events", *Appl. Phys. Exp.* **7**, 022402: pp. 1-3 (2014).
- 12) T. Kawano, I. Katayama, J. Ohara, M. Ashida, and J. Takeda, "Intermolecular THz Vibrations Relevant to Optically and Thermally Induced Magnetic Phase Transitions in the Strongly Correlated Organic Radical TTTA", *J. Phys. Soc. Jpn.* **83**, 014713: pp. 1-6 (2014).
- 13) A. Kikuchi, K. Shibata, R. Kumasaka, and M. Yagi, "Excited States of Menthyl Anthranilate: UV-A Absorber", *Photochem. Photobiol. Sci.* **12**, pp. 246-253 (2013).
- 14) 小口 希、宮沢和之、菊地あづさ、八木幹雄、『新規 UV-B 吸収剤：ジオクチルメトキシベンジリデンマロネートの設計と UV-A 吸収剤光安定化効果』、日本化粧品技術者会誌 **47**, pp. 209-215 (2013).
- 15) A. Kikuchi, Y. Hata, R. Kumasaka, Y. Nanbu, and M. Yagi, "Photoexcited Singlet and Triplet States of a UV Absorber Ethylhexyl Methoxycrylene", *Photochem. Photobiol.* **89**, pp. 523-528 (2013).
- 16) A. Kikuchi, K. Shibata, R. Kumasaka, and M. Yagi, "Optical and Time-Resolved Electron Paramagnetic Resonance Studies of the Excited States of UV-B Absorber (4-Methoxybenzylidene)camphor", *J. Phys. Chem. A* **117**, pp. 1413-1419 (2013).
- 17) I. Katayama, K. Sato, S. Koga, J. Takeda, S. Hishita, H. Fukidome, M. Suemitsu, and M. Kitajima, "Coherent Nanoscale Optical-Phonon Wavepacket in Graphene Layers", *Phys. Rev. B* **88**, 245406: pp. 1-5 (2013).
- 18) K. Shudo, T. Satake, T. Shimatsu, M. Uchiyama, and J. Takeda, "Electronic Excited States of a Strongly Correlated Organic Radical 1,3,5-trithia-2,4,6-triazapentalenyl (TTTA) Adsorbed on a Si(001) Surface", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **15**, pp. 19213-19220 (2013).
- 19) Y. Minami, Y. Hayashi, J. Takeda, and I. Katayama, "Single-Shot Measurement of a Terahertz Electric-Field Waveform Using a Reflective Echelon Mirror", *Appl. Phys. Lett.* **103**, 051103: pp. 1-4 (2013).
- 20) I. Katayama, S. Koga, J. Takeda, S. Hishita, D. Fujita, and M. Kitajima, "Electron-Phonon Coupling and Defect Scatterings in Ar<sup>+</sup>-ion Implanted Graphite", *J. Cer. Soc. Jpn.*, **121**, pp. 291-294 (2013).
- 21) 武田 淳、片山郁文 (招待論文) 『光パルス及び強誘電体フォノンポラリトンのシングルショット時間・周波数イメージング』、レーザー研究 **40**, pp.598-602 (2012).

- 22) M. Ando, M. Yazaki, I. Katayama, H. Ichida, S. Wakaiki, Y. Kanematsu, and J. Takeda, "Photoluminescence Dynamics due to Biexcitons and Exciton-Exciton Scattering in Layered-Type Semiconductor  $\text{PbI}_2$ ", *Phys. Rev. B*, **86**, 155206: pp.1-6 (2012).
- 23) M. Ando, S. Uozumi, I. Katayama, M. Ichimiya, M. Ashida, and J. Takeda, "Photoluminescence Dynamics in CuCl Thin Films under High-Dense One- and Two-Photon Excitations", *Phys. Status Solidi (c)* **9**, pp. 2493-2496 (2012).
- 24) K. Yokota, J. Takeda, C. Dang, G. Han, D. N. McCarthy, T. Nagao, S. Hishita, M. Kitajima, and I. Katayama, "Surface Metallic States in Ultrathin  $\text{Bi}(001)$  Films Studied with Terahertz Time-Domain Spectroscopy", *Appl. Phys. Lett.* **100**, 251605: pp.1-5 (2012).
- 25) N. Oguti-Fujiyama, K. Miyazawa, A. Kikuchi, and M. Yagi, "Photophysical Properties of Dioctyl 4-Methoxybenzylidenemalonate: UV-B Absorber", *Photochem. Photobiol. Sci.* **11**, pp. 1528-1535 (2012).
- 26) I. Katayama, H. Aoki, J. Takeda, H. Shimosato, M. Ashida, R. Kinjo, I. Kawayama, M. Tonouchi, M. Nagai, and K. Tanaka, "Ferroelectric Soft Mode in a  $\text{SrTiO}_3$  Thin-Film Impulsively Driven to the Anharmonic Regime Using Intense Picosecond Terahertz Pulses", *Phys. Rev. Lett.*, **108**, 097401: pp.1-5 (2012).
- 27) H. Sakaibara, Y. Ikegaya, I. Katayama, and J. Takeda, "Single-Shot Time-Frequency Imaging Spectroscopy Using an Echelon Mirror", *Opt. Lett.* **37**, pp. 1118-1120 (2012).
- 28) A. Kikuchi and M. Yagi, "Direct Observation of the Intermolecular Triplet-Triplet Energy Transfer from UV-A Absorber 4-*tert*-Butyl-4'-methoxydibenzoyl-methane to UV-B Absorber Octyl Methoxycinnamate", *Chem. Phys. Lett.* **513**, pp. 63-66 (2011).
- 29) A. Kikuchi, H. Sato, M. Mori, and M. Yagi, "Photoexcited Triplet States of New UV Absorbers, Cinnamic Acid 2-Methylphenyl Esters", *Photochem. Photobiol. Sci.* **10**, pp. 1902-1909 (2011).
- 30) I. Katayama, H. Sakaibara, and J. Takeda, "Real-Time Time-Frequency Imaging of Ultrashort Laser Pulses Using an Echelon Mirror", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 102701: pp. 1-5 (2011).
- 31) I. Katayama, S. Koga, K. Shudo, J. Takeda, T. Shimada, A. Kubo, S. Hishita, D. Fujita, and M. Kitajima, "Ultrafast Dynamics of Surface-Enhanced Raman Scattering Due to Au Nanostructures", *Nano Lett.* **11**, pp. 2648-2654 (2011).
- 32) S. Koga, I. Katayama, S. Abe, H. Fukidome, M. Suemitsu, M. Kitajima and J. Takeda, "High-Frequency Coherent Phonons in Graphene on Silicon", *Appl. Phys. Exp.* **4**, 045101: pp. 1-3 (2011). \*Selected for Virtual Journal of Ultrafast Science, **10**, issue 5 (2011).
- 33) H. Takahashi, Y. Kamihara, H. Koguchi, T. Atou, H. Hosono, I. Katayama, J. Takeda, M. Kitajima and K. G. Nakamura, "Coherent Optical Phonons in the Iron Oxypnictide  $\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$  ( $x=0.075$ )", *J. Phys. Soc. Jpn.* **80**, 013707: pp. 1-4 (2011).
- [学会発表] (計 72 件)
- 1) 土谷卓史、菊地あづさ、八木幹雄、『UV-B 吸収剤エチルヘキシルトリアゾンおよびジエチルヘキシルブタミドトリアゾンの光励起状態』、日本化学会第 95 春季年会 (日本大学船橋キャンパス、2015 年 3 月 28 日)。
  - 2) 半井優也、菊地あづさ、八木幹雄、『エネルギードナーりん光消光による紫外線吸収剤間三重項-三重項エネルギー移動』、日本化学会第 95 春季年会 (日本大学船橋キャンパス、2015 年 3 月 28 日)。
  - 3) 片山郁文 (シンポジウム講演)、『サブ 10fs 超短パルスレーザーを用いた時間分解表面振動分光』、日本物理学会第 70 回年次大会 (早稲田大学、2015 年 3 月 22 日)。
  - 4) 武田 淳 (招待講演)、『反射型エシエロンを用いたシングルショット時間・周波数 2 次元分光』、第 26 回先端光量子科学アライアンスセミナー「先端光科学におけるフーリエ光学応用シンポジウム」(慶應大学、2015 年 3 月 19 日)。
  - 5) 片山郁文、大庭航、南 康夫、齋木敏治、武田 淳 (招待講演)、"Ultrafast Dynamics of Phase-Change Materials Observed Using Echelon-Based Single-Shot Setups", The 26th Symposium on Phase Change Oriented Science (PCOS2014), (浜名湖ロイヤルホテル、2014 年 12 月 4 日-5 日)。
  - 6) 片山郁文、南 康夫、武田 淳 (招待講演)、『反射型エシエロンを用いた超高速シングルショット時間・周波数イメージング』、6pDS3、日本光学会年次学術講演会 2014 (筑波大学東京キャンパス文京校舎、2014 年 11 月 6 日)。
  - 7) 屋中智生、菊地あづさ、八木幹雄、『紫外線吸収剤アミノ安息香酸誘導体による一重項酸素の光増感生成と消光』、日本化学会第 94 春季年会 (名古屋大学、2014 年 3 月 28 日)。
  - 8) 杉山一翔、菊地あづさ、八木幹雄、『サリチル酸エステル系紫外線吸収剤の光励起状態と一重項酸素の光増感生成』、日本化学会第 94 春季年会 (名古屋大学、2014 年 3 月 28 日)。
  - 9) 武田 淳、南 康夫、片山郁文 (招待講演)、『強誘電体におけるフォノンポラリトン波束伝播の実時間イメージングとコヒーレント制御』、21aV-1、第 34 回レーザー学



- 会(北九州国際会議場、2014年1月21日)。
- 10) J. Takeda, I. Katayama, K. Shudo, and M. Kitajima (**Invited Talk**), "Coherent Phonon and Surface-Enhanced Raman Scattering Dynamics in Solids", *18th International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids*, II-1 (August 4-9, 2013, Fuzhou, China).
  - 11) I. Katayama, K. Shudo, J. Takeda, and M. Kitajima (**Invited Talk**), "Nanoscale and Femtosecond Phonon Dynamics Observed with Surface Enhanced Raman Scattering", *Ultrafast Surface Dynamics 2013*, (May 28-31 2013, Colorado).
  - 12) 杉山一翔、菊地あづさ、八木幹雄、『紫外線吸収剤ベンゾトリアゾール誘導体の光励起状態』、日本化学会第93春季年会(立命館大学、2013年3月25日)。
  - 13) 熊坂亮、菊地あづさ、八木幹雄、『有機系紫外線吸収剤からの一重項酸素の光増感生成』、日本化学会第93春季年会(立命館大学、2013年3月25日)。
  - 14) 菊地あづさ、芝田謙二、熊坂亮、八木幹雄、『UV-A 吸収剤吸収剤アントラニル酸メンチルの励起状態と緩和過程』、電子スピンスイエンシス学会(札幌コンベンションセンター、2012年11月1日)。
  - 15) M. Suemitsu, M.-H. Jung, H. Fukidome, I. Katayama, M. Kitajima, and J. Takeda (**Invited Talk**), "THz Coherent Phonons in Graphene on Silicon", *The 2nd International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 2012)*, (Okinawa, Japan, July 4&5, 2012).
  - 16) J. Takeda, H. Sakaibara, and I. Katayama (**Invited Talk**), "Real-Time Mapping of The Phonon-Polariton Dispersion in Ferroelectric LiNbO<sub>3</sub> Using Femtosecond Single-Shot Imaging Spectroscopy", *5th International Conference on Science and Technology for Advanced Ceramics, 22pHsI02* (Yokohama, Japan, June 22-24, 2011).

ほか 56 件

[図書] (計 1 件)

- 1) 菊地あづさ、『フォトクロミズムの新展開と光メカニカル機能材料』、シーエムシー出版(2011)。

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：計測機器

発明者：南 康夫、武田 淳、片山郁文

権利者：南 康夫、武田 淳、片山郁文

種類：特許

番号：特願 2014-248434

出願年月日：平成 26 年 12 月 8 日

国内外の別：国内

名称：テラヘルツ電場波形検出装置

発明者：片山郁文、南 康夫、武田 淳、Jeremy A. Johnson

権利者：片山郁文、南 康夫、武田 淳、Jeremy A. Johnson

種類：特許

番号：特願 2015-17672

出願年月日：平成 27 年 1 月 30 日

国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

1) <http://www.ultrafast.ynu.ac.jp/>

2) <http://www.laser-nanoscience.ynu.ac.jp/ja/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 淳 (TAKEDA JUN)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：60202165

(2) 研究分担者

北島 正弘 (KITAJIMA JMASAHIRO)

防衛大学校・応用科学群・教授

研究者番号：00343830

(3) 研究分担者

菊地 あづさ (KIKUCHI AZUSA)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30452048

(4) 研究分担者

片山 郁文 (KATAYAMA IKUFUMI)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：80432532