

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26600109

研究課題名(和文) 狭帯域CWテラヘルツ波による高速イメージングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of terahertz spectroscopy and imaging system by using continuous wave terahertz emission

研究代表者

中嶋 誠 (Nakajima, Makoto)

大阪大学・レーザーエネルギー学研究センタ・准教授

研究者番号：40361662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：2台の周波数可変の外部共振器型半導体レーザーを用いて、狭帯域CWテラヘルツ光を発生し、ファイバーベースのテラヘルツ波分光システムを構築した。テラヘルツ周波数の安定化のためエタロンを導入し、アクティブにフィードバックをかけることで、光源周波数の安定化に成功した。その結果絶対周波数確度サブGHz、相対周波数確度10MHzの精度で、減圧下における水蒸気やメタノールの等のガスを対象にしたテラヘルツ分光をできることを示した。外部より光ファイバーでレーザー光を導入し、希釈冷凍機中の試料ロッドに光伝導アンテナ等を組み込み、4Kおよび1テスラ程度の磁場下にて、GaAs2次元電子系のテラヘルツ照射測定を実施した。

研究成果の概要(英文)：We have constructed the CW THz spectroscopy system with narrow spectrum width (~1.85 MHz) and broad tunable range (~3 THz), using two tunable external cavity diode lasers as mixing laser sources and a photoconductive antenna based on InGaAs as a THz emitter. Laser sources and the emitter are connected by optical fiber for flexible set up. The frequency feedback system with a thermally stabilized external cavity with the FSR of 484 MHz realized that the absolute frequency accuracy is sub GHz by the measurement of water vapor absorption. The frequency stabilization is 10 MHz in 10 minutes.

We developed the CW THz spectrometer system in a dilution refrigerator with a magnet. The measurement of terahertz wave irradiation to two-dimensional electron system in GaAs was performed at the temperature of 4 K and the magnetic field of ~1Tesla.

研究分野：テラヘルツ工学

キーワード：テラヘルツ波 光物性 狭帯域 半導体物性

1. 研究開始当初の背景

近年、フェムト秒パルスレーザーベースのテラヘルツ時間領域分光システムの進展は目覚ましく、多くの研究が行われている。また電子機器ベースのテラヘルツ光源も近年現れており、テラヘルツ分光も多様化が進んでいる。本研究では、波長可変の外部共振器型半導体レーザーをもちいることで、狭帯域広帯域チューニング可能なテラヘルツ分光システムの開発を行う。

2. 研究の目的

本研究においては、2 台の波長可変の外部共振器型半導体レーザーを用いて、高精度精密テラヘルツ波分光システムを構築し、それを分光やイメージング測定に応用していくことである。狭帯域なスペクトル特性をもつ外部共振器型半導体レーザーを用いることで、その2本のビート周波数として発生されるテラヘルツ波も狭帯域な特性が期待できる。また、外部共振器型半導体レーザーのフレキシブルな周波数チューニング特性により、広い周波数可変領域と俊敏なチューニング速度を有するテラヘルツ精密分光システムが構築可能である。また、パルスレーザーベースの分光システムに比べて、CW レーザーシステムは光ファイバーとの相性がよいという利点がある。光ファイバーベースのテラヘルツ分光器を構築し、安定で使い勝手のよいシステムの構築を行う。

また光ファイバーによって、希釈冷凍機等の内部へもレーザー光を導入することが可能になる。冷凍機内部にシステムを構築することで、窓材等の影響をうけない極低温強磁場下での動作する精密テラヘルツ分光システムの開発を行う。

3. 研究の方法

CW レーザーベースのテラヘルツ分光システムを構築するとともに、テラヘルツ波の特性の評価を行う。テラヘルツのスペクトル幅に起因する、レーザーの波長ゆらぎや安定性をあげるために、外部共振器エタロンを用いてその特性を Pound-Drever-Hall 法によりフィードバックし、その周波数精度や安定性を高める。狭帯域特性を確認するために、減圧したガスにおける吸収スペクトルを測定し、それを確認する。

極低温・強磁場下において、窓材の影響等を受けずに精密な低エネルギー分光であるテラヘルツ波分光を行うために、希釈冷凍機中に本システムを組み込み、冷凍機一体型のシステムを構築することを試みる。

4. 研究成果

(1) 2 台の外部共振器型半導体レーザーを用いて、その広い周波数可変域および狭帯域特性を活かして、ファイバーベースの狭帯域なテラヘルツ分光システムを構築した。このシステムでは、周波数の安定性を得るために、

外部にエタロン(約 48kHz, 約 5kHz)を設置し、フィードバックすることで周波数の安定性を高めている。図 1 にボロメータで測定したテラヘルツスペクトルを示す。3THz 以上に渡る広い領域にて信号が観測できている。DFB レーザー用いたシステム(温度による周波数制御)と異なりモーター制御により波長のチューニングが可能のため、高速な波長可変特性を有している。

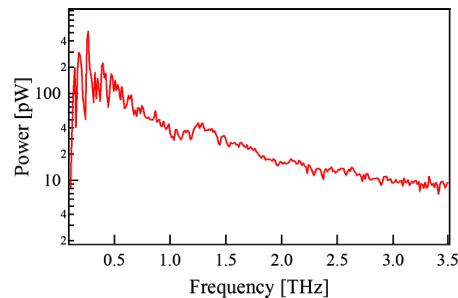


図 1 室温にてボロメータで測定したテラヘルツスペクトル

得られた周波数安定性は、10 分間という長い測定時間において、ピーク周波数分布の半値全幅は 9.2MHz であった。10MHz を切る安定性を得ることができた。

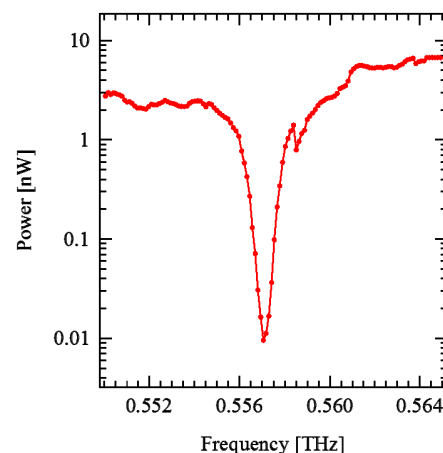


図 2 水蒸気の吸収スペクトル

図 2 に、水蒸気の吸収スペクトルを示す。これは減圧下(1hPa)で測定したものであり、この吸収は 0.5579THz に対応している。この測定では放射素子に UTC フォトダイオードを使用しており、光伝導アンテナをもちいるよりも、高強度の出力が得られている。絶対周波数精度としてもサブ 1GHz の精度があることが確認できている。他にも減圧下において、メタノール等をはじめとしたガス分光を行い、上記の精度で測定が可能であることが確認できている。

(2) 希釈冷凍機中にテラヘルツ分光システムを組み込みために、光ファイバーで冷凍機中に取り組み、内部に分光ユニットを設置するための試料ロッドを作成した。試料ロッド

にテラヘルツ波放射素子を組み込んだ写真およびその概略図を図3に示した。

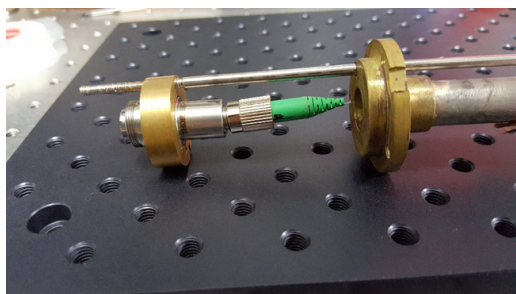
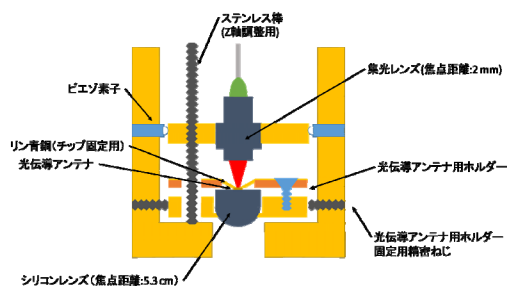


図3 希釈冷凍機組込み用の試料ロッドのテラヘルツ放射素子付近の概略図(上)と外部からの写真(下)

温度による歪によりアンテナやレンズ等の位置の微調整が必要になる。そのために外部から微調整することができるように、ピエゾ素子や調整ネジを用意し、信号を見ながら最適化できるようにしている。現状、低温下(4.2K)にて、1 Tesla 程度の磁場を印加し、GaAs 系 2 次元電子系にてサイクロトロン共鳴をはじめとする応答の観測を試みた。縦抵抗変化の観測を確認することができた。さらに詳細な測定を進めていくためには、さらなる強度の増強が必要であることがわかった。低温下において光伝導アンテナで光電流が低下する要因の解消や、アンテナ構造を改良することによる高強度化などの施策が必要考えられる。

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 12 件)

1. "Terahertz wave generation from spontaneously formed nanostructures in silver-nanoparticle ink", K. Kato, K. Takano, Y. Tadokoro, and M. Nakajima Opt. Lett. 41, 2125 (2016). doi:10.1364/OL.41.002125 査読有り
2. "Harmonics radiation of graphene surface plasmon polaritons in terahertz

regime", D. Li, Y. Wang, M. Nakajima, M. Hashida, Y. Wei, S. Miyamoto, Physics Letters A 380, 2181-2184 (2016). 査読有り

3. "Efficient optical terahertz-transmission modulation in solution-processable organic semiconductor thin films on silicon substrate"

T. Matsui, H. Mori, Y. Inose, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, and M. Hangyo, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 03DC12 (2016). doi:10.7567/JJAP.55.03DC12 査読有り

4. "Terahertz wave emission from plasmonic chiral metasurfaces", T. Matsui, S. Tomita, M. Asai, Y. Tadokoro, K. Takano, M. Nakajima, M. Hangyo, H. Yanagi, Appl. Phys. A 122, 157 (2016). DOI: 10.1007/s00339-016-9657-y 査読有り

5. "Measurement of beam profiles by terahertz sensor card with cholesteric liquid crystals", Y. Tadokoro, T. Nishikawa, B. Kang, K. Takano, M. Hangyo, and M. Nakajima, Opt. Lett. 40, 4456 (2015). doi: 10.1364/OL.40.004456 査読有り

6. "誘電体メタマテリアルを用いたテラヘルツ波吸収体の作製", 花井研一郎, 高野恵介, 宮丸文章, 中嶋誠, 光アライアンス, 12, 34-37 (2015). (in Japanese). 査読無し

7. "Dispersion, spatial growth rate, and start current of a Cherenkov free-electron laser with negative-index material" Y. Wang, Y. Wei, D. Li, K. Takano, M. Nakajima, X. Jiang, X. Tang, X. Shi, Y. Gong, J. Feng, and S. Miyamoto, Phys. Plasma, 22, 083111-1-7 (2015). doi:10.1063/1.4928089 査読有り

8. "Turnover of Exciton Spin States in CdTe=Cd_{0.88}Mn_{0.12}Te Quantum Wells" S. Kamimura, A. Date, M. Nakajima, G. Karczewski, T. Wojtowicz, J. Kossut, T. Tsuchiya, and H. Mino, Journal of the Physical Society of Japan, 84, 104704 (2015). doi:10.7566/JPSJ.84.104704 査読有り

9. "Trapping waves with terahertz metamaterial absorber based on isotropic Mie resonators" R. Yahiaoui, K. Hanai, K. Takano, T. Nishida, F. Miyamaru, M. Nakajima, and M. Hangyo, Optics Letters 40, 3197 (2015). [DOI:10.1364/OL.40.003197] 査読有り

10. "Dynamics of photoinduced change of magnetoanisotropy parameter in orthoferrites probed with terahertz

excited coherent spin precession”
 K. Yamaguchi, T. Kurihara, H. Watanabe, M. Nakajima, and T. Suemoto,
 Physical Review B 92, 064404 (2015).
 [DOI:10.1103/PhysRevB.92.064404] 査読有り

11. “Enhanced spin-precession dynamics in a spin-metamaterial coupled resonator observed in terahertz time-domain measurements”
 T. Kurihara, K. Nakamura, K. Yamaguchi, Y. Sekine, Y. Saito, M. Nakajima, K. Oto, H. Watanabe, and T. Suemoto,
 Physical Review B 90, 144408 (2014).
 [DOI:10.1103/PhysRevB.90.144408] 査読有り

12. “High-frequency millimeter wave absorption of indium-substituted \cdot -Fe2O3 spherical nanoparticles”
 M. Yoshikiyo, A. Namai, M. Nakajima, K. Yamaguchi, T. Suemoto, and S. Ohkoshi,
 Journal of Applied Physics 115, 172613 (2014). [doi:10.1063/1.4870168] 査読有り

[学会発表](計 57 件) 主要文献 38 件

1. "ErFeO₃ の THz 誘起スピン再配列相転移初期過程におけるドメイン生成メカニズム", 日本物理学会 第 71 回年次大会, 21pBH-5 (2016.3.19-22, 東北学院大学), 栗原貴之, 渡邊浩, 軽部修太郎, 音賢一, 大谷義近, 中嶋誠, 末元徹.

2. "負の屈折率媒質を用いた Cherenkov 自由電子レーザー", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21a-P6-7, (2016.3.19-22, 東京工業大学) 李 大治、高野 恵介、中嶋 誠、宮本 修治.

3. (シンポジウム講演) "スピンドYNAMIXと磁気秩序の高強度テラヘルツ磁場による制御", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-H135-7, (2016.3.19-22, 東京工業大学) 栗原 貴之、末元 徹、中嶋 誠.

4. "High Frequency Accuracy CW THz Spectroscopy System using External Cavity Feedback ", Keiichi Ando, Yuma Iizuka, Kenichi Oto, Kiyofumi Muro, Makoto Nakajima, The 1st Symposium of Chiral Molecular Science & Technology in Chiba University -Advanced Materials Science, Biology & Nanophotonics in Chiba, 2016.2.29-3.1 (Chiba, Japan).

5. (Invited) "Terahertz-Field-Induced Break Down in Metal Particles ", M. Nakajima, Y. Tadokoro, K. Takano, and M. Hangyo, The EMN (Energy, Materials and Nanotechnology) Hong Kong Meeting 2015, A48 (Dec.11, Proceedings P152), Dec. 9-12, 2015 (Hong Kong).

6. (国際光年記念ポスター賞) “ErFeO₃ におけ

る光誘起スピン再配列相転移ドメインの THz 近接磁場による制御” 日本物理学会第 70 回年次大会 2015 年秋(関西大学, 2015.9.16-19), 18pPSA-55, 栗原貴之, 渡邊浩, 関根雄大, 斎藤友未, 中嶋誠, 音賢一, 末元徹.

7. (招待講演) "Application of Terahertz field enhancement effect in metal microstructures", M. Nakajima, Y. Tadokoro, K. Takano, T. Kurihara, K. Yamaguchi, H. Watanabe, K. Oto, T. Suemoto, and M. Hangyo, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), TuP2.2, (Sep.1), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

8. "Terahertz radiation from gold nano-rod arrays excited by femtosecond laser pulses", K. Takano, H. Komiyama, M. Asai, K. Kato, T. Iyoda, Y. Tadokoro, M. Nakajima, and M. Hangyo, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), TuA2.4, (Sep.1), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

9. "Terahertz-field-induced irreversible decrease in transmittance for randomly arranged aluminum particles", Y. Tadokoro, T. Nishikawa, K. Takano, M. Nakajima, and M. Hangyo, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos2.25, (Sep.1), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

10. "Ge-Sb-Te interfacial phase change memory material for THz device applications.", K. Makino, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, Y. Saito, J. Tominaga, and T. Nakano, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos2.26, (Sep.1), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

11. "The THz imager with Thin Cholesteric Liquid Crystal Film", KANG Boyoung, Y. Tadokoro, T. Nishikawa, K. Takano, G. Itoyama, M. Hangyo, and M. Nakajima, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos2.34, (Sep.1), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

12. "High efficiency Multimode Laser Diode THz TDS systems using Laser Chaos and Super focusing with Metal V-grooved Wave guide", F. Kuwashima, T. Shisao, T. Kishibata, Y. Akamine, K. Iwao, M. Ooi, M. Tani, K. Kurihara, K. Yamamoto, T. Nagashima, M. Nakajima, and M. Hangyo , The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos2.10, (Sep.1), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

13. "High Frequency Accuracy CW THz Spectroscopy System using External Cavity Feedback", K. Ando, Y. Iizuka, K. Oto, K. Muro, and M. Nakajima, The Second

International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos1.09, (Aug.31), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

14."Terahertz generation from nano-metal ink irradiated by femtosecond laser pulses", K. Kato, K. Takano, Y. Tadokoro, and M. Nakajima, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos1.16, (Aug.31), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

15."Terahertz magnetic control of spin orientation during the laser-induced spin reorientation transition in orthoferrites using split-ring resonator", T. Kurihara, H. Watanabe, Y. Sekine, Y. Saito, M. Nakajima, K. Oto, and T. Suemoto, The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology(FTT2015), Pos1.29, (Aug.31), Aug.30-Sep.2, .2015 (Hamamatsu,Japan).

16."High Effective Generation And Detection Of THz Waves Using A Laser Chaos And A Super-focusing With Metal V-grooved Waveguides", F. Kuwashima, T. Shirao, T. Kishibata, Y. Akamine, N. Iwao, M. Ooi, M. Tani, K. Kurihara, K. Yamamoto, T. Nagashima, M. Nakajima, and M. Hangyo, IRMMW-THz2015, Aug.25,2015(Hong Kong).

17."Fabrication Of A Terahertz Wave Absorber Based On Dielectric Spheres", K. Hanai, K. Takano, F. Miyamaru, T. Nishida, M. Nakajima, M. Hangyo, and R. Yahiaoui, IRMMW-THz2015, Aug.25,2015(Hong Kong).

18.(招待講演) "Ultrafast spin spectroscopy for rare-earth orthoferrites and orthochromites by THz pulses", M. Nakajima, The 11th Conference on Lasers and ElectroOptics Pacific Rim (CLEO-PR 2015), 27B2-3, Aug.24-28,2015(BEXCO, Busan, Korea).

19."Study of terahertz field induced coherer", M. Nakajima, Y. Tadokoro, K. Takano, and M. Hangyo, the Nonlinear Optics 2015 Conference (NLO2015), NTh2B6, Jul.26-31,2015(Kauai, United States).

20.(招待講演) "The Improvement of the THz Imager based on a Cholesteric Liquid Crystal via Metamaterial", B. Kang, Y. Tadokoro, T. Nishikawa, K. Takano, M. Hangyo and M. Nakajima, 5th Japan-Korea Metamaterial forum, (Jun.29), Jun. 29-Jul.1, 2015 (Seoul, Korea).

21.(ポスター賞(最優秀賞)) "酸化チタン微小球を用いたテラヘルツマグネティックミラーの作製" 日本応用物理学会関西支部 第1回講演会「酸化物機能性材料が牽引するエレクトロニクスの新展開 ~関西発、革新技術と若手研究者からの情報発信~」(姫路, 2015.6.22), 花井 研一郎, 高野 恵介, 宮丸

文章, 中嶋 誠.

22. "カットを入れた2次元金属メッシュ型テラヘルツメタマテリアルによる偏光変化の観測" 日本物理学会 第70回年次大会 2015年春(早稲田大学, 2015.3.21-24), 21pCN-15, 関根雄大, 齋藤友未, 奥井雄一郎, B. Kang, 高野恵介, 萩行正憲, 音賢一, 中嶋誠.

23. "負の屈折率媒質による電子ビームからの電磁波放射" 日本応用物理学会 第62回応用物理学会春季学術講演会 2015年春(東海大学, 2015.3.11-14), (12a-A14-11), 李 大治, 高野 恵介, 中嶋 誠, 宮本 修治.

24. "外部共振器を用いた高周波数確度CWテラヘルツ分光システムの開発" 日本応用物理学会 第62回応用物理学会春季学術講演会 2015年春(東海大学, 2015.3.11-14), (11p-P3-17), 関飯塚 悠円, 安藤 慶一, 音賢一, 室 清文, 中嶋 誠.

25.(招待講演) "Terahertz spin spectroscopy by impulsive excitation of THz magnetic field", M. Nakajima, 2015 International Symposium on Advanced Materials and Optoelectronics, Jan. 27, 2015 (Saga University, Saga, Japan).

26.(招待講演) "Terahertz response of randomly connected checkerboard patterns", K. Takano, Y. Tanaka, A. Chahadih, A. Ghaddar, X. Hang, F. Vaurette, T. Akalin, F. Miyamaru, M. Nakajima, and M. Hangyo, 4th Japan-Korea Metamaterial forum, Dec. 22-24, 2014 (Osaka, Japan).

27."A proposal of a terahertz wave absorber based on dielectric spheres", K. Hanai, K. Takano, F. Miyamaru, M. Nakajima, M. Hangyo, and R. Yahiaoui, 4th Japan-Korea Metamaterial forum, P10, Dec. 22-24, 2014 (Osaka, Japan).

28."Insulating-to-conducting transition of subwavelength copper spheres induced by terahertz field enhancement in native oxide layers", Y. Tadokoro, T. Nishikawa, K. Takano, M. Nakajima, and M. Hangyo, 4th Japan-Korea Metamaterial forum, P11, Dec. 22-24, 2014 (Osaka, Japan).

29."Terahertz radiation from gold nano-rod arrays", M. Asai, H. Komiyama, T. Iyoda, Y. Tadokoro, K. Takano, M. Nakajima, and M. Hangyo, 4th Japan-Korea Metamaterial forum, P12, Dec. 22-24, 2014 (Osaka, Japan).

30."THz planar chiral metamaterials with asymmetric transmission", B. Kang, K. Takano, M. Nakajima, and M. Hangyo, 4th Japan-Korea Metamaterial forum, P13, Dec. 22-24, 2014 (Osaka, Japan).

31. "カット入り二次元金属メッシュにおけるテラヘルツ分光"第25回光物性研究会(神戸大学, 2014.12.12-13), (I B-33) 齋藤友未, 関根雄大, 久住裕貴, 高野恵介, 萩行

正憲、三野弘文、音 賢一、中嶋 誠.
32.(光物性研究会奨励賞) “サブ波長アルミニウム粒子集合体におけるテラヘルツ電場誘起絶縁/伝導転移” 第 25 回光物性研究会(神戸大学, 2014.12.12-13), (II B-72) 田所 謙、西川智啓、高野恵介、中嶋 誠、萩行正憲.
33. “有機モット絶縁体 (BEDT-TTF) (TCNQ)における光反射測定での多重反射” 第 25 回光物性研究会 (神戸大学, 2014.12.12-13), (III B-101) 貞本貢汰、中嶋 誠、酒井正俊、三野弘文.
34.(ポスター賞(優秀賞)) “誘電体球を用いたテラヘルツ波吸収体の提案” 応用物理学会関西支部 第二回講演会 「シミュレーションが先導するエレクトロニクス・フォトンクス研究」, (神戸大学, 2014.11.12), 花井研一郎、高野恵介、宮丸文章、中嶋誠、萩行正憲、R. Yahiaoui.
35.(招待講演) "Observation and control of spin dynamics by impulsive magnetic fields of terahertz radiation ", T. Suemoto, K. Yamaguchi, T. Kurihara, K. Nakamura, H. Watanabe, T. Kato, K. Oto, and M. Nakajima, Fujihara Seminar: Real-time Dynamics of Physical Phenomena and Manipulation by External Fields, Sep. 23-27, 2014, (Hokkaido, Japan).
36. “Interactive Magnetic Coupling Between Spin Precession And Split-ring Resonator In The Terahertz Frequency ”, T. Kurihara, K. Yamaguchi, K. Nakamura, Y. Sekine, K. Oto, Y. Saito, M. Nakajima, H. Watanabe, and T. Suemoto, The 39th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves (IRMMW-THz 2014), R3/C-32.7 (Sep. 18), September 14-19, 2014, Tucson, Arizona, USA.
37. “CdTe/Cd_{0.88}Mn_{0.12}Te 量子井戸における光誘起励起子スピンの温度依存性” 日本物理学会 秋季大会 2014 年秋(中部大学, 2014.9.7-10), 8aAJ-8, 上村翔太, 中嶋誠, 三野弘文.
38.(招待講演) "Electromagnetic Properties of Nearly Self-Complementary Metasurfaces at Terahertz Frequency" K. Takano, Y. Tanaka, A. Chahadih, A. Ghaddar, X.-L. Han, F. Vaurette, T. Akalin, M. Nakajima, and M. Hangyo The 8th International Conference on Photonics & Applications (ICPA-8) (Da Nang, Vietnam, Aug. 12-16, 2014). A-07.

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

なし

取得状況(計 0 件)

なし

〔その他〕
ホームページ
<http://nak.matrix.jp/study/list.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者
中嶋 誠 (NAKAJIMA MAKOTO)
大阪大学・レーザーエネルギー学研
究センター・准教授
研究者番号: 4 0 3 6 1 6 6 2

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし