

## I 高輝度放射光X線を用いた光物性研究

Photophysics using brilliant synchrotron X-ray beam

田中義人・長谷川尊之  
Tanaka, Y., Hasegawa, T.

放射光X線光源の時間特性と高い強度を利用して、物質の高速光応答の研究を進めている。特に、無機単結晶を対象とした光誘起高速構造ダイナミクスとそれに対応する光物性を明らかにすることを目標として、時間分解X線回折法、光電子分光法、近赤外分光法を駆使している。対象は代表的な半導体単結晶であるシリコン、ヒ化ガリウムその他、磁性体や構造相転移物質である。当該年度では、SACLAの硬X線自由電子レーザーを用いて、大強度パルスX線照射による半導体のバンドギャップ付近の光学特性および、磁性変化を調べた。その結果、半導体では高強度X線パルス照射で複雑なスペクトル形状変化が、磁性体では、過渡的に磁気モーメントが乱れ、復元する様子が観測された。

## II 超短パルス自由電子レーザー光発生に向けた装置開発

Development of femtosecond laser spectrometer

田中義人  
Tanaka, Y.

放射光施設ニューズバルにて自由電子レーザーによる超短パルス光発生に向けた装置開発を進めている。ニューズバルの実験ホールに設置されたフェムト秒チタンサファイアレーザーが蓄積リング内のシングルバンチに時間同期するように、同期系回路を構築した。また、再生増幅器からのレーザーパルスと電子バンチの信号波形を、それぞれ、フォトダイオードおよび電流モニターにて観測し、タイミング同期が達成できたことを広帯域オシロスコープ上で確認した。ジッター評価も行い、電子バンチ幅である数十ピコ秒より高い精度であることがわかった。

### III 核スピン偏極の光生成・移行と緩和

Nuclear spin polarization by means of optical pumping of atomic vapor

石川 潔

Ishikawa, K.

核磁気共鳴は基礎から応用研究まで広く使われる計測法で、物質について多彩な情報を与える。一方、従来法は感度が低いのが欠点である。レーザー誘起核スピン偏極は、その短所を長所に変える。レーザー光を照射し、物質内の原子核のスピン向きをそろえると、物質が大きな磁気共鳴信号を発生する。非平衡状態の信号なので、注目する相互作用のみを観測することもできる。

我々は、光により気体・液体や固体の核スピンを偏極する汎用的な手法の開発をめざしている。光を吸収する物質だけでなく、吸収しない物質をスピン偏極するため、光によりスピン偏極が容易な原子を介し、光のスピン角運動量を目的物質に移す。光誘起スピン偏極が物質に移る過程、物質内で緩和する過程を詳しく調べ、スピン偏極率を向上させる。

これまでに、気体のアルカリ金属原子と希ガスの混合系の核スピン偏極、偏極希ガス溶液でスピン緩和機構を調べてきた。加えて、アルカリ金属原子と固体アルカリ塩の系が有望である。

### IV スピン緩和抑制コーティングの NMR 計測

NMR diagnosis and design for anti spin-relaxation coating

石川 潔

Ishikawa, K.

偏極原子気体は、原子・分子との衝突や壁との衝突により、スピン偏極を失っていく。気体の偏極を長期保存するためには、壁におけるスピン緩和を抑制することが重要である。偏極希ガスの場合、アルカリ金属コーティングが有効である。

ガラス容器内面を金属 Cs や Rb でコートする際、不純物が混入すると伝導電子密度が変化する。薄膜の伝導電子は気体原子に対するポテンシャルを形成し、密度制御は原子を使った精密計測に重要である。一方、伝導電子により NMR 周波数はナイトシフトするので、金属中の不純物を NMR 検出できる。これまで、不純物として酸素とナトリウムを同定した。ガラス容器を壊さずにコーティングを検査できる NMR 計測に加え、金属蒸気密度を光吸収で測定する。これらの特徴を生かし、高性能なコーティングを開発する。

## V 半導体ナノ構造膜のテラヘルツキャリアダイナミクス

Terahertz-range carrier dynamics in semiconductor nanostructured films

長谷川尊之・田中義人  
Hasegawa, T., Tanaka, Y.

フェムト秒レーザーで励起された半導体中のキャリアは、電子系および格子系のさまざまな相互作用を介して複雑に時間発展する。本研究では、ナノ・マイクロメートルスケールで構造制御された半導体を主対象として、構造特有のサブピコ秒（テラヘルツ）キャリア過渡現象を明らかにすること、ならびにその制御の指針を得ることを目的としている。実験はフェムト秒レーザーを光源とした時間分解ポンプ・プローブ計測およびテラヘルツ電磁波波形計測を主体としている。今年度はGaAsナノ構造中に生成したキャリア過渡現象からのテラヘルツ電磁波放射を、内蔵電場強度依存性の観点から調べた。

## VI 半導体ナノ粒子塗布膜の光電流特性

Photocurrent characteristics in semiconductor nanoparticle films

長谷川尊之・田中義人  
Hasegawa, T., Tanaka, Y.

半導体ナノ粒子の溶液を塗布することで形成される薄膜構造では、ナノ粒子の粒径や表面修飾基の制御によって多様な電子輸送プロセスが発現することが期待される。本研究では、シリコンナノ粒子塗布膜を電極付基板上に作製し、半導体レーザーおよび広帯域ランプ光源を用いた光電流応答の測定から、光励起電子の生成効率および輸送プロセスを調べている。最近では、高い空間・エネルギー分解能の光電流スペクトル計測システムを駆使して構造特有の光電流スペクトルの観測に成功した。

## 発表論文 List of Publications

- I-1** K. Yamamoto, Y. Kubota, M. Suzuki, Y. Hirata, K. Carva, M. Berritta, K. Takubo, Y. Uemura, R. Fukaya, K. Tanaka, W. Nishimura, T. Ohkochi, T. Katayama, T. Togashi, K. Tamasaku, M. Yabashi, Y. Tanaka, T. Seki, K. Takanashi, P. Oppeneer, H. Wadati: **Ultrafast demagnetization of Pt magnetic moment in L10-FePt probed by magnetic circular dichroism at a hard x-ray free electron laser**, *New J. Phys.* **21**, 123010 (2019)
- I-2** T. Pincelli, R. Cucini, A. Verna, F. Borgatti, M. Oura, K. Tamasaku, H. Osawa, T.L. Lee, C. Schlueter, S. Gunther, C.H. Back, M. Dell'Angela, P. Orgiani, S. Petrov, F. Sirotti, R. Ciprian, V. Dediu, I. Bergenti, P. Graziosi, F. Miletto Granozio, Y. Tanaka, J. Fujii, G. Rossi, M. Taguchi, G. Panaccione: **Transient quantum isolation and critical behavior in the magnetization dynamics of half-metallic manganites**, *Phys. Rev. B*, **100**, 045118 (2019)
- I-3** K. Kato, Y. Tanaka, M. Yamauchi, K. Ohara, T. Hatsui: **A statistical approach to correct X-ray response non-uniformity in microstrip detectors for high-accuracy and high-resolution total scattering measurements**, *J. Synchrotron Rad.* **26**, 762-773 (2019)
- I-4** 富樫 格, 田中義人, 足立伸一: 試料環境シリーズ (6) 第 3 回「レーザー」パルスレーザーを用いた放射光実験 実用編, 放射光 Vol. 32, No. 6, pp.314-325 (2019)
- I-5** 富樫 格, 田中義人, 足立伸一: 試料環境シリーズ (5) 第 3 回「レーザー」パルスレーザーを用いた放射光実験 基礎編, 放射光 Vol. 32, No. 5, pp.257-269 (2019)
- I-6** 足立伸一, 田中義人: 第 13 章 光の時間構造を使う, 放射光ビームライン光学技術入門 改訂版 ISBN978-4-86584-373-6, pp.387-410, 日本放射光学会 (2019 年 8 月)
- I-7** Y. Tanaka: **Meter-Length Hollow Fiber Optics for X-Ray Beam Trajectory Control**, AnalytiX-2019, Singapore, April 12-14 (2019)
- I-8** 近藤啓介, 西村 渉, 鈴木基寛, 安田伸広, 福山祥光, 久保田雄也, 富樫 格, 長谷川尊之, 田中義人: フェムト秒パルス X 線励起に対する GaAs の高速近赤外光応答, 応用物理学会 2019 年秋季学術講演会 (北海道大学 2019 年 9 月)
- I-9** A. A. Abozeed, K. Sano, K. Terashima, A. Yamasaki, A. Higashiya, H. Fujiwara, T. Kiss, A. Sekiyama, Y. Tanaka, M. Yabashi, K. Tamasaku, T. Ishikawa, S. Masubuchi, S. Imada: **Electronic States of an Antiferromagnet CeCuSb<sub>2</sub> Studied by Linearly Polarized Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy**, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) Okayama, Japan, Sep. 23-28 (2019)
- I-10** 近藤啓介, 西村 渉, 鈴木基寛, 安田伸広, 福山祥光, 久保田雄也, 富樫 格, 田中義人: **XFEL ポンプ・光学プローブによる GaAs の高速バンドギャップ収縮の観測**, 第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウイックあいち 2020 年 1 月)

- I-11** 西村 渉, 岡部純幸, 近藤啓介, 小倉弓枝, 片山哲夫, 佐藤堯洋, 久保田雄也, 富樫 格, 松田 巖, 田中義人, 鈴木基寛: **XFEL ポンプ-可視光プローブ時間分解磁気顕微鏡の開発と XFEL 誘起磁気ダイナミクスの解析**, 日本物理学会第 75 回年次大会 (名古屋大学現地開催中止 2020 年 3 月)
- I-12** 鈴木基寛, 西村 渉, 岡部純幸, 近藤啓介, 小倉弓枝, 片山哲夫, 佐藤堯洋, 久保田雄也, 富樫 格, 松田 巖, 田中義人: **XFEL 照射により誘起される希土類鉄ガーネットの超高速磁気ダイナミクス**, 日本物理学会第 75 回年次大会 (名古屋大学現地開催中止 2020 年 3 月)
- III-1** K. Ishikawa: **Pressure effect on hyperfine CPT resonance of ground-state Li atoms in glass hot-vapor cell**, Appl. Phys. B 125, 112(2019)
- III-2** A. Hatakeyama, T. Kuroda, N. Sekiguchi, K. Ishikawa: **Analysis of background gas in an alkali-metal vapor cell coated with paraffin**, Appl. Phys. B 125, 133 (2019)
- III-3** 石川 潔: **リチウム原子基底状態の超微細準位 CPT 共鳴**, 日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学 2019 年 9 月)
- V-1** T. Hasegawa, Y. Okushima, Y. Tanaka: **Coexistence dynamics of terahertz wave emissions in a GaAs nanostructured film**, The 21st International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics (EDISON21), Nara, Japan, July 14-19 (2019)
- V-2** 丸井雅也, 長谷川尊之, 田中義人: **GaAs ナノ構造膜におけるテラヘルツ波放射の内蔵電場依存性**, 第 30 回光物性研究会 (京都大学 2019 年 12 月)
- V-3** 丸井雅也, 長谷川尊之, 田中義人: **GaAs ナノ構造膜の内蔵電場制御によるテラヘルツ波放射の制御**, 応用物理学会 2019 年秋季学術講演会 (北海道大学 2019 年 9 月)
- V-4** 長谷川尊之, 奥島雄大, 田中義人: **光励起分極-格子結合ダイナミクスに基づくサブピコ秒過渡現象からのテラヘルツ波放射**, 日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学 2019 年 9 月)
- VI-1** R. Yoshikado, T. Hasegawa, Y. Tanaka, S. Tsubota, S. Sato: **Photocurrent characteristics of nanostructured thin films consisting of surface-modified silicon nanoparticles**, Journal of Physics: Conference Series, J. Phys. Conf. Ser., 1220, 012048 (2019)

## 大学院物質理学研究科

博士前期課程

- 西村 渉 : X線自由電子レーザー励起による磁性体の高速光学応答の観測  
丸井雅也 : 半導体構造における超高速光励起過渡現象に起因したテラヘルツ波放射  
近藤啓介 : パルス X線照射時の半導体の高速バンドギャップダイナミクスの研究

## 科学研究費補助金等

- 1 日本学術振興会 科学研究費補助金 (令和 1-3 年度) 基盤研究 (B)  
課題番号 19H04397  
研究課題 X線励起による半導体単結晶のバンドダイナミクスの研究  
研究代表者 田中義人
- 2 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 29- 令和 1 年度) 基盤研究 (B)  
課題番号 17H02823  
研究課題 X線自由電子レーザー誘起スピン偏極状態の生成と超高速磁気ダイナミクスの研究  
研究代表者 鈴木基寛  
研究分担者 田中義人
- 3 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 30- 令和 4 年度) 基盤研究 (A)  
課題番号 18H03691  
研究課題 スリッページ制御による自由電子レーザーの短パルス化  
研究代表者 田中隆次  
研究分担者 田中義人
- 4 日本学術振興会 科学研究費補助金 (令和 1 - 令和 4 年度) 基盤研究 (A)  
課題番号 19H00661  
研究課題 共鳴 X線回折による拡張磁気多極子秩序の研究  
研究代表者 田中良和  
研究分担者 田中義人
- 5 平成 30 年度特色化特別プロジェクト (平成 30- 令和 1 年度)  
研究課題 放射光とレーザーの融合による新しいフォトンサイエンス展開のための  
同期照射計測系の開発  
研究代表者 田中義人
- 6 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 30- 令和 2 年度) 基盤研究 (C)  
課題番号 18K03497  
研究課題 異種テラヘルツ過渡現象が共存した半導体結晶からの電磁波放射応答の解明  
研究代表者 長谷川尊之