

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いる。手法としては、ピコ秒・フェムト秒の時間分解能をもつ X 線回折法および光電子分光法に加え、近赤外分光法を取り入れている。対象はシリコン、ヒ化ガリウムといった代表的な半導体単結晶の他、磁性体や構造相転移物質である。当該年度では、SPring-8 および SACLA を用いて、高繰り返しパルスによる時間分解硬 X 線光電子分光法の開発と、それを用いたレーザー励起によるバンドベンディングの時間変化、および 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を調べた。X 線励起近赤外分光では、再生増幅器を用いて高強度化されたフェムト秒レーザーパルスをサファイア結晶に集光することによって広帯域化された光をプローブ光として、SPring-8 の大電流バンチ運転による高強度 X 線パルスを照射したヒ化ガリウム薄膜に対して、近赤外過渡吸収測定を行った。その結果、kHz の繰り返しでの高強度 X 線パルス照射で、過渡的なバンドギャップ変化が観測された。

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.

放射光施設ニュース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準備を進めている。ニュース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、ニュースバルの 500 MHz の基準信号をレーザー装置の近傍まで配線し、分周等を行うことによって、レーザー共振器の通倍に近い周波数を発生させることができた。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小さくなっていることがわかった。また、再生増幅器からの増幅パルスとシングルバンチのタイミングが合っているかを確認するために、実際にシングルバンチ運転を行ったときの電流モニターの信号とレーザートリガー信号のタイミングをオシロスコープ上で確認した。

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、偏極希ガス溶液中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。最近では、GaAs ナノ構造膜を試料として、キャリア輸送過程およびコヒーレントフォノン-プラズモン結合モードによるテラヘルツ電磁波放射の共存特性を試料の内蔵電場の観点から詳細に調べている。

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、半導体レーザーまたは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構築し、塗布膜試料における光電流スペクトルの励起光強度依存性を測定することに成功した。

発表論文 List of Publications

- I-1** M. Oura(RIKEN), H. Osawa(JASRI), K. Tamasaku(RIKEN), K. Tanaka, T. Pincelli(Univ. Milan), J. Fujii(Lab. TASC), G. Panaccione(Lab. TASC), Y. Tanaka: **Picosecond Time-Resolved Hard X-ray Photoelectron System at the 27-m-long Undulator Beamline BL19LXU of SPring-8**, Synchrotron Radiation News **31**, 36-41 (2018)
- I-2** Y. Tanaka, M. Nagashima, K. Tanaka, T. Hasegawa, Y. Fukuyama(JASRI), and N. Yasuda(JASRI): **Time-resolved optical spectroscopy of a GaAs single crystal irradiated by SR X-ray pulses**, AIP Conference Proceedings (SRI2018) **2054**, 040009-1–040009-4 (2019)
- I-3** Y. Tanaka: **Pump-probe study of electron- and lattice-dynamics in semiconductors by using laser and SR X-ray beams**, Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment (LSC2018), Yokohama, Japan, April 25-27 (2018)
- I-4** Y. Tanaka, M. Nagashima, K. Tanaka, T. Hasegawa, Y. Fukuyama(JASRI), and N. Yasuda(JASRI): **Time-resolved optical spectroscopy of a GaAs single crystal irradiated by SR X-ray pulses**, 13th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2018), Taipei, Taiwan, June 10-15 (2018)
- I-5** 山本航平 (東大), 久保田雄也 (JASRI), 平田靖透 (東大), 田久保耕 (東大), 深谷亮 (KEK), 上村洋平 (分子研), 田中健太, 西村渉, 大河内拓雄 (JASRI), 鈴木基寛 (JASRI), 片山哲夫 (JASRI), 富樫格 (JASRI), 玉作賢治 (理研), 矢橋牧名 (JASRI), 田中義人, 関剛斎 (東北大), 高梨弘毅 (東北大), 和達大樹 (東大) : **Pt L 端時間分解 X 線磁気円二色性測定でみる FePt 薄膜の磁化ダイナミクス**, 第 21 回 XAFS 討論会 (北大 2018 年 9 月)
- I-6** K. Yamamoto (Univ. Tokyo) , Y. Kubota(JASRI), Y. Hirata (Univ. Tokyo) , K. Takubo (Univ. Tokyo) , Y. Uemura(IMS), R. Fukaya(KEK), K. Tanaka, A. Nishimura, T. Ohkochi(JASRI), M. Suzuki(JASRI), T. Katayama(JASRI), T. Togashi(JASRI), K. Tamasaku(RIKEN), M. Yabashi(JASRI), Y. Tanaka, T. Seki(Univ. Tohoku), K. Takanashi(Univ. Tohoku), H. Wadachi (Univ. Tokyo) : **Photoinduced magnetization dynamics in FePt thin films studied by time-resolved x-ray magnetic circular dichroism at the Pt L edge**, SACLA Users Meeting 2018, SPring-8 Japan, Sep. (2018)
- I-7** 山本航平 (東大), 久保田雄也 (JASRI), 平田靖透 (東大), 田久保耕 (東大), 上村洋平 (分子研), 深谷亮 (KEK), 田中健太, 西村渉, 大河内拓雄 (JASRI), 鈴木基寛 (JASRI), 片山哲夫 (JASRI), 富樫格 (JASRI), 足立伸一 (KEK), 玉作賢治 (理研), 矢橋牧名 (JASRI), 田中義人, 関剛斎 (東北大), 高梨弘毅 (東北大), 和達大樹 (東大): **Pt L 端時間分解 X 線磁気円二色性測定でみる FePt 薄膜の磁化ダイナミクス**, 日本物理学会 2018 年秋季大会 (同志社大学 2018 年 9 月)

- I-8 吉川尚孝 (東大), 丹羽宏彰 (東大), Dongjoon Song(産総研), 永崎洋 (産総研), 玉作賢治 (理研), 田中義人, 大沢仁志 (JASRI), 久保田雄也 (JASRI), 山本航平 (東大), 山神光平 (東大), 平田靖透 (東大), 和達大樹 (東大), 島野亮 (東大): **時間分解 X 線回折による銅酸化物超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の光励起結晶構造ダイナミクス**, 日本物理学会 2018 年秋季大会 (同志社大学 2018 年 9 月)
- II-1 田中隆次 (理研), 貴田祐一郎 (理研), 金城良太 (理研), 富樫格 (JASRI), 富澤宏光 (JASRI), 橋本智 (高度研), 宮本修治 (高度研), 田中義人: **ニューズバルにおける単一サイクル自由電子レーザー原理実証実験計画**, 日本加速器学会第 15 回年会 (長岡技科大学 2018 年 8 月)
- II-2 近藤啓介, 堀菜摘, 橋本智,(高度研) 宮本修治 (高度研), 富樫格 (JASRI), 富澤宏光 (JASRI), 貴田祐一郎 (理研), 金城良太 (理研), 田中隆次 (理研), 田中義人: **放射光蓄積リングにおけるレーザーシーディングのための同期照射タイミング信号系の設計と整備**, ニューズバルシンポジウム 2019 (イーグレ姫路 2019 年 3 月)
- III-1 石川 潔, 小菌寛: **熱いリチウム蒸気のプッシュプル光ポンピングと超微細周波数シフト**, 日本物理学会 2018 年 秋季大会, 9 月 10 日, 10pA316-4, 京都府京田辺市 (同志社大学).
- V-1 T. Hasegawa: **Characteristics of coherent optical phonons in a hexagonal YMnO_3 thin film**, Applied Sciences, Special issue: Photoinduced Cooperative Phenomena, **9**, 704(15 pages) (2019)
- V-2 長谷川尊之, 奥島雄大, 田中義人: **GaAs ナノ構造膜における内蔵電場に起因した二種テラヘルツ波放射の共存ダイナミクス**, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 (東京工業大学 2019 年 3 月)
- V-3 長谷川尊之: **半導体ナノ構造膜の内蔵電場制御に基づいたテラヘルツ波研究**, Workshop on Quantum Walks (SPring-8 普及棟 2019 年 3 月)
- V-4 長谷川尊之, 奥島雄大, 田中義人: **ビルトイン電場に基づく光励起キャリアのテラヘルツ波放射の解析**, 第 29 回光物性研究会 (京都大学 2018 年 12 月)
- V-5 長谷川尊之, 奥島雄大, 田中義人: **GaAs ナノ構造膜における弱励起条件でのテラヘルツ波放射特性**, 日本物理学会 2018 年秋季大会 (同志社大学 2018 年 9 月)
- V-6 長谷川尊之: **半導体キャリアダイナミクスを介したレーザーからテラヘルツ波への変換プロセス**, 第 30 回光科学異分野横断セミナー (大阪府立大学 2018 年 8 月)
- V-7 T. Hasegawa, Y. Okushima, M. Nakayama(大阪市大), and Y. Tanaka: **Excitation energy dependence of carrier-induced terahertz wave radiation in a GaAs epitaxial film**, The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON2018), Nara, July 8-13 (2018)

- VI-1** R. Yoshikado, T. Hasegawa, Y. Tanaka, S. Tsubota, and S. Sato: **Photocurrent characteristics of nanostructured thin films consisting of surface-modified silicon nanoparticles**, Journal of Physics: Conference Series, **1220**, 012048(4 pages) (2019)
- VI-2** 吉角龍一, 長谷川尊之, 田中義人, 坪田秀平, 佐藤井一: **表面修飾 Si ナノ粒子で形成した構造膜の光電流特性**, 第 29 回光物性研究会 (京都大学 2018 年 12 月)
- VI-3** R. Yoshikado, T. Hasegawa, Y. Tanaka, S. Tsubota, and S. Sato: **Photocurrent characteristics of nanostructured thin films consisting of surface-modified silicon nanoparticles**, The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON2018), Nara, July 8-13 (2018)

大学院物質理学研究科

博士前期課程

- 田中健太 : 高繰り返し光パルス励起状態の半導体における硬 X 線光電子スペクトルのピコ秒時間特性
- 吉角龍一 : 光電流分光法による半導体ナノ粒子薄膜の光励起キャリア輸送に関する研究
- 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

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 (平成 29–31 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
- 2 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 30–34 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
- 3 平成 30 年度特色化特別プロジェクト (平成 30–31 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
- 4 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 28–30 年度) 基盤研究 (B)
課題番号 16H04030
研究課題 気体原子スピン状態を凝縮系へ移す：超偏極セパレータの開発
研究代表者 石川 潔
- 5 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 30–32 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
- 6 池谷科学技術振興財団・単年度研究助成 (平成 30 年度)
研究課題 半導体エピタキシャル構造の温度制御によるテラヘルツ電磁波放射の制御
研究代表者 長谷川 尊之