

Solid State Photophysics

光物性学

I 放射光・レーザー等高輝度ビームを用いた光物性研究

Photophysics using brilliant beam including synchrotron and laser sources

田中義人, 金島圭佑
Tanaka, Y., Kaneshima, K.

無機単結晶を対象とした光励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的として、放射光X線光源の時間特性と高い強度を利用した時間分解X線回折法、過渡分光法等を用いて高速応答を調べている。最近は、可視光励起に対する高速応答に加えて、SACLA で得られる硬X線パルスで励起したときの光学応答、いわば高速X線光物性についての研究を推進している。半導体単結晶を対象とした実験では、高強度X線パルス照射でバンドギャップ付近の複雑なスペクトル形状変化が得られた。また、磁性体については、X線励起時の可視光域でのファラデー回転特性を観測した結果、磁気モーメントの高速ダイナミクスが観測された。これらの結果との比較のために、励起光として可視光域のパルスレーザーを用いた場合のデータの取得を進めた。一方で、X線、可視光の同時搬送できる中空ファイバーシステムの検討を進めた。

II 放射光・レーザー融合によるコヒーレント光源開発

Development of coherent synchrotron source combined with laser

田中義人, 金島圭佑
Tanaka, Y., Kaneshima, K.

放射光施設ニュースバルにて超短パルスコヒーレント光発生法を実証する研究を進めている。フェムト秒パルスレーザーをシード光としてニュースバル蓄積リングに入射し、特定の電子バンチに対してアンジュレーター中で時間的かつ空間的に一致させた。電子バンチがレーザー電場およびアンジュレーター磁場と相互作用することにより生成したマイクロバンチが、下流に設置されたもう一つのアンジュレーター内を通過するときに発生するコヒーレント放射を、分光器付きストリークカメラを用いて観測した。また、パルス幅情報を得るための相互相関器を製作し、コヒーレント放射光とシードレーザーの和周波信号の観測に成功した。

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 放射光 X 線パルスと同期可能な フェムト秒ファイバーレーザーの開発

Development of femtosecond fiber laser systems
synchronizable with synchrotron x-ray pulses

金島 圭佑
Kaneshima, K.

原子核や電子の運動の時間スケールは極めて速く、ピコ秒 (10^{-12} s) からフェムト秒 (10^{-15} s)、そしてアト秒 (10^{-18} s) に及ぶ。これらの織り成すダイナミクスを明らかにするためには、超短パルス光を用いた超高速時間分解分光が有力な手段となる。

本研究では、近年発展著しいファイバーレーザー技術を用いて、容易に持ち運び可能かつ SPring-8 等の放射光パルス X 線源とタイミング同期可能な超短パルスレーザー光源の開発を試みている。放射光とレーザー光を組み合わせた時間分解分光の実現を通じて、物質中で起こる多様な電子ダイナミクスの観測と解明、それらを通じた新材料の開発等に貢献したい。

令和 4 年度は、1. 光ファイバーを用いた増幅器の開発、2. テラヘルツ波の発生・検出システムの開発、3. 光学素子の分散測定装置の開発、を行った。

論文・学会発表 List of Publications

- I-1 T. Hasegawa, M. Marui, Y. Tanaka: **Electric field dependence of terahertz wave emission in temperature-controlled GaAs epitaxial films**, Appl. Phys. Express, **15**, 051001 (2022)
- I-2 Y. Tanaka, K. Kaneshima, N. Yasuda, Y. Fukuyama, K. Yamada, M. Suzuki: **X-ray pump and optical probe experiments for materials science at synchrotron and XFEL facilities**, Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment (LSC2022), Yokohama, April 20-22 (2022)
- I-3 J. Wochnowski, R. Obata, K. Kaneshima, Y. Tanaka: **Highly Flexible Coated Hollow Capillaries for Synchrotron Radiation**, International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2022), Yokohama, April 20-22 (2022)
- I-4 小幡竜世, 久保壮生, 後長葵, 金島圭佑, Joern Wochnowski, 田中義人: **X線伝送用フレキシブルファイバーの伝搬特性評価**, 第 36 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (立命館大学 2023 年 1 月)

- I-5** 山田貴大, 泉瞭, 池渕徹也, 岡部純幸, 久保壮生, 小幡竜世, 小林玲, 久保田雄也, 大河内拓雄, 塩田陽一, 森山貴広, 小野輝男, 松田巖, 富樫格, 田中義人, 鈴木基寛: **Magnetization switching by circularly polarized x-ray free electron laser**, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (上智大学 2023 年 3 月)
- II-1** 貴田祐一郎, 橋本智, 宮本修治, 富樫格, 富澤宏光, 岡部純幸, 後長葵, 金島圭佑, 田中義人, 田中隆次: **単一サイクル FEL 原理実証用超短パルスレーザー光源の開発**, 第 19 回日本加速器学会 (オンライン 2022 年 10 月)
- II-2** 田中義人, 貴田祐一郎, 後長葵, 金島圭佑, 橋本智, 富樫格, 富澤宏光, 田中隆次: **ニュースバルにおけるレーザーシーディング法を用いたコヒーレント短パルス光の発生**, ニュースバルシンポジウム 2023 (イーグレ姫路 2023 年 3 月)
- II-3** 後長葵, 貴田祐一郎, 金島圭佑, 橋本智, 富樫格, 富澤宏光, 水田亮, 水牧仁一朗, 田中隆次, 田中義人: **フェムト秒パルスレーザーシーディングによるコヒーレント光発生とその評価**, ニュースバルシンポジウム 2023 (イーグレ姫路 2023 年 3 月)
- III-1** 石川 潔, 井上真里: **発光検知による基底状態 Li 原子の CPT 暗共鳴の観測**, 日本物理学会 2023 年 春季大会, 24aA1-7 (オンライン 2023 年 3 月)
- III-2** 石川 潔: **光ポンピングしたスピン偏極アルカリ金属原子による精密計測**, レーザー学会第 43 回年次大会, E07-20a-IX-01 (ウインクあいち 2023 年 1 月)
- III-3** Kiyoshi Ishikawa: **Pseudopotential analysis on hyperfine splitting frequency shift of alkali-metal atoms in noble gases, revisited**, J. Chem. Phys. **158**, 084306 (2023)
- III-4** Kiyoshi Ishikawa, Mari Inoue, Mayu Yamamoto: **Emission detection of dark resonance in a dilute lithium atomic vapor**, J. Opt. Soc. Am. B **39**, 2300 (2022)
- III-5** Kiyoshi Ishikawa: **Noble-gas atoms characterized by hyperfine frequency shift of lithium atom**, J. Chem. Phys. **156**, 144301 (2022)
- V-1** K. Kaneshima, T. Minami, T. Kyoda, Y. Tanaka: **Dispersion measurement of an objective lens for ultrafast microscopy**, Opt. Continuum **1**, 1939 (2022).
- V-2** K. Imasaka, Y. Shinohara, T. Kaji, K. Kaneshima, N. Ishii, J. Itatani, K. L. Ishikawa, S. Ashihara: **High harmonic generation from GaSe in a deep-UV range well above the bandgap**, Opt. Continuum **1**, 1232 (2022).
- V-3** M. Kobayashi, Y. Arashida, K. Asakawa, K. Kaneshima, M. Kuwahara, K. Konishi, J. Yumoto, M. Kuwata-Gonokami, J. Takeda, I. Katayama: **Pulse-to-Pulse ultrafast dynamics of highly photoexcited Ge₂Sb₂Te₅ thin films**, Jpn. J. Appl. Phys. **62**, 022001 (2023).

物質科学専攻

博士前期課程

- 久保壮生 : GaAs における過渡吸収スペクトルの光励起強度依存性と高速電子ダイナミクス
- 井上秋津 : 希ガス中の基底状態リチウム原子のコヒーレンス
- 小幡竜世 : X 線伝送用フレキシブルファイバーの伝搬特性評価
- 京田拓己 : 放射光との同期を目指したフェムト秒ファイバーレーザーシステムの開発
- 後長 葵 : レーザーシード型自由電子レーザー光の特性評価法の開発

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 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
- 2 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
- 3 日本学術振興会 学術研究助成基金助成金 (令和 4 – 令和 5 年度) 若手研究
課題番号 22K14620
研究課題 テラヘルツ波と X 線パルスによるサブサイクル時間分解分光の実現に向けた光源開発
研究代表者 金島圭佑