

## Solid State Photophysics

## 光物性学

### I 高輝度放射光・レーザービームを用いた光物性研究

Photophysics using brilliant beams from synchrotron and laser sources

田中義人, 金島圭佑  
Tanaka, Y., Kaneshima, K.

無機材料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光学応答を調べている。最近、可視光励起に対する高速応答に加えて、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、薄膜磁性体において、SACLAでの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。また、X線放射光のハンドリング方法の開発について、複数の中空ガラスファイバー束を用いたX線ビームの分岐法をSPRING-8のアンジュレーター光で試し、独立に出射位置を掃引することができた。

### 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放射光の開発研究を進めている。フェムト秒パルスレーザーをニュースバル蓄積リングの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、相互相関器によりパルス幅を評価した。さらに、アンジュレーターのギャップに勾配をつけたり、実効的な周期数を変えたり、シード光のパルス幅を変えたりすることにより、発生光のコヒーレンス長についての考察を行った。当該年度は、発生光が真空用窓や長い空気中の光路での分散が原因でパルス幅が広がる効果を補償する光学系の設計を行った。

### 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 sources  
synchronized with synchrotron x-ray pulses

金島 圭佑, 田中 義人  
Kaneshima, K., Tanaka, Y.

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進めている。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 6 年度は以下の進展があった：

- これまでの成果をまとめ、論文として発表した。
- 放射光との同期だけでなく、レーザー間の同期に関する実証実験も行った。

## VI 超短パルスレーザーを用いた 超高速光誘起相転移物質の研究とデバイス応用

Study of Ultrafast Photo-Induced Phase Transition Materials  
Using Femtosecond Lasers and Their Applications to Optical Devices

金島 圭佑, 田中 義人  
Kaneshima, K., Tanaka, Y.

電子相関の強い物質では、外部からの光照射によって、絶縁体から金属への相転移がフェムト秒オーダーで誘起されることがある。本研究では、このような光誘起相転移過程を超短パルスレーザーを用いて精密に観測・制御することを目的としている。

令和 6 年度は、二酸化バナジウム ( $\text{VO}_2$ ) を対象として以下の成果を得た：

- スパッタリング装置を用いて、サファイア基板上に  $\text{VO}_2$  薄膜を成膜する技術を確立した。
- 光学測定に対応した試料の温度制御装置を開発した。
- 試料の温度変化に伴う光学的位相応答を検出可能な干渉計測装置を開発した。
- 超短パルスレーザーを用いたポンプ・プローブ分光により、 $\text{VO}_2$  の光誘起相転移に伴うフェムト秒オーダーでの反射率変化を観測した。

## 論文・学会発表 List of Publications

- I-1** Y. Tanaka, A. Gocho, S. Sugeta, T. Takata, S. Kobayashi, S. Sasakura, K. Kaneshima: **SR-laser combination experiments in SPring-8, SACLA, and NewSUB-ARU**, The 5th UOH-FZU-OMU Joint International Symposium on Photocatalysis, Photofunctional Materials, Photon-Science, Nano-Science & Technology, Himeji, November 26-28 (2024).
- I-2** J. Wochnowski, R. Obata, K. Kaneshima, Y. Tanaka: **Highly Flexible Coated Hollow Capillaries for Synchrotron Radiation**, International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2024), Yokohama, April 23-25 (2024).
- I-3** 小林すすみ, 後長葵, 高田匠, 笹倉颯太, 金島圭佑, 田中義人: **ファイバー光学系を用いた X 線ビームの分岐法の開発**, 第 38 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (つくば国際会議場 2025 年 1 月)
- I-4** K. Yamada, R. Kobayashi, I. Sugiura, Y. Kubota, A. Gocho, Y. Akiyama, K. Take-mura, S. Sasakura, K. Kaneshima, T. Ohkouchi, I. Matsuda, T. Ono, T. Togashi, Y. Tanaka, M. Suzuki: **X-ray helicity-dependent ultrafast demagnetization in a Pt/Co/Pt multilayer**, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会 (朱鷺メッセ 2024 年 9 月)
- II-1** 後長葵: **ニュースバルにおけるフェムト秒レーザーシード型コヒーレント放射光の特性評価**, 2024 年度ビーム物理研究会、若手の会 (関西光量子科学研究所 (木津地区) 2025 年 3 月)
- III-1** 石川 潔: **希ガス原子と衝突する中性常磁性原子の超微細分裂周波数**, 日本物理学会 2025 年 春季大会, 19aA1-13 (オンライン 2025 年 3 月)
- III-2** Kiyoshi Ishikawa: **Collisional shifts of hyperfine resonances of ground-state atoms calculated with modified pseudopotential and orthogonalization**, Appl. Phys. B **130**, 71 (2024)
- V-1** K. Kaneshima, T. Kyoda, S. Sugeta, Y. Tanaka: **Development of a portable and cost-effective femtosecond fibre laser synchronizable with synchrotron X-ray pulses**, Journal of Synchrotron Radiation **31**, 821 (2024).
- V-2** T. Kyoda, S. Sugeta, Y. Tanaka, K. Kaneshima: **Portable femtosecond fiber laser system synchronizable with synchrotron X-ray pulses**, The 13th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS2024), Yokohama, Japan, April (2024).

## 物質科学専攻

### 博士後期課程

後長 葵 : ニュースバルにおけるフェムト秒レーザーシード型コヒーレント放射光の特性評価

### 博士前期課程

菅田秀太 : 二酸化バナジウムの光誘起相転移に伴う過渡的な位相変化の時間分解測定

高田 匠 : 半導体バンドギャップ近傍における広帯域光励起状態の分光学的研究

小林すずみ : 中空ガラスファイバーにおけるX線パルス光の伝搬特性

笹倉颯太 : フェリ磁性体におけるフェムト秒可視光パルス励起時の磁気ダイナミクスの観測

## 科学研究費補助金等

### 1 公益財団法人 泉科学技術振興財団 研究助成

課題番号 2024-J-089

研究課題 光誘起相転移に伴う位相特性変化の評価と  
超高速光スイッチングデバイスへの応用

研究代表者 金島圭佑