

## 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。これらの結果をもとに、X線励起に特徴的な高速の電子状態変化、スピンドイナミクスについて考察した。

### 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を目指した研究を進めている。フェムト秒パルスレーザー光を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することに成功した。

### 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3年度は、1. エルビウム添加ファイバーを用いたモード同期発振器の開発、2. フェムト秒パルス光のパルス幅測定装置の開発、3. 圧電素子を用いたタイミング同期システムの開発、4. 各種光学素子の分散測定装置の開発、を行った。

## 発表論文 List of Publications

- I-1** T. Gejo, T. Nishie, T. Nagayasu, K. Tanaka, Y. Tanaka, A. Niozu, K. Nagaya, R. Yamamura, N. Futamata, T. Suenaga, O. Takahashi, T. Togashi, S. Owada, H. Fujise, A. Verna, M. Yabashi, M. Oura: **Dissociation and ionization dynamics of CF<sub>3</sub>I and CH<sub>3</sub>I molecules via pump-and-probe experiments using soft X-ray free-electron laser**, Journal of Physics B: At. Mol. Opt. Phys., **54** 144004 (2021)
- I-2** 泉 瞭, 鈴木基寛, 久保田雄也, 宮西宏併, 富樫格, 大河内拓雄, 松田巖, 山田貴大, 田中義人, 岡部純幸, 久保壮生, 和田哲弥, 鷺尾真史, 鷺見寿秀: **可視光プローブ時間分解磁気顕微鏡の開発と XFEL 誘起高速磁気ダイナミクスの解析**, 第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン 2022 年 1 月)
- I-3** 鈴木基寛, 泉 瞭, 岡部純幸, 久保壮生, 堀尾真史, 鷺見寿秀, 和田哲弥, 久保田雄也, 宮西宏併, 富樫格, 松田巖, 大河内拓雄, 山田貴大, 田中義人: **XFEL 照射によって誘起されるフェムト秒磁気ダイナミクス**, 第 35 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン 2022 年 1 月)
- III-1** 石川 潔, 黒澤香澄: **希ガスによる電子の散乱と Li 原子の超微細分裂周波数**, 日本物理学会 2022 年 年次大会, 17pE22-1 (オンライン 2022 年 3 月)
- III-2** Kiyoshi Ishikawa, **Noble-gas performance for lithium atomic spectroscopy in glass vapor cells**, Appl. Phys. B **128**, 7 (6 pages) (2022)
- III-3** Kiyoshi Ishikawa, **High-temperature Li atomic magnetometry by symmetric hyperfine CPT resonances**, J. Opt. Soc. Am. B **38**, 2155-2159 (2021)
- V-1** T. Sekikawa, K. Ito, E. Haraguchi, K. Kaneshima: **Circularly polarized high harmonic generation for probing molecular chirality**, in Progress in Ultrafast Intense Laser Science XVI, edited by K. Yamanouchi et al. (Springer Cham, 2021), pp. 129-148

## 物質科学専攻

### 博士前期課程

- 泉 瞭 : 時間分解偏光顕微鏡による XFEL 誘起高速磁気ダイナミクスの研究
- 岡部純幸 : ニュースバルにおけるレーザー・アンジュレーター光同期照射系の開発とその評価
- 久保壮生 : パルス光照射時の半導体の高速バンド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-令和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
- 3 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
- 4 日本学術振興会 科学研究費補助金 (令和2-令和7年度) 基盤研究(S)  
課題番号 20H05662  
研究課題 位相制御近接場によるハイブリッド極限時空間分光の開拓  
研究代表者 武田淳  
研究分担者 金島圭佑
- 5 日本学術振興会 学術研究助成基金助成金 (令和1-令和3年度) 若手研究  
課題番号 19K15460  
研究課題 時間分解高次高調波分光法の高度化：超高速光化学反応の完全解明に向けて  
研究代表者 金島圭佑