

## 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。最近は、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、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。当該年度では、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重点的に行った。また、中空ガラスファイバーを用いてX線・可視光レーザーパルスの同時搬送に成功し、ファイバー伝搬中に生じる非線形光学現象において、X線導入の影響が観測された。

### 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。

### 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 5 年度は、1. 放射光との同期を達成するための信号処理システムの開発、2. 実際に放射光施設にレーザーを持ち込み、放射光と同期させた状態での性能評価を行った。

### 論文・学会発表 List of Publications

- I-1 T. Tanaka, Y. Kida, S. Hashimoto, S. Miyamoto, T. Togashi, H. Tomizawa, A. Gochi, K. Kaneshima, Y. Tanaka: **Experimental demonstration to control the pulse length of coherent undulator radiation by chirped microbunching**, Phys. Rev. Lett., **131**, 145001 (2023)
- I-2 M. Suzuki, A. Izumi, K. Yamada, K. Kaneshima, R. Kobayashi, Y. Kubota, T. Togashi, T. Ohkochi, I. Matsuda, Y. Tanaka: **Ultrafast Magnetization Dynamics Induced by Irradiation of Circularly Polarized X-ray Free-Electron Laser**, MRM2023/IUMRS-ICA2023, Kyoto, Dec. 11-16 (2023)
- I-3 田中義人: **X 線用中空ファイバー光学系の開発と放射光実験への応用の展望**, 自然科学研究機構先端光科学研究分野プロジェクト研究会, 放射光の量子性・干渉性に基づく革新的計測手法の探索 (岡崎コンファレンスセンター 2023 年 11 月)

- I-4** 小林玲, 山田貴大, 吉川大貴, 小幡竜世, 後長葵, 金島圭佑, 富樫格, 久保田雄也, 塚本新, 田中義人, 鈴木基寛: 円偏光 XFEL 励起によるフェリ磁性体 GdFeCo のフェムト秒磁気ダイナミクス, 第 37 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (アクリエ姫路 2024 年 1 月)
- II-1** Y. Tanaka, Y. Kida, A. Gocho, K. Kaneshima, T. Togashi, H. Tomizawa, S. Hashimoto, T. Tanaka: **Coherent short pulse generation by femtosecond laser seeding at NewSUBARU**, Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment (LSC2023), Yokohama, April 19-21 (2023)
- II-2** 後長葵, 金島圭佑, 田中義人, 貴田祐一郎, 橋本智, 田中隆次: ニュースバルにおける時間同期系開発とフェムト秒パルスレーザーシーディング, 第 20 回日本加速器学会 (日本大学理工 2023 年 8 月)
- II-3** 田中隆次, 貴田祐一郎, 橋本智, 宮本修治, 富樫格, 富澤宏光, 後長葵, 金島圭佑, 田中義人: 単一サイクル自由電子レーザー発振を可能とする基本原理の実証, 第 20 回日本加速器学会 (日本大学理工 2023 年 8 月)
- II-4** 後長葵, 貴田祐一郎, 金島圭佑, 橋本智, 田中隆次, 田中義人: 超短パルス光源開発に向けた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, ニュースバルシンポジウム 2024 (アクリエ姫路 2024 年 3 月) (学生ポスター賞)
- III-1** 石川 潔: 希ガス原子と極性二原子分子による基底状態 Li 原子のデコヒーレンス, 日本物理学会 2024 年 春季大会, 20aA2-12 (オンライン 2024 年 3 月)
- III-2** Kiyoshi Ishikawa: **Flying characterization of colliding partners by hyperfine splitting frequency of neutral paramagnetic atoms,** J. Chem. Phys. **159**, 064303 (2023)
- III-3** Kiyoshi Ishikawa, Mayu Yamamoto: **Ground-state decoherence of lithium atoms by diatomic polar molecules and noble-gas atoms,** Appl. Phys. B **129**, 113 (2023)

## 物質科学専攻

### 博士前期課程

- 小幡竜世 : 中空ガラスファイバーにおける X 線・近赤外パルス光の同時伝搬特性
- 京田拓己 : 放射光と同期可能なフェムト秒ファイバーレーザーシステムの開発と評価
- 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
- 菅田秀太 : 二酸化バナジウムの金属-絶縁体転移過程の超高速分光
- 高田 匠 : フェムト秒パルスレーザー励起時の半導体の近赤外過渡吸収スペクトルの励起特性

## 科学研究費補助金等

- 1 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