

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、近赤外分光法も取り入れている。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大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大強度 X 線パルス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 の繰り返しでの大強度 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 フェムト秒レーザー分光装置の整備と開発

Development of femtosecond laser spectrometer

田中義人
Tanaka, Y.

フェムト秒チタンサファイアレーザーの再生増幅器の設置を行い、繰り返し 1 kHz でパルスエネルギー 0.6 mJ の出力が得られるよう調整した。また、パルス幅を計測できるように、シングルショットオートコリレーターを自作し、パルス幅が約 150 fs であることを確認した。さらに、このレーザーシステムによるポンプ・プローブ分光システムの開発を行った。再生増幅器の出力をビームスプリッターにより 2 系統に振り分け、ポンプ光路には光学遅延を設置し、プローブ光路側にはサファイア結晶に集光して広帯域化する光学系を設置した。光学遅延は、1 ns 程度まで遅延が達成できるよう複数回ビームが往復する方式を採用し製作した。また、プローブ光は、ヒ化ガリウムのバンドギャップ近傍の吸収スペクトルの形状が計測できる範囲をカバーできるよう調整を行った。このポンプ・プローブシステムを用いてヒ化ガリウム薄膜に対して近赤外過渡吸収測定を行い、フェムト秒分光システムの実証を行った。

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 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、励起条件を反映して、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し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。現在では、GaAs ナノ構造膜を主対象として、キャリア輸送過程およびコヒーレントフォノン・プラズモン結合系のテラヘルツ電磁波放射応答を詳細に調べている。

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。現在では、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、塗布膜試料の光電流スペクトルを精密に測定している。

発表論文 List of Publications

- I-1** 木村彩人, 田中義人, 長谷川尊之, 高阪勇輔, 大隅寛幸: **光渦によるカイラル結晶構造への歪導入**, 応用物理学会第78回学術講演会 (福岡国際会議場 2017年9月)
- I-2** 大隅寛幸, 高阪勇輔, 田中義人, 長谷川尊之, 木村彩人: **カイラル磁性体への光渦照射効果の走査型X線顕微鏡観察**, 日本物理学会2017年秋季大会 (岩手大学 2017年9月)
- I-3** A. Verna, G. Greco, V. Lollobrigida, F. Offi, L.-P. Oloff, Y. Tanaka, G. Panaccione, M. Oura, G. Stefani: **Space-charge effects in time-resolved photoelectron spectroscopy with free-electron laser radiation**, FisMat2017 (Trieste, Italy, Oct. 2017)
- I-4** 田中義人: **高輝度放射光X線を用いた半導体光物性研究 -高速光歪効果とX線励起分光特性-**, 多重極限物質科学研究センター研究発表会 (姫路市民会館 2018年1月)
- I-5** 永島麻紀, 田中健太, 福山祥光, 安田伸広, 長谷川尊之, 田中義人: **放射光パルスX線照射下のGaAs単結晶の時間分解近赤外分光** 第31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 2018年1月)
- I-6** 大隅寛幸, 高阪勇輔, 木村彩人, 長谷川尊之, 田中義人: **走査型X線顕微鏡によるB20型不斉結晶のカイラリティドメイン観察** 第31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 2018年1月)
- I-7** 松波雅治, 大浦正樹, A. Chainani, L.-P. Oloff, 藤森伸一, 田中義人, 松下龍樹, 白石龍太郎, 富樫格: **時間分解硬X線光電子分光による重い電子系における価数転移・価数揺動現象の動的観測**, SPring-8/SACLA 利用研究成果集, 早期公開既公開版 (2018)
- I-8** 山本航平, 久保田雄也, 平田靖透, 田久保耕, 上村洋平, 田中健太, 西村渉, 大河内拓雄, 鈴木基寛, 片山哲夫, 富樫格, 玉作賢治, 矢橋牧名, 田中義人, 関剛斎, 高梨弘毅, 和達大樹: **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65回応用物理学会 春季学術講演会 (早稲田大学 2018年3月)
- III-1** N. Sekiguchi, T. Sato, K. Ishikawa, and A. Hatakeyama: **Spectroscopic study of a diffusion-bonded sapphire cell for hot metal vapors**, Applied Optics **57**, 52-56 (2018)
- IV-1** K. Ishikawa: **Vapor pressure of alkali-metal binary alloys in glass cells**, Calphad **59**, 40-46 (2017)
- V-1** T. Hasegawa, N. Fujimura(阪府大), and M. Nakayama(阪市大): **Ultrafast dynamics of coherent optical phonon correlated with the antiferromagnetic transition in a hexagonal YMnO₃ epitaxial film**, Appl. Phys. Lett. **111**, 192901 (2017)

- V-2 奥島雄大, 長谷川尊之, 中山正昭 (阪市大), 田中義人: **GaAs エピタキシャル構造における二種類の THz 現象共存下での電磁波放射応答**, 日本物理学会 2017 年秋季大会 (岩手大学 2017 年 9 月)
- V-3 長谷川尊之, 小島磨 (神戸大): **GaAs 量子井戸における励起子スペクトルに基づいた量子ビートダイナミクスの解析**, 日本物理学会 2017 年秋季大会 (岩手大学 2017 年 9 月)
- V-4 奥島雄大, 長谷川尊之, 中山正昭 (阪市大), 田中義人: **GaAs エピタキシャル構造におけるキャリア輸送と縦光学フォノン-プラズモン結合モードに由来したテラヘルツ電磁波放射の比較解析**, 第 28 回光物性研究会 (神戸大学 2017 年 12 月)
- V-5 長谷川尊之, 小島磨 (神戸大): **励起子スペクトルによる量子ビートの電場効果の解析**, 第 28 回光物性研究会 (神戸大学 2017 年 12 月)
- V-6 長谷川尊之: **半導体ナノ構造膜から放射されるテラヘルツ波の光計測**, 第 23 回異分野融合若手研究者 Science and Technology クラブ (姫路じばさんびる 2018 年 1 月)
- V-7 長谷川尊之, 奥島雄大, 中山正昭 (阪市大), 田中義人: **電子過剰エネルギーによる GaAs エピタキシャル構造からのテラヘルツ電磁波放射の制御**, 日本物理学会第 73 回年次大会 (東京理科大学 2018 年 3 月)
- VI-1 吉角龍一, 長谷川尊之, 田中義人, 田中一生, 名古屋渉, 佐藤井一: **表面修飾されたシリコンナノ粒子で形成される薄膜の光学的・電気的特性**, 日本物理学会第 73 回年次大会 (東京理科大学 2018 年 3 月)

大学院物質理学研究科

博士前期課程

- 木村彩人 : 光渦ビームを用いた物質構造の光誘起制御
 永島麻紀 : 半導体における X 線励起分光計測
 奥島雄大 : テラヘルツ波を用いた半導体物性研究
 上田忠彌 : 放射光時間分解光電子分光計測
 田中健太 : 螺旋構造体におけるベクトルビームの透過特性
 吉角龍一 : シリコン薄膜素子における光電流応答特性

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
 研究分担者 田中義人 (代表者 鈴木基寛)
- 2 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