

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・石川 潔・長谷川尊之
Tanaka, Y., Ishikawa K., Hasegawa, T.

放射光 X 線光源の時間特性と高い強度を利用して、主に無機単結晶を対象とした高速構造ダイナミクスとその光物性についての研究を進めている。手法としては、ピコ秒・フェムト秒の時間分解能をもつ X 線回折法と、可視光の反射率・透過率測定法の同時測定を目指している。対象は半導体単結晶の他、磁性体や構造相転移物質である。当該年度では、SPring-8 にて時間分解 X 線計測を行い、半導体単結晶における光誘起過渡歪みの、深さ方向の不均一性について知見を得ることができた。また、可視域の同時分光計測については、研究室にフェムト秒レーザー発振器を整備し、これを非線型フォトニックファイバーに導入することによって広帯域パルス光発生を行った。また、ピコ秒半導体レーザーの時間同期特性の評価、および可搬型分光装置の評価を行うなど、測定系の要素開発を行った。

II X 線ファイバー光学系の開発

Development of X-ray fiber optics

田中義人・石川 潔・長谷川尊之
Tanaka, Y., Ishikawa K., Hasegawa, T.

X 線領域の新しい光学系として、光ファイバーに相当する X 線ビーム伝搬素子、すなわち、X 線ファイバーの開発を進めている。X 線ファイバーが実現すれば、放射光 X 線を、試料上に、所望の位置、角度、タイミングでより簡便に照射して測定できる。これまでに、中空のガラス管に放射光 X 線を通して、基礎的なデータを取得し、X 線ビームの方向を変えたり、ビーム軸をシフトさせたりするデモ実験を行ってきた。今年度は、X 線ファイバーを曲げることによって、X 線パルスの到達時間がどう変化するか、また分散によるパルス長の広がり等について定量的な検討を行い、実現可能なファイバーのサイズ設計と、その曲げ機構についての検討および試作を行った。

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 半導体微小光共振器の偏光変調分光

Polarization modulation spectroscopy of semiconductor microcavities

長谷川尊之・田中義人
Hasegawa, T., Tanaka, Y.

半導体微小光共振器は、2枚の平行な反射鏡の間に半導体を挿入したマイクロメートルサイズの構造体である。共振器内では、光と励起子（光励起電子-正孔ペア）の混成状態である共振器ポラリトンが形成され、新奇な光物性が発現する。近年では、酸化亜鉛（ZnO）を挿入した微小光共振器が、応用の観点から特に注目を集めている。一方、ZnO微小光共振器では、ZnOの価電子帯バンド構造を反映して、複雑な共振器ポラリトン構造が形成されるという特徴がある。そこで我々は、ZnO微小光共振器中の共振器ポラリトン状態を精密に観測するために、共振器ポラリトンに対して高感度な偏光変調反射分光法を開発した。また、観測されるスペクトルの形状解析手法を確立した。その結果、共振器ポラリトンのエネルギー分散を、これまで実現されていない全領域において求めることができた。さらには、ZnO特有の光学遷移の異方性が、共振器ポラリトン状態に影響を及ぼすことを明らかにした。

VI 半導体ナノ・マイクロ構造の超高速光学応答

Ultrafast optical responses in semiconductor nano-micro structures

長谷川尊之
Hasegawa, T.

半導体ナノ・マイクロ構造は、その構造要素によって、電子状態を幅広く制御できるため、光電子デバイス分野の発展に重要な役割を果たしてきた。本研究は、フェムト秒の超高速分光法を駆使して、半導体ナノ・マイクロ構造特有の超高速光学応答の解明と、超高速光機能性の発見を目的としている。実験では、多層膜構造、量子井戸、量子ドットを試料として、光励起状態の時間発展を、ポンプ・プローブ計測およびテラヘルツ電磁波計測により調べている。最近の研究から、光学応答と電子輸送過程が、フェムト秒領域において密接に関連することを見出した。そこで、試料構造や励起条件を系統的に変化させた精密な実験を行い、その詳細を包括的に調べた。

発表論文 List of Publications

- I-1** M. Newton, M. Sao, Y. Fujisawa, R. Onitsuka, T. Kawaguchi, K. Tokuda, T. Sato, T. Togashi, M. Yabashi, T. Ishikawa, T. Ichitsubo, E. Matsubara, Y. Tanaka, Y. Nishino: **Time-Resolved Coherent Diffraction of Ultrafast Structural Dynamics in a Single Nanowire**, Nano Lett., **14**, 2413-2418 (2014)
- I-2** M. Oura, L.-P. Oloff, A. Chainani, K. Rossnagel, M. Matsunami, R. Eguchi, T. Kiss, T. Yamaguchi, Y. Takatani, J. Miyawaki, K. Yamagami, M. Taguchi, T. Togashi, T. Katayama, K. Ogawa, M. Yabashi, T. Gejo, K. Myojin, K. Tamasaku, Y. Tanaka, T. Ishikawa: **Electron dynamics probed by time-resolved hard X-ray photoelectron spectroscopy**, Trans. Mat. Res. Soc. Jpn., **39**, 469-473 (2014)
- I-3** A. D. Scott, V. Pelmenschikov, Y. Guo, L. Yan, H. Wang, S. J. George, C. H. Dapper, W. E. Newton, Y. Yoda, Y. Tanaka, S. P. Cramer: **Structural characterization of CO-inhibited Mo-nitrogenase by combined application of nuclear resonance vibrational spectroscopy, extended X-ray absorption fine structure, and density functional theory: new insights into the effects of CO binding and the role of the interstitial atom**, J Am Chem Soc., **136**(45), 15942-15954 (2014)
- I-4** T. Inada, , Y. Yamaji, S. Adachi, T. Namba, S. Asai, T. Kobayashi, K. Tamasaku, Y. Tanaka, Y. Inubushi, K. Sawada, M. Yabashi, T. Ishikawa: **Search for Photon-Photon Elastic Scattering in the X-ray Region**, Phys. Lett. B, **732**, 356-359 (2014)
- I-5** L. Lauterbach, H. Wang, M. Horch, L. B. Gee, Y. Yoda, Y. Tanaka, I. Zebger, O. Lenz, S. P. Cramer: **Nuclear resonance vibrational spectroscopy reveals the FeS cluster composition and active site vibrational properties of an O₂-tolerant NAD⁺-reducing [NiFe] hydrogenase**, Chem. Sci. **6**, 1055-1060 (2015)
- I-6** Y. Tanaka: **Time-resolved X-ray diffraction for phase change materials**, IUMRS-ICA2014, Fukuoka, Japan, August 25-27 (2014)
- I-7** Y. Tanaka: **Time-resolved X-ray Diffraction Experiment on Crystal Lattice Dynamics Using Optical Laser and Accelerator-based X-ray Source**, Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment (LSC2014), Yokohama, Japan, April 23-24 (2014)
- I-8** 田中義人、松原英一郎、西野吉則: **時間分解X線回折法によるレーザー超音波発生過程の研究**, 非破壊検査, Vol. 63, No.4 , pp.170-177 (2014)
- I-9** 田中義人: **放射光時間分解X線回折法を用いた高速相変化材料の動的構造測定**, SPRUC 高分子科学研究会 (SPring-8 2014年7月)

- I-10 田中義人: 放射光時間分解 X 線回折法と光誘起構造ダイナミクスの研究, 第 59 回物性若手夏の学校, 集中ゼミ (浜松 2014 年 8 月)
- I-11 Ryutaro Shiraishi, Ryuki Matsushita, Ryo Kishimoto, Takayuki Hasegawa, Kiyoshi Ishikawa, and Yoshihito Tanaka: **Observation of photo-induced lattice dynamics of Si with time-resolved x-ray diffraction**, The 4nd Short-term Student Exchange Program, Aug. 21-24, 2014, Dong-A University, Korea
- I-12 松波雅治、A. Chainani、田口宗孝、大浦正樹、辛 埴、羽尻哲也、木村真一、玉作賢治、田中義人、石川哲也、海老原孝雄、松川周矢、中山美佳、井村敬一郎、出口和彦、佐藤憲昭、田中克昌、石政 勉: 価数揺動を示す準結晶・近似結晶の光電子分光, 日本物理学会 2014 年秋季大会 (中部大学 2014 年 9 月)
- I-13 山道智博、稲田聡明、山崎高幸、難波俊雄、浅井祥仁、小林富雄、玉作賢治、田中義人、犬伏雄一、澤田 桂、矢橋牧名、石川哲也、高橋忠幸、渡辺伸、佐藤悟朗: **SPring-8/SACLA** における光子光子散乱の探索, 日本物理学会 2014 年秋季大会 (佐賀大学 2014 年 9 月)
- I-14 稲田聡明、山崎高幸、難波俊雄、浅井祥仁、小林富雄、田中義人、玉作賢治、澤田 桂、矢橋牧名、石川哲也、犬伏雄一、金道浩一、鳴海康雄、野尻浩之: **SPring-8/SACLA** におけるパルス強磁場を用いた弱結合未知粒子の探索 I, 日本物理学会 2014 年秋季大会 (佐賀大学 2014 年 9 月)
- I-15 山崎高幸、稲田聡明、難波俊雄、浅井祥仁、小林富雄、田中義人、玉作賢治、澤田 桂、矢橋牧名、石川哲也、犬伏雄一、金道浩一、鳴海康雄、野尻浩之: 「**SPring-8/SACLA** におけるパルス強磁場を用いた弱結合未知粒子の探索 II, 日本物理学会 2014 年秋季大会 (佐賀大学 2014 年 9 月)
- I-16 松下龍樹、白石龍太郎、岸本 良、石川 潔、長谷川尊之、田中義人: 半導体単結晶のピコ秒格子歪みの観測と光学反射率同時測定装置の開発, 第 28 回日本放射光学会年会 (立命館大 2015 年 1 月)
- I-17 西森一喜、Marcus Newton、小川 奏、富樫 格、矢橋牧名、河口智也、境田真志、高橋 功、市坪 哲、松原英一郎、西野吉則、田中義人: **Si** 単結晶薄膜におけるピコ秒格子歪み分布の解析, 第 28 回日本放射光学会年会 (立命館大 2015 年 1 月)
- I-18 加藤健一、笠井秀隆、田中義人、山内美穂、高田昌樹: **In Situ** 回折・全散乱のためのギャップレス MYTHEN 検出器, 第 28 回日本放射光学会年会 (立命館大 2015 年 1 月)
- I-19 大隅寛幸、高田昌樹、鈴木基寛、田中義人、長谷川尊之、白石龍太郎、松下龍樹、鳥本直隆、川瀬里美、西尾 篤、有馬孝尚、山浦淳一、廣井善二: $\text{Cd}_2\text{Os}_2\text{O}_7$ における逆ファラデー効果の共鳴 X 線磁気散乱による検出, 日本物理学会第 70 回年次大会 (早稲田大学 2015 年 3 月)

- II-1** 田中義人、持箸 晃、西森一喜、高橋 功、澤田 桂、畠中雄飛、白石龍太郎、松下龍樹、石川 潔、長谷川尊之: **ファイバー光学系を用いたX線パルスの時間遅延制御**, 第28回日本放射光学学会年会 (立命館大 2015年1月)
- III-1** K. Ishikawa: **Hyperpolarized cesium ions doped in a glass material**, J. Magnetic Resonance, **249**, 94-99 (2014)
- III-2** 石川 潔: **核スピン偏極した熔融 Cs 塩の温度掃引 NMR 計測**, 日本物理学会 2014年 秋季大会 (中部大学 2014年9月)
- V-1** 岸本 良: **半導体微小光共振器の偏光変調分光**, 第3回多重極限物質科学研究センター研究発表会 (兵庫県立大学理学部 2014年12月)
- V-2** 岸本 良、長谷川尊之、田中義人、川瀬稔貴、金 大貴、中山正昭: **偏光変調反射分光法による酸化亜鉛微小共振器中のポラリトン状態の観測 II**, 日本物理学会 2014年 秋季大会 (中部大学 2014年9月)
- VI-1** T. Hasegawa, H. Takeuchi, H. Yamada, M. Hata, and M. Nakayama: **Ultrafast optical responses caused by nonequilibrium transport process of carriers in GaAs epitaxial structures**, International Symposium on Recent Progress of Photonic Devices and Materials, Kobe, Japan, November 13-14 (2014)
- VI-2** 長谷川尊之、竹内日出雄、山田 永、秦 雅彦、中山正昭: **GaAs エピタキシャル構造中のキャリア輸送を利用した超高速光応答の制御**, 第62回応用物理学会春季学術講演会 (東海大学 2015年3月)
- VI-3** 長谷川尊之: **GaAs エピタキシャル構造におけるキャリア輸送過程に起因した超高速光応答**, 理学部物理学科セミナー (千葉大学 2014年10月)
- VI-4** 長谷川尊之、竹内日出雄、山田 永、秦 雅彦、中山正昭: **アンドープ GaAs/n 型 GaAs エピタキシャル構造における非平衡キャリア輸送のポンプ・プローブ分光**, 日本物理学会 2014年 秋季大会 (中部大学 2014年9月)
- VI-5** 長谷川尊之: **GaAs エピタキシャル層構造におけるキャリア輸送過程に起因した超高速光応答**, 理学部セミナー (兵庫県立大学 2014年5月)

大学院物質理学研究科

博士前期課程

- 岸本 良 : 偏光変調分光法による ZnO 微小光共振器の光反射応答に関する研究
 松下龍樹 : 放射光を用いた時間分解 X線回折法と光学特性に関する研究

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 (平成25-27年度) 基盤研究(B)
課題番号 25286092
研究課題 X線波束の異常シフト現象を利用した光学素子開発とベリ一位相項の可視化研究
研究代表者 香村芳樹
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 (平成25-27年度) 基盤研究(B)
課題番号 25286040
研究課題 磁性原子3D中距離局所構造解析による室温強磁性半導体の機能発現の研究
研究代表者 林好一
研究分担者 田中義人
- 3 (公) 兵庫県立大学特別研究助成金 先導的プロジェクト研究 (平成26年度)
研究課題 放射光時間分解X線回折測定における光学特性観測装置の開発
研究代表者 田中義人
- 4 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成25-27年度) 挑戦的萌芽研究
課題番号 25610115
研究課題 レーザー偏極原子を使った精密計測のためのスピン緩和抑制
コーティングの開発
研究代表者 石川 潔
- 5 (公財) カシオ科学振興財団, 第31回研究助成 (平成25-26年度)
研究課題 超高速光電子デバイス応用に向けた半導体エピタキシャル構造の非平衡
キャリア輸送に関する研究
研究代表者 長谷川尊之