

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・近赤外光の反射率・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、主に 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過渡的な光歪効果の観測を行った。また、可視・近赤外域の時間分解分光計測については、モードロックチタンサファイアレーザー発振器からのフェムト秒パルスを用いて非線型フォトニック結晶ファイバーに導入することによってスペクトルの広帯域化を行い、これを用いて薄膜のシリコンおよびヒ化ガリウムの吸収スペクトルの評価を行った。

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 線ファイバーの曲率を一定にして制御できる機構を製作し、X 線ファイバーの透過率の曲げ角依存性について、SPring-8 のアンジュレーター光を用いて定量評価を行った。

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・マイクロ構造の超高速キャリア輸送

Ultrafast carrier transport in semiconductor nano-micro structures

長谷川尊之
Hasegawa, T.

半導体におけるサブピコ秒 ($10^{-14} \sim 10^{-13}$ 秒) 領域の電子輸送プロセスは、電子の速度やエネルギーの非平衡性を反映して、複雑な挙動を示す。一方、この時間スケールの輸送特性は、テラヘルツ帯の超高速デバイスの性能に密接に関係している。本研究は、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試料とし、構造特有のサブピコ秒キャリア輸送プロセス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、超短パルスレーザーを光源としたポンプ・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、主に内蔵電場を有するヒ化ガリウム多層膜構造を対象に実験を行っている。また、テラヘルツ電磁波波形を定量的に測定するために、検出系の改良を進めている。

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
Hasegawa, T.

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、ナノ粒子の粒径や終端基などの制御によって、多様な電子輸送プロセスが発現することが期待される。本研究は、シリコンナノ粒子の塗布膜を様々な条件下で作製し、精密な光電流スペクトルの測定から、光励起電子の生成効率および輸送プロセスを明らかにすることを目的としている。現在までに、塗布膜試料の作製方法を検討し、光電流の発生を確認している。また、高分解能かつ広帯域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が測定可能であることを確認している。

発表論文 List of Publications

- I-1 H. Wang, Y. Yoda, H. Ogata, Y. Tanaka, W. Lubitz: **A strenuous experimental journey searching for spectroscopic evidence of a bridging nickel-iron-hydride in [NiFe]-hydrogenase**, *J. Synchrotron Rad.*, **22**, 1334-1344 (2015)
- I-2 A. Chainani, M. Oura, M. Matsunami, A. Ochiai, T. Takahashi, Y. Tanaka, K. Tamasaku, Y. Kohmura, T. Ishikawa: **Electronic structure of LaTe and CeTe**, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*,
doi:10.1016/j.elspec.2015.11.013
- I-3 田中義人：大型施設での物理実験あれこれ，先生、物理っておもしろいんですか？，ISBN-10:4621089242, 丸善出版 (2015年5月)
- I-4 田中義人：放射光時間分解X線回折法：高速構造ダイナミクス，第53回化合物新磁性材料専門研究会、(東京大学 2015年7月)
- I-5 田中義人：高輝度X線光源を用いた無機単結晶の高速時間分解X線回折測定，平成27年度日本結晶学会年会及び総会，(大阪府立大学 2015年10月)
- I-6 田中義人：放射光・XFEL・レーザーを用いた時間分解実験の取り組み，H27年度 大学放射光利用 播磨報告会，(姫路 2016年2月)
- I-7 田中義人：時間分解X線回折法を用いた光物性研究とその展望，豊田理化学研究所特定課題研究「マルチプローブ融合利用による新奇強誘電体材料の物性解明」第4回研究会 量子ビームを用いた時分割顕微計測の現在と未来，(大阪 2016年2月)
- I-8 Ryuki Matsushita, Ryutaro Shiraishi, Maki Nagashima, Ayato Kimura, Takayuki Hasegawa, Kiyoshi Ishikawa, and Yoshihito Tanaka: **”Development of time-resolved visible-infrared spectrometer in combination with synchrotron X-ray scattering experiments**, The 5th Short-term Student Exchange Program, Aug. 20-23, 2015, University of Hyogo, Japan.
- I-9 Ryutaro Shiraishi, Ryuki Matsushita, Takehisa Ueta, Takayuki Hasegawa, Kiyoshi Ishikawa, and Yoshihito Tanaka: **(Best Presentation Award) ”Time resolved X-ray diffraction study of a laser-illuminated silicon crystal using synchrotron radiation**, The 5th Short-term Student Exchange Program, Aug. 20-23, 2015, University of Hyogo, Japan.
- I-10 松下龍樹, 白石龍太郎, 上田忠彌, 木村彩人, 白井志樹, 永島麻紀, 大浦正樹, 石川潔, 長谷川尊之, 田中義人: **ナノ秒時間分解 X 線回折法を用いたシリコン単結晶における光誘起格子歪の測定**, 日本物理学会 2015 年秋季大会 (関西大学 2015 年 9 月)
- I-11 白石龍太郎, 松下龍樹, 上田忠彌, 永島麻紀, 白井志樹, 木村彩人, 大浦正樹, 石川潔, 長谷川尊之, 田中義人: **薄膜半導体結晶のピコ秒時間分解 X 線回折**, 平成 27 年度日本結晶学会年会及び総会 (大阪府立大学 2015 年 10 月)

- I-12 長谷川尊之, 白石龍太郎, 松下龍樹, 上田忠彌, 田中義人: **超短パルス光照射されたシリコン単結晶薄膜における電子緩和と過渡的格子歪み**, 第 26 回光物性研究会 (神戸大学 2015 年 12 月)
- I-13 松下龍樹, 白石龍太郎, 永島麻紀, 白井志樹, 木村彩人, 上田忠彌, 大浦正樹, 石川潔, 長谷川尊之, 田中義人: **半導体単結晶におけるレーザー光誘起格子歪の時間分解精密 X 線回折測定**, 第 29 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (東京大学 2016 年 1 月)
- I-14 白石龍太郎, 松下龍樹, 上田忠彌, 永島麻紀, 木村彩人, 長谷川尊之, 石川潔, 田中義人: **半導体単結晶における過渡歪みの励起光依存性**, 第 71 回日本物理学会年会 (2016 年) (東北学院大学 2016 年 3 月)
- I-15 白石龍太郎: **放射光時間分解 X 線回折法による半導体単結晶の格子ダイナミクス研究**, H27 年度 大学放射光利用 播磨報告会, (姫路 2016 年 2 月)
- I-16 永島麻紀: **広帯域パルス光発生装置の開発**, H27 年度 大学放射光利用 播磨報告会, (姫路 2016 年 2 月)
- II-1 Y. Tanaka, R. Matsushita, R. Shiraishi, T. Hasegawa, K. Ishikawa, K. Sawada, Y. Kohmura, I. Takahashi: **X-Ray Beam Transfer between Hollow Fibers for the Long-Distance Transport**, 12th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2015), (New York, U.S.A., July 6-10, 2015)
- II-2 田中義人: **X 線用光ファイバー**, 東北大学金研研究会, (東北大学 2015 年 9 月)
- II-3 田中義人, 白井志樹, 松下龍樹, 白石龍太郎, 松下龍樹, 長谷川尊之, 石川潔: **X 線用光ファイバーの開発**, 第 1 回放射光産業利用支援講座 放射光施設の産業利用, (姫路 じばさんびる 2015 年 10 月)
- III-1 K. Ishikawa: **Spin-injection optical pumping of molten cesium salt and its NMR diagnosis**, AIP Advances, **5**, 077122 (2015)
- III-2 石川 潔: **スピン偏極は移るよ, どこまでも : 原子気体の光ポンピングによる金属塩の核スピン偏極**, 日本物理学会誌, **70**, 530-534 (2015)
- III-3 石川 潔: **Li 塩の核スピン偏極に向けた Li 原子の光ポンピング**, 日本物理学会 2015 年 秋季大会 (関西大学 2015 年 9 月)
- IV-1 K. Ishikawa: **Faraday rotation of broadband VUV light by optically-dense Xe atoms**, Optics Communication, **355**, 85-88 (2015)
- V-1 長谷川尊之, 竹内日出雄, 中山正昭: **励起光エネルギーチューニングによる GaAs 多層膜中の電子輸送過程の遷移**, 日本物理学会第 71 回年次大会 (東北学院大学 2016 年 3 月)

大学院物質理学研究科

博士前期課程

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

白石龍太郎: 半導体単結晶における高速光歪効果の観測

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 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