

I 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。その短所を長所に変えるのが、レーザー核スピン偏極である。レーザー光を照射し、物質内の原子核のスピンをそろえると、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に、光によりスピン偏極が容易な原子を介し、光の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。最近、アルカリ金属原子と固体アルカリ塩の系が有望であることを見いだした。希薄な気体から注入した角運動量が、イオン結晶に蓄積し、長時間にわたり保持される。

II 光偏極原子による低磁場 NMR 計測

Low-field NMR with optically polarized atoms

石川 潔

Ishikawa, K.

スピン偏極原子の集団は、SQUIDのような従来の磁気検出器を超える、高感度な磁気センサになる。例えば、気体のアルカリ金属原子にレーザー光を照射すると、電子スピンや核スピンがそろい、他の物質が発した磁場に鋭敏に反応する。そのような偏極原子集団は、特に、低磁場における磁気検出に性能を発揮する。

我々は、偏極原子を使い、従来測定が難しかった低磁場における磁気共鳴計測を試みている。高磁場 NMR 計測と組み合わせ、磁気相互作用の外部磁場依存性などを広い範囲 ($1\mu\text{T} \sim 10\text{T}$) で高感度計測できるようになる。

III 半導体ナノ構造における超高速光応答と THz 波放射

Ultrafast Optical Response and THz radiation in Semiconductor Nanostructures

長谷川尊之
Hasegawa, T.

半導体ナノ構造は、その構造要素によって電子状態の人為的な制御を可能とするため、近年のナノサイエンス分野の発展に重要な役割を果たしてきた。本研究は、サブピコ秒の超短パルスレーザーを主な光源として、半導体ナノ構造特有の超高速光応答の解明と、超高速光機能性（光スイッチングおよびテラヘルツ電磁波放射）の実現を目的としている。実験では、量子井戸、超格子、エピタキシャル薄膜中の光励起状態（励起子またはキャリア）に注目し、時間分解ポンプ・プローブ測定、テラヘルツ電磁波時間波形測定、定常状態光学スペクトル測定を行っている。最近の研究から、GaAs をベースとした非常に単純な素子構造で、テラビット級の光スイッチング素子への応用が期待される光応答特性が実現することを見出している。

IV 偏光変調分光法を用いた酸化亜鉛マイクロキャビティに関する研究

Spectroscopic Study on ZnO-based Semiconductor Microcavities
by Polarization-Modulation Technique

長谷川尊之
Hasegawa, T.

近年、光活性物質である半導体を分布ブラッグ反射鏡で挟み込んだ半導体マイクロキャビティが、物性と応用の両面から注目されている。キャビティ内では、光と励起子の結合状態であるキャビティポラリトンが形成され、これまでに類のない光物性が発現する。近年では、応用の観点から、キャビティポラリトンが室温でも安定に存在する酸化亜鉛半導体マイクロキャビティが注目を集めている。本研究では、酸化亜鉛マイクロキャビティを試料とし、キャビティポラリトンのエネルギー状態を解明することを目的としている。実験では、キャビティポラリトンの光応答を選択的に検出可能な偏光変調反射分光法を独自に開発し、従来の分光法では困難であった精密測定を試みている。

発表論文 List of Publications

- I-1** K. Ishikawa, **Hyperpolarization of Cs nuclei in a salt**, Seminar at Institute of Atomic and Molecular Sciences (IAMS), Taipei (December 2011).
- I-2** K. Ishikawa, **Spin polarization of salt nuclei by optical pumping of Cs atoms and laser heating of Cs salt**, The International Symposium on Nuclear Magnetic Resonance 2011 (ISNMR2011) Yokohama, 96-97 (2011).
- I-3** 石川 潔、相転移するアルカリ塩の光誘起核スピン偏極、日本物理学会 2011 年秋季大会 (2011 年 9 月) 22aEB-4.
- I-4** K. Ishikawa, **Hyperpolarization of ^{133}Cs nuclei enhanced by ion movement in a cesium salt**, Physical Review A **84**, 061405(R) (4 pages) (2011).
- I-5** K. Ishikawa, **Spin accumulation in thin Cs salts on contact with optically polarized Cs vapor**, Physical Review A **84**, 033404 (6 pages) (2011).
- I-6** K. Ishikawa, **Glass-wool study of laser-induced spin currents en route to hyperpolarized Cs salt**, Physical Review A **84**, 013403 (5 pages) (2011).
- I-7** K. Ishikawa, B. Patton, B. A. Olsen, Y.-Y. Jau, and W. Happer, **Transfer of spin angular momentum from Cs vapor to nearby Cs salts through laser-induced spin currents**, Physical Review A **83**, 063410 (12 pages) (2011).
- II-1** S. Taue, Y. Sugihara, T. Kobayashi, K. Ishikawa, and K. Kamada, **Magnetic Field Mapping and Biaxial Vector Operation for Biomagnetic Applications Using High-Sensitivity Optically Pumped Atomic Magnetometers**, Japanese Journal of Applied Physics **50** 116604 (6 pages) (2011).
- III-1** T. Hasegawa, Y. Takagi, H. Takeuchi, H. Yamada, M. Hata, and M. Nakayama **Ultrafast optical response originating from carrier-transport processes in undoped GaAs/n-type GaAs epitaxial structures**, Applied Physics Letters, **100**, 211902-1–211902-4 (2012).
- III-2** T. Hasegawa, Y. Takagi, and M. Nakayama **Frequency-tunable quantum beats under a Franz-Keldysh oscillation condition in a GaAs/Al_xGa_{1-x}As superlattice**, Applied Physics Express, **5**, 041202-1–041202-3 (2012).
- III-3** T. Hasegawa, Y. Takagi, and M. Nakayama **Resonant coupling effects on quantum beats in a GaAs single quantum well buried in a GaAs/AlAs superlattice**, The 15th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS 15), 25-29 of July 2011, Florida, America
- III-4** 長谷川尊之・高木芳弘・中山正昭、GaAs/AlGaAs 超格子におけるフランツ・ケルディッシュ振動領域での量子ビート II、日本物理学会第 67 回年次大会 (2012 年 3 月) 26pCJ-9.

III-5 山下智也・長谷川尊之・中山正昭、GaAs/AlAs 超格子における重い正孔励起子共鳴励起条件でのミニブリルアンゾーン端励起子の発光ダイナミクス、日本物理学会 第 67 回年次大会 (2012 年 3 月) 26pCJ-7.

III-6 長谷川尊之・高木芳弘・中山正昭、GaAs/AlGaAs 超格子におけるフランツ・ケルディッシュ振動領域での量子ビート、第 22 回光物性研究会 (2011 年 12 月) IB-23.

III-7 長谷川尊之・高木芳弘・中山正昭、GaAs/AlGaAs 超格子におけるフランツ・ケルディッシュ振動領域での量子ビート、日本物理学会 2011 年秋季大会 (2011 年 9 月) 22aTM-2.

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 21 ~ 23 年度) 基盤研究 (B)

課題番号 21340116

研究課題 スピン偏極の物理と応用計測のためのスピン偏極物質の探索と開発

研究代表者 石川 潔

2 日本学術振興会 科学研究費補助金 (平成 22 ~ 23 年度) 若手研究 (B)

課題番号 22740203

研究課題 半導体超格子におけるテラヘルツ領域コヒーレント現象に対する
共鳴結合効果

研究代表者 長谷川尊之