



佐藤琢哉氏の論文紹介

東京大学 志村 努

佐藤琢哉氏は2004年に東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻宮野研究室にて博士の学位を取得した。博士課程在学中にドイツ Max Born 研究所に滞在し、Dr. Fiebig のグループで研究を行い、博士取得後も同グループで研究員として研究活動を続けた。その後東京大学大学院総合文化研究科小宮山研究室にて科学技術振興機構 SORST 研究員を務めたのち、2007年から東京大学生産技術研究所のわれわれの研究室の助教となった。また2010年からは科学技術振興機構さきがけ研究員も務めている。2014年4月からは九州大学大学院理学研究院物理学部門の准教授として独立した研究室を立ち上げている。

今回の受賞論文は、フェリ磁性体に光パルスを照射することでスピン波を発生させ、その二次元的伝搬の時間・空間分解測定を行ったものである。従来、スピン波の生成はマイクロストリップアンテナとマイクロ波によるスピントランスファートルクを用いたものが代表的で、光によるスピン波の発生を行った例はなかった。また、フェムト秒光パルスを用いたスピン歳差運動の励起は報告があったが、スピン波の伝搬を位相情報まで含めて測定した例としては世界初の報告となる。

本論文では、ファラデー効果の逆効果である逆ファラデー効果を用い、100 fs 程度の光パルスを $Gd_{4/3}Yb_{2/3}BiFe_5O_{12}$ 単結晶薄膜に照射してスピン歳差運動を励起した。このスピン歳差運動が磁気双極子相互作用を介して隣接するスピンの伝わり、波動として進行する。その伝搬の様子をファラデー効果を用いて観測した。ここで伝搬するスピン波は、その分散関係からパルスの群速度と位相速度の進行方向が逆になることが予想されたが、スピン波の時間波形の計測からこのことも確認した。

また、ここでは伝搬するスピン波の複素振幅の二次元分布の測定も行った。この測定結果に対し、生成するスピン

波の波数分布は励起光の光スポット形状のフーリエ変換で決定されるというモデルを用い、数値計算を行った結果、実験結果をきわめてよく説明することができた。さらにこのモデルから、集光スポットの形状を変えることによりスピン波の伝搬方向の制御が行えることを予測し、実験的に検証した。従来の固定電極によるマイクロ波を使ったスピン波励起では自由な伝搬制御は不可能だったが、光を励起に用いることにより集光スポットの空間形状によりスピン波の伝搬制御ができることを示したことも、この論文の優れた成果のひとつである。

この論文は Nature Photonics 誌の注目論文として、同じ号に M. R. Freeman と Z. Diao による解説記事が掲載され (同誌 pp. 643-645)、またインタビューも掲載された (同誌 p. 706)。

光によりスピン波を自在に励起し、またその伝搬を光により観測するという本研究は、光マグネトニクスという新しい分野の研究を切り開くものであり、スピントロニクスの一分野として将来技術としての発展が期待されている。受賞者の今後の活躍に期待したい。

文 献

受賞論文

- 1) T. Satoh, Y. Terui, R. Moriya, B. A. Ivanov, K. Ando, E. Saitoh, T. Shimura and K. Kuroda: "Directional control of spin wave emission by spatially shaped light," Nat. Photonics, **6** (2012) 662-666.

関連論文

- 2) T. Satoh, S.-J. Cho, R. Iida, T. Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, Y. Ueda, B. A. Ivanov, F. Nori, and M. Fiebig: "Spin oscillations in antiferromagnetic NiO triggered by circularly polarized light," Phys. Rev. Lett., **105** (2010) 077402.
- 3) T. Satoh, N. P. Duong and M. Fiebig: "Coherent control of anti-ferromagnetism in NiO," Phys. Rev. B, **74** (2006) 012404.



久武信太郎氏の論文紹介

大阪大学 小林 哲郎

テラヘルツ帯電磁波の時間波形や周波数 / 位相の測定は、電波の場合と同様に、重要で基本的なものである。これらの三次元的な空間分布を迅速に測定し、可視化表示できれば、テラヘルツ波の放射、伝搬状況や被検体の形状や吸収特性分布などが計測でき、テラヘルツ波の応用範囲がぐんと広がる。

本受賞論文は、テラヘルツ波の振幅および位相の空間分布の高精度測定が可能な著者独自の方法の提案と、それを用いた実際のテラヘルツ波放射パターンイメージングについての研究成果を示したものであり、その成果は鮮やかな一言につき、賞嘆に値する。

テラヘルツ波の測定法はその発生法にも由来し、2つに大別できる。1つはフェムト秒テラヘルツパルス波を波源とする時間域サンプリング計測法（パルス法）であり、もう1つは、単一周波数のテラヘルツのCW波（周波数は掃引可能）を波源とし、測定点でその周波数成分の振幅と位相を計測する周波数域計測法（CW法）である。2方法は線形過程であれば互いにフーリエ変換の関係にあり等価である。パルス法では必然的にピークパワーが高くなるため、非線形効果を伴いやすいが、物質のテラヘルツ過渡応答、緩和時間などの測定には直感的で優れている。CW法は単一周波数ごとに定常的な測定を行うので緻密な測定に向くが、位相測定は外乱の影響を受けやすい。通信など緻密に周波数帯域を活用する応用では、線形性、精度などの点でCW法に軍配が上がる。

受賞論文は、CW法に関するものである。ここではテラヘルツ波は2つの独立した1.55 μm 帯LDのビート（約193 GHz）より得ており、周波数の掃引は容易である。2つのLDの安定性や結合するファイバーの揺らぎなどからビート波の位相安定性には難点がある。このように位相揺らぎの大きいビートテラヘルツ波で被検体の入出力間伝達特性の測定を行うには、このビート波とコヒーレントな（同じ位相揺らぎの）ローカル波を使うのが常道である。その代表例であるホモダイン検波では位相を知るには時間遅延を変化させる必要があり、高速揺らぎには弱い。受賞論文で

は同じLDの組み合わせを用いるが、測定用には一方のLDからの出力を外部で周波数シフトさせている。この結果得られた合成光は、テラヘルツ波とほぼ同じ位相揺らぎをもちつつ、ビート周波数は少しシフトしている。これをプローブ光として、測定したいテラヘルツ波で電気光学変調すれば、被変調光にはテラヘルツの強度、位相情報をもつシフト周波数変動成分が生じる（ローカル波にテラヘルツ波ではなく光波を用いている；optical LO）。テラヘルツ検出素子はファイバー先端の小さいEO結晶（ZnTe, 1 mm立方体）で、高空間分解で走査が容易である。低速応答の光検出器で被変調光のシフト周波数成分を差分検出し、そのcos, sin成分を同期検波で取り出している。同期出力の積分により、ランダムな位相揺らぎは相殺され、位相測定精度は0.18 rad以下、振幅SN比20 dBを得ている。測定に要する時間は1面（250×250点）当たり25分（現在は5分まで短縮とのこと）であるが、センサーのアレイ化などでさらに高速化が図れるという。測定系はオーソドックスな構成であるが、結果の処理、表示が素晴らしい。0.3 mmの空間分解能で被測定系（今の場合アンテナ）からのテラヘルツ放射波の波面空間分布が三次元的に見事に表示されている。

この技術は、テラヘルツデバイス、プラズモニクやメタマテリアルデバイスなどの研究開発にも大いに利用されるものと期待される。実際、著者らはその後の研究で、金属ホールアレイなどでのテラヘルツ波の波面変化などの測定に成功している。

文 献

受賞論文

- 1) S. Hisatake and T. Nagatsuma: "Continuous wave terahertz field imaging based on photonics-based self-heterodyne electro-optic detection," *Opt. Lett.*, **38** (2013) 2307-2310.

関連論文

- 2) S. Hisatake, G. Kitahara, K. Ajito, Y. Fukada, N. Yoshimoto and T. Nagatsuma: "Phase-sensitive terahertz self-heterodyne system based on photodiode and low-temperature-grown GaAs photo-conductor at 1.55 μm ," *IEEE Sens. J.*, **13** (2013) 31-36.