

【基盤研究(S)】

理工系(工学I)



研究課題名 光および弾性波励起による磁化の超高速制御とその応用

東京工業大学・像情報工学研究所・教授

むねかた ひろお
宗片 比呂夫

研究分野：工学、応用物理・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：スピントロニクス

【研究の背景・目的】

電子スピンの操作速度(周波数 f)は磁場に比例して速くなります。すなわち $f(\text{GHz}) = 176 B$ (Tesla)。ところが、電子スピンの集合体である磁化の場合、磁場を大きくすると、スピンのわずかな乱れがスピン回転中に増幅されて全体の位相がばらけてしまい、磁化の操作速度はある値で頭打ちになるかもしれないことが示されたのでした[I. Tudosa, *et al.*, *Nature* **428**, 831 (2004)]。これは、電子情報処理スピードがますます速くなると、磁化はついていけなくなるということを暗示しています。

この磁化操作の問題を根底から解消するものとして、私は、波動関数の励起による磁化ベクトルの方向制御を提案します。物質中の電子を記述する波動関数は、軌道成分とスピン成分から成り立っています。非常に速い過程である軌道励起をおこなって、スピン・軌道相互作用によって個々のスピンを同時に、かつ、均一に操作することによって、スピン相互の乱れを回避して磁化を超高速で操作しようという提案です。これができると、新しいタイプのスピンドバイスが作れますので、新しい応用が拓けると期待されます。

【研究の方法】

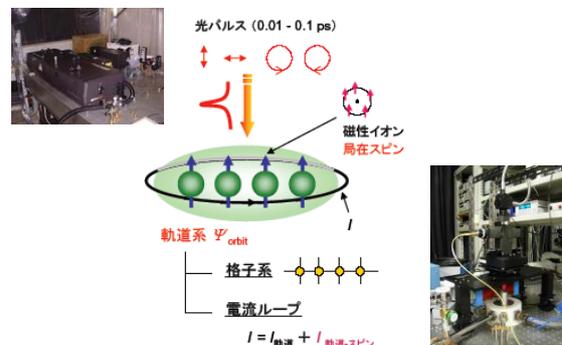
磁性を示す固体には、個々の原子の外核電子の波動関数が重なってできる軌道系と、やや内核の電子のスピンが平行に揃えてできる局在スピン系が存在します。電子は軌道を高速で運動しながら、個々の原子核を結び付けて格子系をつくるとともに、本提案で重要な役割を担う電流ループ I を生成します。この電流ループが、スピン・軌道相互作用を通じてスピン集団の向きを決定しています。したがって、軌道部分を光励起すると電流ループが変形し、その結果、磁化が超高速で傾くことが期待されます[1]。

研究すべきメカニズムは2つです。第一がスピン・軌道相互作用によって、軌道とスピン系がいっしょに励起されてスピン軸が変化する軌道・スピン複合励起です。第二が軌道励起で発生する格子変形にスピンがカップルして、スピンの方向が格子とともに変化するスピン波励起です。

研究は2つのグループで進めます。光パルス励起グループの基盤は超高速光ポンプ・プローブ分光です。このグループは磁化の超高速制御を追究します。弾性波・スピン波励起グループの基盤は磁気光学顕微鏡です。試料に圧電素子を組み込んで高周波や光パルスで弾性波を発生させて、格子

による磁化のコヒーレント操作と伝播の様子を調べます。試料には、スピン軌道相互作用が大きい強磁性金属や強磁性半導体[2]、さらには、臨界状態のスピン構造である磁壁を作りこんだ細線やドットを用いる計画です。

図1 スピン超高速制御の研究方法イメージ図



【期待される成果と意義】

最終的には、2つの研究を融合させて、光と弾性波を協働させて、テラ・ペタヘルツ領域の磁化のベクトル方向制御を達成し、磁場によらない磁化操作を確立します。この過程で、光情報処理の演算部分に使う光フリップ・フロップ機能を備えた小型光メモリ、空間光変調器に使う低電力駆動の光スイッチを試作し、新しい応用への展望を拓きます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. Y. Hashimoto, S. Kobayashi, and H. Munekata: "Photoinduced Precession of Magnetization in Ferromagnetic (Ga,Mn)As"; *Phys. Rev. Lett.* **100**, 067202 1-4 (2008).
2. H. Munekata, H. Ohno, S. von Molnár, A. Segmüller, L.L. Chang, and L. Esaki: "Diluted magnetic III-V semiconductors"; *Phys. Rev. Lett.* **63**, 1849-1852 (1989).

【研究期間と研究経費】

平成22年度～26年度
164,200千円

【ホームページ等】

<http://www.isl.titech.ac.jp/~munelab/>