



ナノ周期構造によるスピントロニクス材料の特性制御

創造工学部 創造工学科 教授 宮川 勇人

研究シーズの概要

全ての物質は、原子という小さな粒からできています。1つ1つの原子の中には、さらに小さい電子という粒が何個か入っています。大変小さくて、軽い粒です。この電子は、電気の力のもとである「電荷」という量と、磁石の力のもとである「スピン」という量を持っています(図1)。「電荷」を制御して作られている物質が半導体であり、「スピン」を制御して作られている物質が磁性体です。

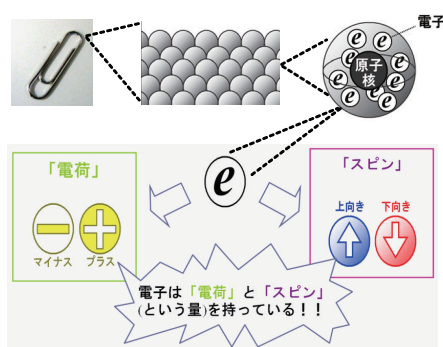


図1. 電荷・スピンの説明概念図

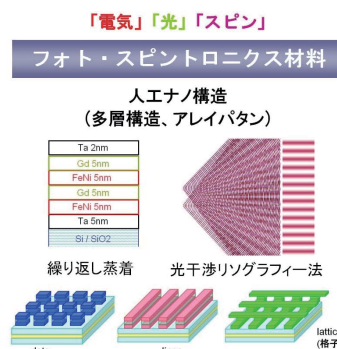


図2. フォト・スピントロニクス材料としての繰り返し蒸着と光干渉リソグラフィー技術によるナノ周期構造の例

現代の高度に発達した情報化社会を支えているのは、電荷制御型の半導体エレクトロニクス技術です。デバイスの高密度化や演算処理の高速化は著しく、その限界が予想されています。次世代の情報化社会を牽引する代替技術として、従来の電荷制御型半導体デバイスに磁気スピン機能と光特性とを併せ持たせたフォト・スピントロニクス情報デバイスが注目されています。電子の持っている電荷に加え、スピン自由度を制御することで電気特性とスピン特性さらには発光吸収特性を融合機能させた「フォト・スピントロニクス技術」によって、メモリへの不揮発性の付与による省エネルギー化や光演算・量子演算による高速化、機能化を図ることができます。宮川研究室では、半導体と磁性体とを人工周期ナノ構造(図2)によって融合させ、複雑な磁気挙動を評価することで磁気デバイス材料としての特性向上を行い、光特性・伝導特性との相互制御を研究しています。

【利用が見込まれる分野】 コンピュータ、電子機器の小型化、省エネルギー化

研究者プロフィール

宮川 勇人 / ミヤガワ ハヤト



メールアドレス miyagawa.hayato@kagawa-u.ac.jp
 所属学部等 創造工学部 創造工学科 材料物質科学コース
 職位 教授
 学位 博士(工学)
 研究キーワード スピントロニクス、磁性半導体、情報デバイス

問い合わせ番号: EN-11-016

本研究に関するお問い合わせは、香川大学産学連携・知的財産センターまで
 直通電話番号: 087-832-1672 メールアドレス: ccip-c@kagawa-u.ac.jp

技術の紹介

(1)人工ナノ周期構造の作製・評価

異種相を交互蒸着させた面直方向のナノ周期構造と、短波長レーザーによる干渉性リソグラフィを用いた面内方向のナノ周期構造を作製しました。1 nm/秒以下の蒸着レートにより平坦かつ急峻な界面をもつ数ナノメートル周期構造の作製に成功しました(図3)。半導体上の金属磁性体多層膜 Gd/Fe において Fe 第3層までの結晶整合性が確認され、更に短周期構造での多層全体のエピタキシャル成長の可能性が示唆されました。現在は希薄磁性半導体/非磁性半導体の超格子の作製を試みています。一方、干渉性リソグラフィによってサブミクロン周期の磁性ナノ・アレイの作製に成功しており、更なる短周期化を進めています(図4)。ライン内部において面直ナノ周期構造を有したハイブリッド構造の作製も可能です。

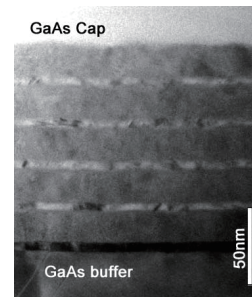


図3. 作製した異種磁性層のナノ周期積層構造

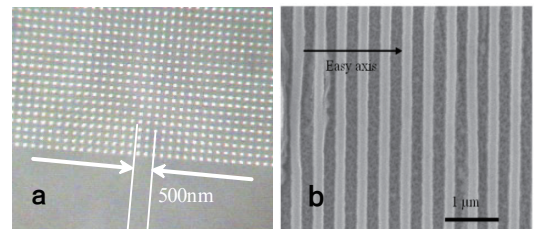


図4. 半導体上に設計製作された面内パタニングによる周期アレイ・ストラクチャー (a) ドット (b) ライン

(2)ナノ周期構造におけるスピン・エネルギーの評価

原子同士の磁氣的結合性(交換エネルギー)が強い遷移金属(Fe, Ni など)と、1原子あたりの磁気モーメントが大きな希土類元素 Gd とからなるナノ周期構造を作製し磁気特性を評価しました。ナノ周期構造内部ではスピン間の交換エネルギーが競合する結果、スピン配向の特異な温度依存性を示しました。ナノ形状を考慮したシミュレーションから理論的にスピン配向を予測し(図5)、交換パラメータを定量評価することで元素戦略的なデバイス設計を可能としました。

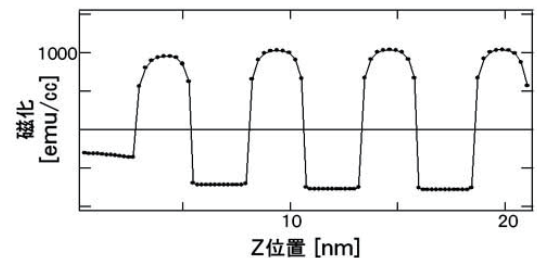


図5. 理論シミュレーションによる積層磁性体内部のスピン状態

(3)スピンホール・デバイスの試作と検証

金の導電ラインを磁性体ラインで挟みこんだライン・アレイ構造を作製し、通電により上下方向へのスピン流を発生させ(スピン・ホール効果)隣接する磁性ラインの偏極を検証しました(図6)。形状異方性効果によりスピンの拡散してしまうことが判明したものの、今後、直交する2回のライン・パタニングで磁気異方性を付与したナノラティス構造を作製すれば、効率よいスピン蓄積が可能と考えられます。

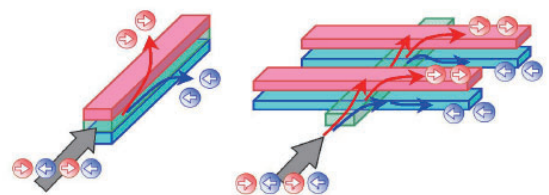


図6. 電流を流すだけでスピン流を発生させるスピン・ホール効果の例 (左) 電流が流れている間のみスピン流が発生 (右) 異方性の付与により電流で磁性を制御

本研究は、不揮発性を持つ高速かつ省電力メモリや、自己書き換え可能な進化型回路、光演算やスピン演算による高速多重計算(光コンピュータ、量子コンピュータ)などの実現に繋がると期待されています。また、宮川研究室では、希土類-遷移金属磁性多層構造の作製と構造および物性の評価、磁性の評価・解析についての技術相談にも対応できます。