

報道解禁日時（テレビ・ラジオ・web）：平成 20 年 1 月 14 日午前 3 時
（新聞）：平成 20 年 1 月 14 日付け朝刊

平成 20 年 1 月 9 日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所
東北大学大学院工学研究科

金の室温巨大スピホール効果の観測に成功

国立大学法人東北大学（総長：井上明久）金属材料研究所（所長：中嶋一雄）の高梨弘毅教授および前川禎通教授（兼 JST-CREST チームリーダー）のグループは、同大学院工学研究科および独立行政法人産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門との共同研究により、磁石の性質を持たない金の中で電流によって電子スピン（＝微小な磁石）の流れを制御する「スピホール効果」の観測に成功しました。

磁石ではない白金、アルミニウムやヒ化ガリウムなどの非磁性の物質では、電流を流すだけで電子スピンの向きによって電流方向が変化するスピホール効果が観測されています。しかしながら、低温（摂氏マイナス 269℃ 程度）でも室温でも微小な電気信号しか得られないことが応用への妨げとなっていました。今回、上記共同研究グループは金のスピホール効果に注目し、鉄白金という特殊な磁石と組み合わせたナノサイズ（ナノは 1 億分の 1メートル）素子を作製したところ、これまでより 100 倍以上大きい電気信号の観測に室温で成功しました。

この成果は、現在注目を集めている磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)などの固体磁気記憶素子における新しい読み出し手法や磁気センサ、さらには磁石を用いずに電子スピンの流れを生成する新しいスピエレクトロニクス素子として幅広い応用展開が期待されます。

本研究の一部は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構からの助成を受けて行われました。本研究成果は、英国科学雑誌「Nature Materials」への掲載に先立ち、英国 1 月 13 日付けで同誌のオンライン版に公開されます。

【お問い合わせ先】 東北大学 金属材料研究所 磁性材料学研究部門
教授 高梨弘毅 (電話：022-215-2095)
東北大学 金属材料研究所 磁性材料学研究部門
准教授 三谷誠司 (電話：022-215-2098)

【研究成果の背景】

電子は電荷とスピンという二つの性質を持ちます。このスピンは磁気の根源であるため、電子一つ一つは微小な磁石として振る舞います。この電子スピンを積極的に利用することにより、電荷のみに注目してきた従来のエレクトロニクスデバイスを凌駕するデバイスの実現が可能となります。この工学分野はスピントロニクス（あるいはスピントロニクス）と呼ばれており、ハードディスクドライブの磁気ヘッドやMRAMなどのデバイスの根幹となっています。

磁石（強磁性体）の中を流れる電子はスピンの方向が揃っています。スピントロニクスでは、スピンの方向の揃った電子を流すことが最も重要であり、スピンの方向を揃えるには通常強磁性体が必要と考えられていました。

ところが、近年強磁性体でない物質（非磁性体）でも、ただ電流を流すだけで電子のスピン方向によって電子の流れる方向が変わり、スピンの方向の揃った電子の流れを作ることができることがわかってきました。これが「スピンホール効果」と呼ばれる現象です。2004年にカリフォルニア大のグループが非磁性半導体ヒ化ガリウム(GaAs)におけるスピンホール効果を光学的に検出したのを発端に、2006年には白金(Pt)やアルミニウム(Al)という非磁性金属においてスピンホール効果の電気的検出が報告されるようになりました。しかしながら、低温でも室温でも微小な電気信号しか得られないという大きな問題があり、応用上の問題となっていました。

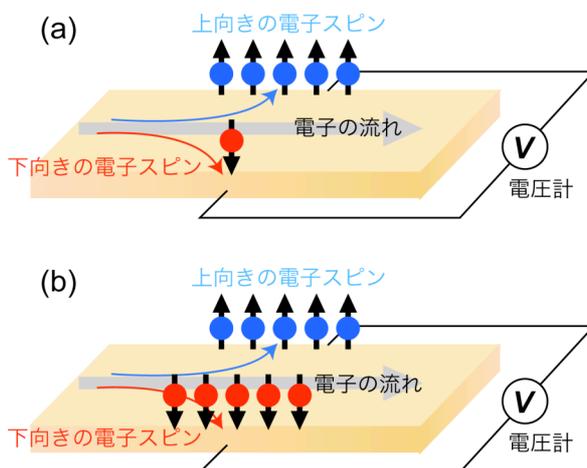


図1 (a)異常ホール効果と(b)スピンホール効果の模式図。強磁性体内で生じる異常ホール効果は、上向きスピン電子と下向きスピン電子の数に差があるため、電子の蓄積により電流の横方向に電圧が生じる。一方、スピンホール効果は上向きスピン電子と下向きスピン電子が同数であるため、蓄積による電圧はゼロとなる。

【研究成果の詳細】

スピントール効果

磁石（強磁性体）の中に電流を流すと、その磁石の向きに依存して電流に対して横方向の電圧が生じます。これは「異常ホール効果」と呼ばれ、以前から知られている現象です（図 1(a)）。強磁性体の中では、上向きあるいは下向きの電子スピンの数が相対的に多い状態となります。上向きスピン電子と下向きスピン電子は反対方向に曲げられるため、横方向に電子の偏りが生じ電圧が発生することになります。

この異常ホール効果は強磁性体内での現象でしたが、非磁性体の中でも同様に上向きスピン電子と下向きスピン電子は反対方向に曲げられます（図 1(b)）。これが「スピントール効果」です。ただし、非磁性体は磁石ではないため、上向きスピン電子と下向きスピン電子は同じ数存在し、そのままではスピントール効果を電気信号として取り出すことができません。

そこで重要となるのが、電荷の流れと異なる概念である「スピン流」です。スピン流とは、同じ数の上向きスピン電子と下向きスピン電子が逆方向に流れている状態を言います。このとき電子の流れは打ち消し合うため電流は流れていないこととなりますが、スピンの流れは存在しています。上向きスピン電子と下向きスピン電子が逆方向に流れているため、スピントール効果によって曲げられた電子は図 2 に示すように片側に蓄積され電圧として検出することが可能となります。

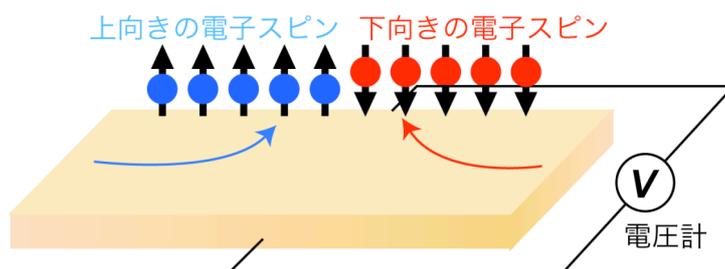


図 2 スピン流を利用したスピントール効果の模式図。上向きスピン電子と下向きスピン電子が逆方向に流れることにより電荷の蓄積が生じ、電圧として取り出すことが可能となる。

室温巨大スピントール効果の観測

研究グループは、スピントール効果を出す非磁性体として金(Au)、そしてスピン流を流すための強磁性体として鉄白金(FePt)という材料に注目し、図 3 のようなナノサイズ素子を作製してスピントール効果の電氣的検出を試みました。これまでの研究では、使われる磁石の磁化の向き（磁石の N 極 S 極の向き）が素子の面内方向（電流が流れる方向）を向いており、そのことが、電気信号の検出に不都合を生じさせていました。今回の研究では、面に垂直方向を向いた磁石を使うことにより、その素子構造を簡略化させることに成功しました。

図 4 はスピントール効果による抵抗の外部磁場依存性です。FePt 電極からスピン流を注入し、Au のホールクロスによって電圧を測定しました。得られたスピントール抵抗

の形状は、磁場によって FePt の磁石の方向が反転したことに対応しています。このスピホール効果を詳細に解析したところ、流れる電子のおよそ 10% を上向きスピ電子と下向きスピ電子に分別できていることがわかりました。これまでは 0.1% 程度であったことを考えると、飛躍的な進歩でありデバイスへの応用に期待がもてます。さらに今回の研究では、Au のホールクロスに電流を流し FePt 電極で電圧変化を測定することにも成功しました。これは、Au の中で電流からスピ流への逆変換も可能であることを示しております。

以上より、Au のスピホール効果がスピ流の生成・検出の手法として極めて有効であることが初めて実証されました。

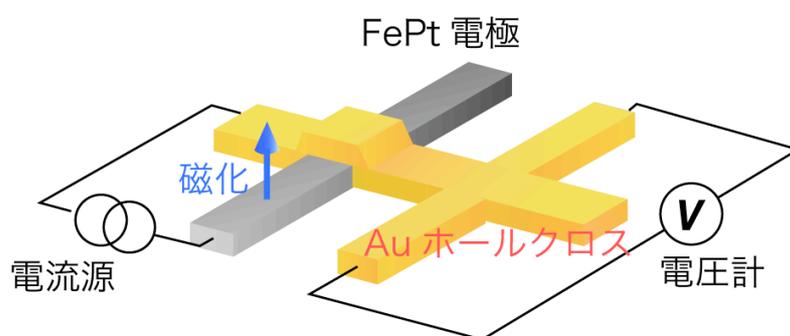


図3 今回の研究で巨大スピホール効果を観測した素子の模式図。FePt 電極からスピ注入し、Au ホールクロス内でのスピホール効果によってスピ流から電流への変換を検出した。

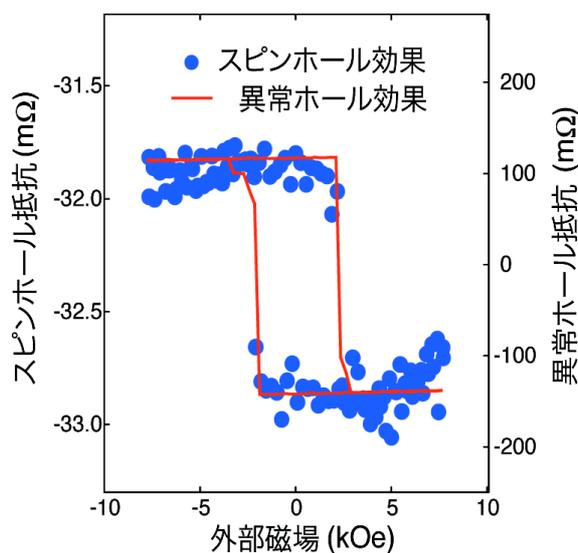


図4 Au のスピホール効果の実験結果 (青点)。測定温度は室温である。FePt 電極の磁化反転を意味する異常ホール効果 (赤線) と同じ変化が得られており、FePt からスピ注入されたスピ流が電流に変換されていることがわかる。

【今後の展開】

スピホール効果はここ数年で実験的に観測されるようになってきた新しい現象です。そのため、材料依存性などその物理の土台を固めることにより、さらに大きな電気信号が実現できると考えられます。今回の成果により、スピホール効果を利用したスピエレクトロニクスデバイスの研究開発が活発化することが期待できます。磁性体を用いない生成・検出手法であるため、磁石の方向が揺らいでしまうことに起因したノイズを抑制できる可能性もあり、将来的には固体磁気記憶素子における新しい読み出し手法や磁気センサなどへの応用、あるいは高効率スピ源として幅広い展開が期待されます。