T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	3端子スピン蓄積デバイスにおけるHanle効果信号の解析
Title(English)	Analysis of Hanle-effect signals observed in three-terminal spin-accumulation devices
著者(和文)	高村陽太, 悪七泰樹, 周藤悠介, 菅原聡
Authors(English)	Y. Takamura, T. Akushichi, Y. Shuto, S. Sugahara
出典(和文)	第38回 日本磁気学会学術講演会, 4aD-1, ,
Citation(English)	the 38th Annual Conference on MAGNETICS in Japan, 4aD-1, ,
発行日 / Pub. date	2014, 9

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

3 端子スピン蓄積デバイスにおける Hanle 効果信号の解析

高村陽太 [1,2], 悪七泰樹 [1], 周藤悠介 [1], 菅原聡 [1]
([1] 東工大像情報, [2] 東工大電子物理)

Analysis of Hanle-effect signals observed in three-terminal spin-accumulation devices

Y. Takamura[1,2], T. Akushichi[1], Y. Shuto[1], and S. Sugahara[1]
([1]Imaging Sci. and Eng. Lab., Tokyo Inst. of Tech., [2]Dept. of Physical Electronics, Tokyo Inst. of Tech.)

はじめに

Si チャネルへのスピン注入/検出や Si チャネル内でのスピンダイナミクスの理解は，スピン MOSFET[1] 等の Si スピンデバイスを実現するに極めて重要となる．これまで，これらの現象はスピンバルブトランジスタ，4 端子非局所デバイス，3 端子スピン蓄積(3T-SA)デバイスなどによる Hanle 効果の測定によって解析が行われてきた．特に 3T-SA デバイスによる評価は，デバイスプロセスの容易さから最も広く用いられている評価法である．しかし，3T-SA デバイスにおいて観測される信号には，スピン注入源のトンネル障壁やその Si との界面にトラップされたスピンによる Hanle 効果による信号も重畳されることや，従来の解析に用いられてきた単一の Lorentz 関数だけでは表せない信号の観測も報告されており，得られた信号が真に Si チャネルに蓄積したスピンによるものか，慎重に検討する必要がある．

本研究では， 3T-SA デバイスで観測される Hanle 効果による信号をスピン拡散方程式のインパルス応答を用いて解析を行った．Si チャネルに蓄積したスピンによる Hanle 効果の信号波形は Lorentz 型とはならず，トラップスピンによる信号波形と分離できることを明らかにした．さらに，高品質の CoFe/MgO/Si 接合をスピン注入源とした 3T-SA デバイスを作製し，このデバイスによって観測された Hanle 効果による信号波形は上記の 2 つの関数形の和を用いることで精度よくフィットできることを示した．

解析方法

Hanle 効果は，1 次元のスピン拡散方程式のインパルス応答[2]を求め，このインパルス応答に磁場による歳差運動因子を掛け，入力とともに時間で畳み込みを用いることで定式化できる．

$$S(x,B)=\lim_{t\to\infty}\int_0^t s_0\frac{x}{\sqrt{4\pi D}(t-t')^{\frac{3}{2}}}e^{-\frac{x^2}{4D(t-t')}}e^{-\frac{t-t'}{\tau_{sf}}}\cos\omega_L(t-t')u(t')\mathrm{d}t' \qquad (1)$$

ここで，D は拡散定数，τ_{sf} はスピン緩和時間，ω_L は，ラーモア周波数である．この被積分関数（インパルス応答）は，従来 Hanle 効果の解析に用いられてきた畳み込み積分の被積分関数の関数形と異なることに注意が必要である（時間に対する畳み込みの場合こちらが正しい）．有限の幅を持った電極下のスピン蓄積による Hanle 効果は，さらに，式(1)を位置 x に関して畳み込みと電極幅に渡る積分を実行することで定式化できる．一方，トラップスピンに関しては，トラップされたスピンに対するレート方程式を用いて Hanle 効果の表式を求めることができる．チャネルに蓄積したスピンに対する Hanle 効果信号は，非 Lorentz 型の関数となるが，トラップスピンの Hanle 効果信号は Lorentz 型の関数となる．これらのスピンが共存する場合は，上記 2 種の関数形の重ね合わせになる．

実験結果

Fig. 1 に作製した 3T-SA デバイスを示す．スピン注入源の構造は，CoFe/MgO/n^+-Si (P; 4×10^{19} cm^{-3}) である．MgO は，Si 清浄表面に超高真空スパッタで成膜した Mg のラジカル酸化によって形成し，ラジカル酸素アニールによって高品質化してある．CoFe は分子線堆積法により成膜した．

このデバイスによって観測された Hanle 効果信号を Fig. 2 に示す(灰色のドット)．また，観測結果は，チャネルでのスピン蓄積による Hanle 信号(破線)とトラップ電子に対する Hanle 信号(点線)の重ね合わせ(実線)を用いることで精度よくフィットできた．これは，Si チャネル内に蓄積されたスピンによる Hanle 効果の存在を意味する．フィッティングから求めた Si チャネル中のスピン緩和時間とトラップスピンの緩和時間は，それぞれ 240 ps と 30 ps となった．

本研究で開発した 3T-SA における Hanle 効果の信号解析法は，チャネルに蓄積したスピンとトラップスピンによる Hanle 効果の信号を分離できるため，蓄積スピンのみの評価が可能となる．

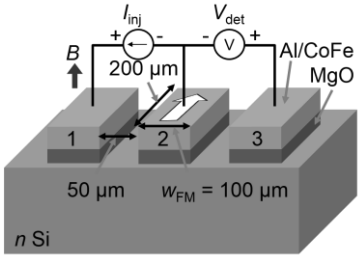

Fig. 1 3T-SA devices.

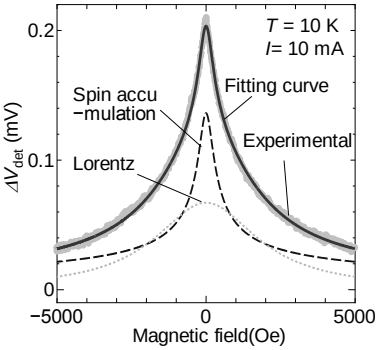

Fig. 2 Hanle effect signal and fitting curves.

参考文献

1) S. Sugahara, IEE Proc.: Circuits Devices Syst. **152**, 355 (2005).
2) Y. Takamura, T. Akushichi, A. Sadano, T. Okishio, Y. Shuto, and S. Sugahara, J. Appl. Phys. **115**, 17C307 (2014).