

半導体スピン注入を用いたスピン機能デバイス

半導体中を伝導する電子のスピンを積極的に活用し、新たなデバイスを創出する半導体スピントロニクスの研究が盛んに行われています。中でも、トランジスタのソースおよびドレインを強磁性体で形成したスピントランジスタは、不揮発性メモリや機能可変論理ゲートなどへの応用をはじめ、次世代の超低消費電力エレクトロニクスの中核技術として期待されています。その実現の第一歩は、半導体中にスピンの揃った電子状態を形成することであり、そのため、強磁性体から半導体に電流を流すことでスピンを電気的に注入する「スピン注入」の研究が注目されています。私たちは、最近、スピン源として Co 基ホイスラー合金の Co_2MnSi を用い、従来よりも高効率に GaAs チャンネルへスピンが注入できることを実証しました。

さらに、注入された電子スピンにより、チャンネル内の Ga 原子や As 原子の有する核スピンを効率よく揃えることに成功しました。核スピンは量子力学的な重ね合わせ状態を比較的長く維持することができ、量子計算機の量子ビットとして有望です。今後、核磁気共鳴法と組み合わせ、核スピンの量子操作とその検出が可能になれば、核スピンの量子力学的なコヒーレンスを活用した、次世代の量子計算機や量子情報通信の実現に向けて大きなブレークスルーが期待できます。

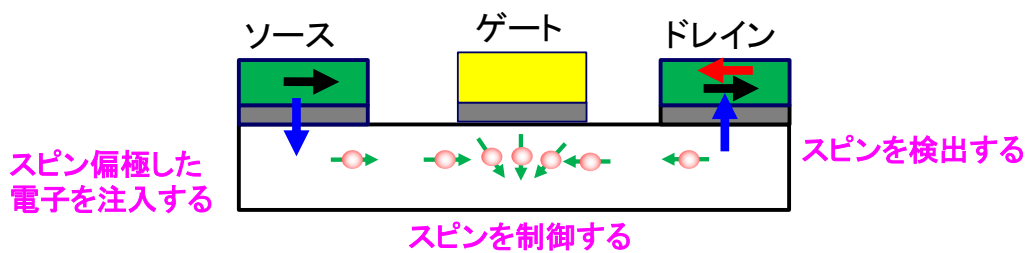


図 1

非局所 4 端子測定

半導体へのスピン注入を検出する最も信頼性の高い方法に、非局所 4 端子測定法と呼ばれる方法があります。これは、図 2(a)に示すように電流経路と電圧測定経路を分離することにより、Hall 効果などの電流磁気効果を排除し、純粋なスピン注入に基づく信号のみを検出する方法です。強磁性電極 2 から注入され、半導体チャンネル内を拡散する電子スピンの偏極度は強磁性体 3 の電位 (V_{NL}) から検出されます。このとき、注入電極と検出電極の相対的磁化配置が平行の場合と反平行の場合で V_{NL} の符号が変化するため、面内に印加した磁場に対する V_{NL} の

変化を計測すると、両強磁性電極の平行状態と反平行状態間のスイッチングに伴い、図 2(b)に示すような信号が得られます。これをスピバルブ信号と呼びます。一方、面直に印加した磁場に対する V_{NL} の変化は Hanle 信号と呼ばれ、図 2(c)に示すように、磁化平行の場合も反平行の場合も磁場印加とともに V_{NL} は次第に 0 に近づきます。これは、半導体に注入された電子スピンの緩和時間により緩和する(Hanle 効果)ためであり、その信号の解析から電子スピンの半導体中での緩和時間が評価できます。これらの spin-valve 信号と Hanle 信号の検出は、スピン注入を実証する確実な証拠となります。

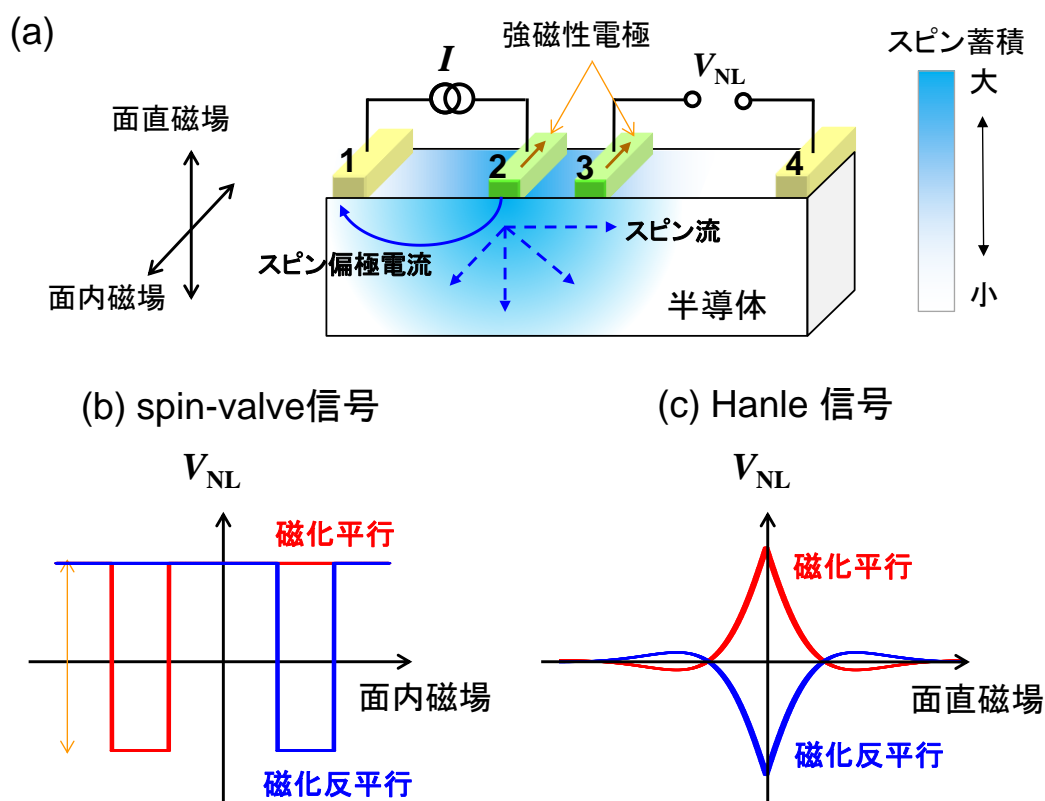


図 2 非局所 4 端子測定法

Co 基ホイスラー合金を用いた高効率スピン注入

最近、私たちの研究室では、Co 基ホイスラー合金の Co_2MnSi をスピン源として用いたスピン注入素子において明瞭なスピバルブ信号と Hanle 信号を観測し、ホイスラー合金から GaAs へのスピン注入に成功しました。さらに、そのスピン信号の大きさは従来の Fe や CoFe を用いた場合よりも一桁以上大きくなり、

Co₂MnSi の優位性を実証しました.

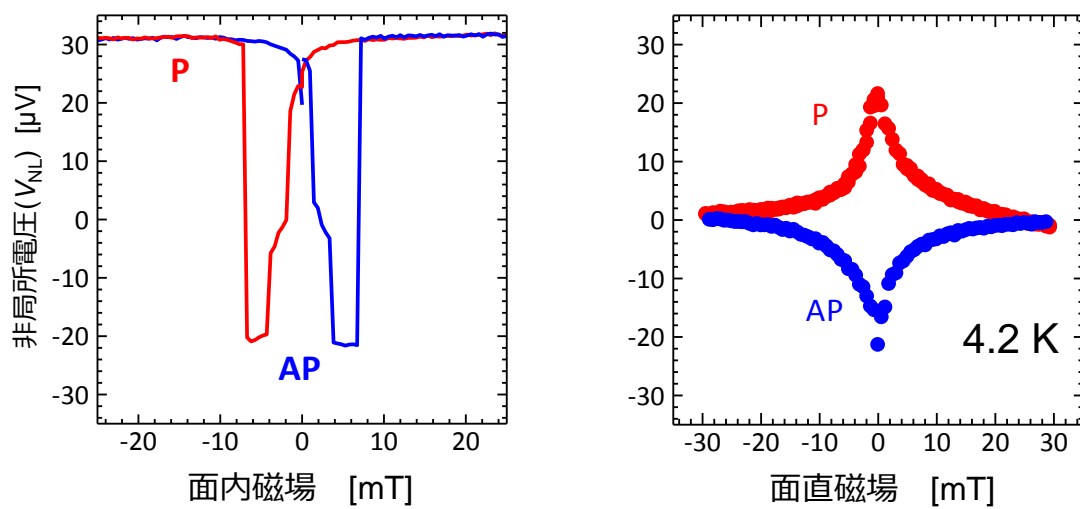


図3 Co₂MnSi を用いた GaAs へのスピン注入