

半導体スピン注入を用いた核スピンのコヒーレント制御

秋保貴史, 蝦名優也, 山本眞史, 植村哲也
(北海道大学)

Coherent control of nuclear spins using spin injection into semiconductor

T. Akiho, Y. Ebina, M. Yamamoto and T. Uemura,
(Hokkaido University)

はじめに

近年, 強磁性体電極から半導体に注入された電子スピンにより核スピンを効率的に偏極する動的核スピン偏極(DNP), 及び, 核磁気共鳴(NMR)による核スピン制御が量子情報デバイスへの応用の観点から注目されている. 最近, 我々は, ホイスラー合金 Co_2MnSi (CMS)から GaAs への高効率なスピン注入と, 注入された電子スピンを用いた高効率な DNP を実証した[1,2]. 本研究の目的は, 半導体スピン注入技術を利用し, NMR による核スピンのコヒーレント制御を実証することである.

実験方法

CMS 電極をスピン源, n 型 GaAs をチャンネルとするスピン注入素子に対し, 4 端子非局所配置にて, 大きさ 114 mT の静磁場 (\mathbf{B}_0)を Fig. 1 に示すように z 軸から約 5 度傾けた方向に印加し, 460 秒間待機した. 注入電流 (I)は 90 μA であり, このとき, DNP により生成される核磁場と外部磁場が打ち消しあい, 電子スピンの作用する有効磁場はほぼゼロとなる. この状態を初期状態として, 周波数 $f = 1150$ kHz の正弦波高周波磁場 (\mathbf{B}_{ac})を時間 τ_p の間印加したときの非局所電圧 (V_{NL})変化を計測した. \mathbf{B}_{ac} の周波数は ^{69}Ga に対する NMR の共鳴周波数に相当する. なお, 測定はすべて 4.2 K で行った.

結果および考察

Fig. 2 に $\tau_p = 56, 112$ μsec の \mathbf{B}_{ac} パルス照射後の V_{NL} の時間変化を示す. V_{NL} は RF パルス照射により ΔV_{NL} だけ変化し, その後, 数百秒の時間スケールで初期状態まで回復した. V_{NL} の急峻な変化は, ^{69}Ga の核磁場が NMR により変化することで, 電子スピンの作用する有効磁場が増大し, その結果, 電子スピンの歳差運動が誘起されたために生じたものと考えられる. さらに, Fig. 3 に示すように, ΔV_{NL} は τ_p に対し明瞭に振動し, このことは, 核スピンの \mathbf{B}_0 方向の成分が高周波磁場印加によりコヒーレントに振動すること, すなわち, 核スピン系に形成された量子準位間の Rabi 振動を意味する[3]. 半導体スピン注入を用いた Rabi 振動の実証は本研究が初めてであり, 量子 Hall 素子を用いた従来研究[4]に比べ, 低磁場, かつ, 高温での実証は, デバイス応用上, 有用と考えられる.

参考文献

- [1] Y. Ebina et al., APL **104**, 172405 (2014). [2] T. Akiho et al., PRB **87**, 235205 (2013). [3] T. Uemura et al., PRB **91**, 140410(R) (2015). [4] T. Machida et al., APL **82**, 409 (2003).

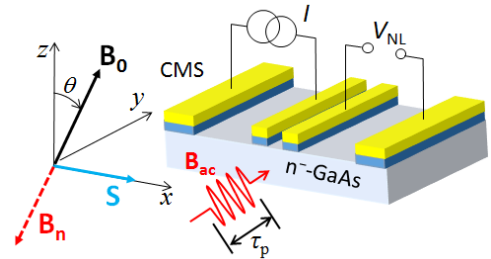


Fig. 1. Schematic diagram of device structure and circuit configuration.

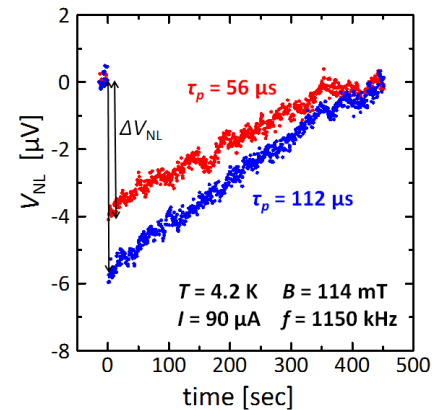


Fig. 2. Time evolution of V_{NL} . Pulsed rf-magnetic field with duration of 56 μs (blue curve) and 112 μs (red curve) was applied at $t = 0$.

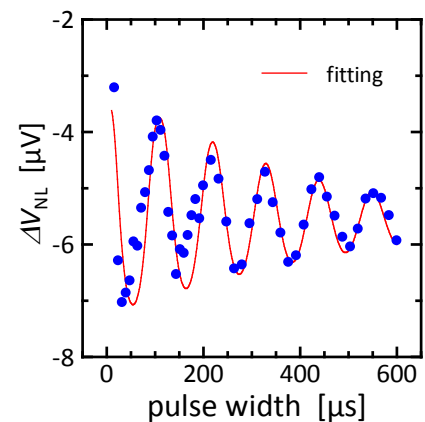


Fig. 3. ΔV_{NL} vs. τ_p (Rabi oscillation).