

利用課題番号 : F-13-NM-0021  
 利用形態 : 技術代行  
 利用課題名 (日本語) : MR 素子用微細電極形成  
 Program Title (English) : Fabrication of micro-electrodes for MR devices  
 利用者名 (日本語) : 古曳 重美  
 Username (English) : S. Kohiki  
 所属名 (日本語) : 九州工業大学 工学研究院  
 Affiliation (English) : Kyushu Institute of Technology

## 1. 概要 (Summary) :

環境保護・地球温暖化に向けた低消費電力 IT 研究の一環として、我々は高い費用対効果比、容易な製造プロセスのドロップキャスト  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子トランジスタを提案した [Kohiki et al, IVC-19/ICN+T2013 (9-13 September 2013, Paris, France)].  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  は 858K 以下で  $4\mu\text{B}$  の自発磁化、100% のキャリアスピン偏極率を有する。ナノ粒子の自発磁化が共線形六方配列を形成すれば、トンネル磁気抵抗比(MR)は -50% に達することになる [Inoue et al, *Phys. Rev. B* 53, R11927 (1996)]. 我々はオレイン酸で表面を修飾した (OA-)  $\text{Fe}_{2.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_4$  ナノ粒子自己組織化膜を作製、MR = -40% を達成した [Kohiki et al, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 3, 3589 (2011)]. 更に、OA- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子自己組織化膜で -50% 以上の MR を得、Normally OFF 型磁場制御電流スイッチ二端子素子に展開した [Kohiki et al, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 5, 11584 (2013)]. 今回、このスイッチ素子にゲート電極を設置、OA- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子トランジスタとしてゲート電圧によるトンネル電荷量の制御を行い、300% に達する電流増幅を実現した。

## 2. 実験 (Experimental) :

### 【利用した主な装置】

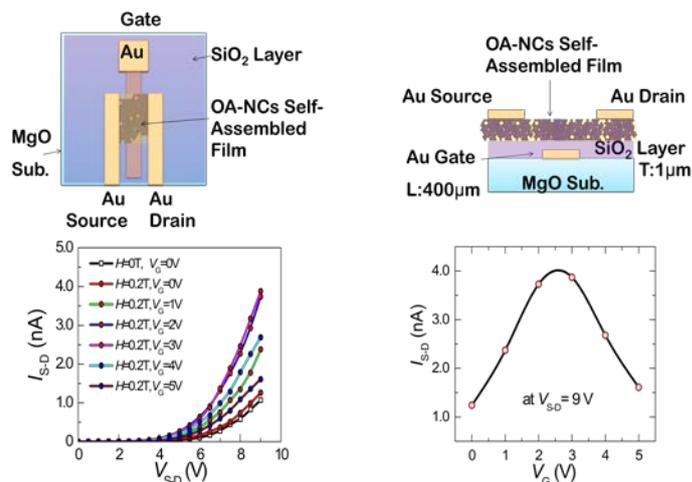
- ・レーザー露光装置
- ・全自動スパッタ装置
- ・12 連電子銃型蒸着装置
- ・プラズマ CVD 装置
- ・酸化膜ドライエッチング装置
- ・ダイシングソー

**【実験方法】** リソグラフィーにより電極パターンを形成、EB 蒸着やスパッタ、そしてリフトオフにより Au のゲート、ソース、ドレイン電極を形成した。CVD 法を用いてゲート絶縁膜 ( $1\mu\text{m}$  厚  $\text{SiO}_2$ ) を作製した。

ゲート長は  $1\text{mm}$ 、 $0.5\text{mm}$ 、 $0.1\text{mm}$ 、 $0.01\text{mm}$  の 4 種類とし、トランジスタ作製の基板とした。

有機溶媒中で  $\text{Fe}(\text{acac})_3$  を環流、熱還元して  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子 ( $\sim 50\text{nm}^\phi$ ) を合成した。これを非水溶媒に分散したコロイド溶液を基板上に滴下、乾燥し  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子自己組織化膜を作製した。更に、この膜上に Au 電極をスパッタ形成した。磁場  $H$  とゲート電場  $V_G$  を印加し、室温でソースドレイン電流を測定した。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion) :



トランジスタの平面図と断面図を上部左右に、 $H = 0.2\text{ T}$ 、 $V_G = 0\text{--}5\text{ V}$  に於ける  $V > 0$  の  $I\text{-}V$  特性と  $V = 9\text{ V}$  に於けるトランスファークラークを下部左右に示した。 $I\text{-}V$  特性は非線形、MR は負、クーロンブロッケード閾値電圧は  $3\text{--}4\text{ V}$  であった。冪乗スケーリングより 3 次元の電子トンネル経路と判った。 $V_G \sim 2.5\text{ V}$  で最大 300% のソースドレイン電流増幅が達成された。

## 4. その他・特記事項 (Others) :

なし

## 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation) :

なし

## 6. 関連特許 (Patent) :

なし