

令和5年度の研究(または活動)内容

まず、昨年度から継続して、構成メンバー間の活発な交流や、効率的な研究の推進、研究費の有効活用などを目的として、構成メンバーが各自の研究室に所有する実験機器の共同利用を推進した。本年度は新たに真空型グローブボックスなどが追加され、計 50 近い実験設備とシミュレーションソフトウェアが共同利用可能な状況となった。現時点での成膜、微細加工、材料・デバイス特性評価装置など共同利用可能な設備を表 1 に示す。これらの装置の利用については構成メンバー内での利用に留まらず、産学連携交流会などのイベントを通して外部企業・団体などの利用も進むよう呼びかけを行っている。今後は新たな構成メンバーの追加や、メンバー間の新規研究テーマの開拓などを通してこれらの装置の相互利用の推進を図りたい。

表 1：現在の主な共用可能装置一覧

光学 フーリエ変換型赤外分光装置(FT-IR) 紫外可視吸光光度測定装置(UV-Vis) ラマン分光装置	配線 マニュアルワイヤーボンダー ダイボンダー
電気特性 電気化学測定・インピーダンス評価 高圧高周波用アンプリファイア ポテンショスタット 半導体パラメータアナライザ LCRメータ インピーダンスメータ	低温・強磁場 超電導マグネット付き無冷媒冷凍機 無冷媒冷凍機システム 強力電磁石
成膜 抵抗加熱式真空蒸着装置 電子線蒸着装置 DCスパッタ装置 静電塗布装置 原子層堆積装置 (ALD) 3元真空スパッタ装置(CFS-4ES) カーボン系CVD装置 化合物系CVD装置	磁気特性 ループトレーサー (軟磁性体専用) 磁気抵抗効果測定装置 (軟磁性体専用)
微細加工プロセス 試作用マスクレスフォトリソシステム 酸・アルカリ用ドラフト 有機用ドラフト UVオゾン・ドライクリーナー マスクアライナー 電子顕微鏡 (EDX付)	切断・加工 ダイヤモンドワイヤーソー ホットプレス装置 ガラス切断機
	質量分析・その他 粘度測定器 歪検査器 ガス置換電気炉 オゾン洗浄装置 酸化炉 探針式段差計(Alfa-Step) 電磁界解析ソフト (JMAG-designer) マイクロマグネティクスシミュレーター オープン 超音波洗浄機 電気炉 真空型グローブボックス

2. メンバー間の共同研究の実施

構成メンバー間の共同研究として、強磁性電極と結合した半導体量子ドットによるスピントランジスタの作製に関する共同研究が行われた。共同研究は、磁性研究を行っている田河研究室と、半導体ナノテクノロジーの研究を行っている柴田研究室の間で行われた。前年度に田河研究室の学生による素子構造の最適化に関するシミュレーション研究が実施されたことを受けて、本年度は実際の素子作製値とその評価に関する実験が行われた。特に本年度は学内公募研究からの研究費を得て試料の作製に取り組んだ。

図1に令和4年度に田河研によって行われた大きなトンネル磁気抵抗を得るための強磁性 Ni 電極構造のシミュレーション結果を示す。左図に示されるように、赤で示された幅 20nm 程度の細い Ni 電極と、青で示された幅 1 μ m 程度の幅広い Ni 電極を狭いギャップを挟んで対向させた上で、横方向に磁場を印加することで、赤い電極と青い電極の磁化方向が反転するタイミングを意図的にずらすことができ、右図に示されるような明瞭なトンネル磁気抵抗を観測できることが示された。この結果を踏まえて令和5年度に柴田研によって素子の作製を行い、トンネル磁気抵抗の観測を行った結果を図2に示す。Ni の磁区構造による磁気抵抗を最小限に抑えるために、Ni トンネル接合部の直近まで金パターンを配線した構造を作製した(図 2a)。Ni ナノ接合部をヒューズを切る原理で通電断線することでナノメートルレベルのギャップを作製し、トンネル磁気抵抗を作製した結果を図 2b に示した。明瞭なトンネル磁気抵抗は観測されたが、磁化が反平行配置となる磁場範囲がシミュレーション結果(図 1 右)とは異なり狭いことと、4K 程度の低温環境でしかトンネル磁気抵抗が観測されないことが分かった。今後の主な改善点としては、強磁性電極中の膜質の改善などが考えられ、田河研の有する高真空スパッタ装置を用いた強磁性電極の形成などを試みる予定である。

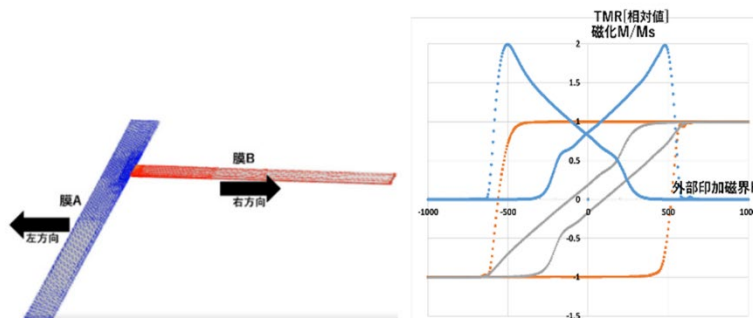


図1：田河研による三次元マイクロマグネティクスシミュレーターを用いた強磁性ナノギャップ電極形状の最適化（左図）とトンネル磁気抵抗のシミュレーション結果（右図）。

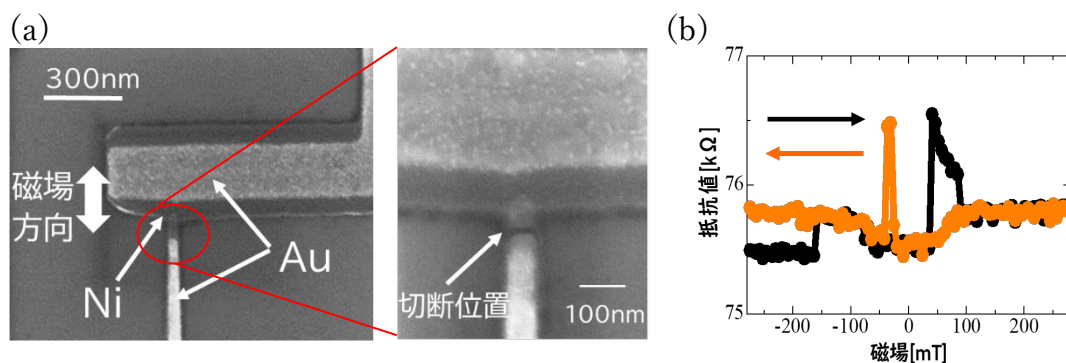


図2：(a)作製された強磁性ナノギャップ金属電極. (b)トンネル磁気抵抗の実験結果.