

【助成 41-21】

磁性単原子終端されたナノ構造体を用いた高輝度スピン偏極電子源の開発

研究者 三重大学大学院工学研究科 准教授 永井 滋一

〔研究の概要〕

電子スピンに関連した物理現象を電子デバイス等に応用するスピントロニクス分野は、高速、省電力デバイスの開発技術として期待されている。スピントロニクス分野の進展には、ナノ領域での磁性体表面ダイナミクスの知見を得る必要がある。そのプローブとしてスピン偏極電子源を搭載した顕微分析技術の進展は不可欠である。そこで本研究では、磁性体で単原子終端されたナノピラミッド構造をもつ電界放出型電子源の基礎特性の評価を行った。その結果、室温で最大偏極度 60% の性能を持つ電子源を実現することができた。さらなる高輝度化を目的にナノ突起構造体を有する下地タングステン陰極の開発に着手し、タングステンナノ突起構造体に起因する局在準位からの電子放出を明らかにした。

〔研究経過および成果〕

電子デバイスの高速省電力化を実現するスピントロニクス分野の進展には、ナノ領域での磁性体表面ダイナミクスの知見を得る必要がある。そのプローブとしてスピン偏極電子源を搭載した顕微分析技術の進展は不可欠である。現在、光電子型スピン偏極電子源を搭載した低速電子顕微鏡が実現されているが、スピン偏極電子を励起するレーザー光の焦点径によって光源サイズが制限されるため、空間分解能に課題が残されている。そのため、本研究では、超高輝度スピン偏極電子ビーム放出を実現するための電界放出型電子源を試みた。作製した磁性体(Co)終端された陰極からの電界放出電子ビームの放出電流とスピン偏極度を測定し、最適動作条件を検討した。

本研究では、ナノピラミッド構造を作製する基板となる陰極として Pt tip を用いた。電界イオン顕微鏡を観察しながら電界蒸発によって表面清浄化を施した。原子レベルで清浄な表面を確認した後、超高真空中で磁性体金属として Co を 7 ML 堆積させた。作製され

た Co/Pt tip 上にナノピラミッド構造を形成するために、その場で 1000 K で加熱処理を施した。加熱時間に対して、電界放出電子のスピン偏極度を測定した結果を Fig. 1 に示す。この結果は、陰極の温度を室温として、全放出電流 3 nA における測定結果であり、蒸着直後では、放出電子のスピン偏極は殆ど観測されなかったが、10 分間の加熱によって偏極度は 25% 程度まで増加した。加熱時間 60 分までは加熱時間にたい

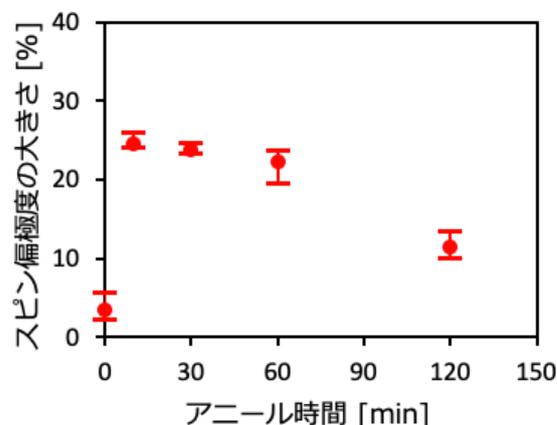


Fig. 1. 加熱時間に対するスピン偏極度 (陰極温度:室温, 全放出電流: 3nA).

してわずかに低下し、120分では13%まで大幅に低下した。その要因として、加熱時間の増加によって、ナノピラミッド構造体表面のCo原子が表面拡散あるいはPtとの合金化することで、電子放出サイトから減少したためであると考えられる。Fig. 2は加熱時間60分および120分の陰極において、放出電流に対するスピン偏極度を測定した結果である。放出電流が小さいほどスピン偏極度が增大する傾向がみられ、特に加熱時間60分の陰極において、最大スピン偏極度60%を達成している。この値は、室温動作可能な電界放出型スピン偏極電子源としては、研究代表者が報告したCo₂MnGa陰極に匹敵するものである。

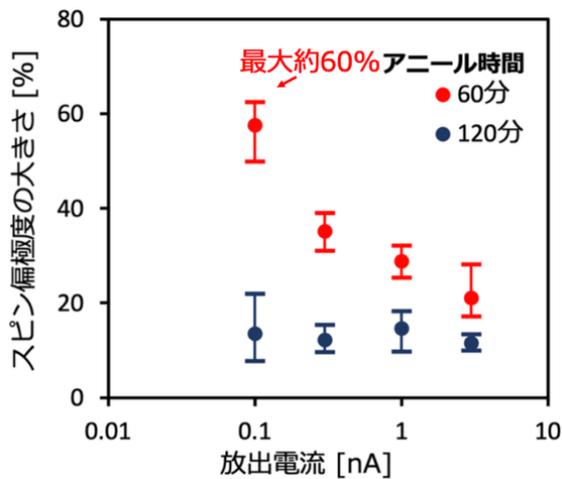


Fig. 2. 放出電流に対する Co/Pt 陰極からの電界放出電子のスピン偏極度。

ナノピラミッド構造だけでなく、ナノ突起構造体をベースにした磁性単原子終端された電子源の開発を進めてきた。その第一段階として、これまでに実績があるタングステン陰極に対して電界誘起酸素エッチングを施すことで、数 nm の先端曲率半径の陰極および100nm程度の曲率半径の陰極上にナノ突起構造体を形成し、これらの先端からの放出電子のエネルギー分析を行った。その結果、局在準位からの電子放出

が生じることで、単色性に優れたが明らかになり、今後磁性金属の蒸着による高輝度かつ高偏極度の電子源開発を継続して進めている。

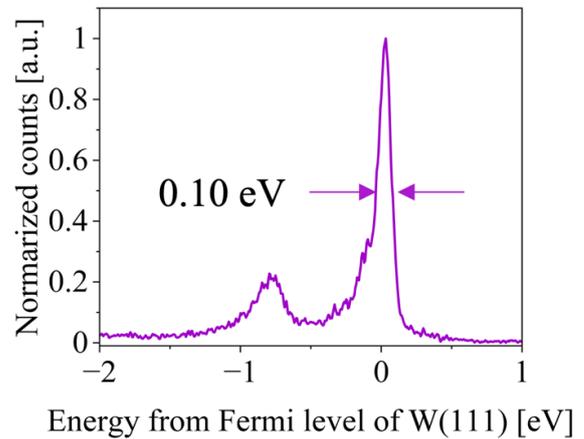


Fig. 3. 単原子終端したタングステン電界放出陰極からの電界放出電子のエネルギースペクトル

[発表論文]

1. 志摩 惇紀, 岩田 達夫, 永井 滋一, “電界誘起酸素エッチングによって先鋭化された W 電界放出陰極のエネルギー分布”, 第85回応用物理学会秋季学術講演会, (新潟), 2024.9.17.
2. Junki Shima, Tatsuo Iwata, Shigekazu Nagai, “Energy distribution of W field emitters sharpened by the field-assisted oxygen etching”, 15th International Symposium on Atomic Level Characterization for New Material and Devices, (Matsue), 2024. 11.9.