

磁気トンネル接合素子に対する放射線照射効果の実測評価 2

Experimental Study on Radiation Effects on Magnetic Tunnel Junctions 2

小林大輔 ¹⁾	梯友哉 ¹⁾	廣瀬和之 ¹⁾
D. KOBAYASHI	Y. KAKEHASHI	K. HIROSE
池田正二 ²⁾ 山ノ内路彦 ²⁾	佐藤英夫 ²⁾ Eli Christopher	遠藤哲郎 ²⁾ 大野英男 ²⁾
S. IKEDA M. YAMANOUCHI	H. SATO Enobio ²⁾	T. ENDOH H. OHNO
小野田忍 ³⁾	牧野高紘 ³⁾	大島武 ³⁾
S. ONODA	T. MAKINO	T. OHSHIMA

¹⁾JAXA宇宙科学研究所 ²⁾東北大学 ³⁾原子力機構

(概要) 磁気トンネル接合素子の放射線耐性を調査した。この素子は二端子素子であり、電子の磁氣的性質であるスピンを利用することで、高抵抗または低抵抗状態のいずれかを取ることができる。そのため、書き換え可能な不揮発性デジタルメモリとして機能する。低抵抗状態にした素子に 15 MeV シリコンマイクロビームを照射し、照射前後で抵抗値を測定・比較した。その結果、照射後の抵抗値は照射前と同じであること、すなわち、記憶したデータは保持されていることを確認した。この結果は、照射時に、素子にバイアス電圧を印加しても変わらないことを確認した。

キーワード：磁気トンネル接合素子，スピントロニクス，不揮発性メモリ，重イオン照射効果

1. 目的

プロセッサに代表される半導体集積回路は情報エレクトロニクス機器の心臓部である。計算速度を上げるために回路素子の微細化が進められてきたが、その弊害として消費電力の増大と放射線耐性の低下が深刻になっており、それらをいかに克服するかが課題となっている。この課題を解決する技術として、電子が持つ磁石としての性質であるスピンを活用した、新しい半導体集積回路技術「スピントロニクス」が注目されている。

磁気トンネル接合「MTJ (Magnetic Tunnel Junction)」はこの技術の中核を担う素子である。二つの強磁性金属を電極として持ち、それらによって薄い絶縁体を挟みこんだ二端子構造からなる。可変抵抗として機能し、その抵抗値はスピンの向きに依存したトンネル効果に従って決まる。具体的には、二つの強磁性金属の磁化の相対的な向き、すなわち、平行か反平行かに応じて、高抵抗または低抵抗の値を安定的に取ることができる。スピントロニクスでは、主に、この二つの抵抗値をデジタル信号に割り当てることで、MTJを書き換え可能なデジタルな不揮発性メモリ素子として活用する。MTJは原理的に放射線に耐性があると言われており、いくつかの論文でそれを支持する実験結果も報告されている。しかし、近年開発されているMTJは、それらで調べられているものに比べて、ずっと小さい素子サイズになっている上に、新しい磁化制御方式が導入されているため、これまで通り放射線耐性があるかどうか疑問である。そこで、我々は 2011 年度より日本原子力研究開発機構の施設供用制度を利用して、この素子に対する放射線照射効果を追求している¹⁾。

2. 方法

試料は東北大学にて作製したものであり、直径 70nm の円柱形である。電気特性を評価するために上層配線と下層配線を直交するように配置し、MTJをその交点で二層を垂直に繋ぐように作製した。作製したMTJは強磁性金属にCoFeB、絶縁体にMgOを採用しており、垂直磁気異方性をもつことが特徴である²⁾。すなわち、磁化の向きは円柱の円盤面に垂直に揃う。放射線を円盤面に垂直となるよう照射し、照射前後で抵抗値が変化するか調べた。照射試験にはタンデム加速器を利用した。

3. 結果及び考察

まず TA 照射ポートを用いて 3 MeV シリコンを照射した所、昨年度の試験結果と合わせて、素子に選択的に照射し、なおかつ、チャンバから取り出すことなく特性を評価することが望ましいという結論を得た。

この結論を踏まえて、TB ポートによるマイクロビームを利用して次の実験を行なった。まず、素子を低抵抗状態、つまり、二つの強磁性金属の磁化の向きを平行に揃えた状態に初期化し、これを半導体デバイス微小領域照射装置の真空チャンバに接続した。同装置にて $1.6 \mu\text{m}$ 径に集束した 15 MeV シリコンイオンマイクロビームを $0.8 \mu\text{m}$ ステップでずらしながら MTJ を含む $40 \mu\text{m}$ 角四方をスキャンした。各ステップでの滞留時間を調整することで MTJ に照射される粒子数を調整し、1 または 100 となるようにした。照射時には、素子の二つの電極をソースメーターに接続してバイアスを印加した。印加したバイアスの種類は 0 V (短絡)、 $\pm 0.1 \text{ V}$ 、 $\pm 0.5 \text{ V}$ の 5 種類である。これらは初期化した抵抗状態を反転させるに至らない大きさである。照射前後で直流抵抗を測定し比較した。

測定の結果、いずれの照射条件でも抵抗値は測定のばらつきの範囲で一致した。低抵抗状態が放射線照射によって高抵抗に反転する、シングルイベントアップセットは、少なくとも本試験の範囲では確認されなかった。バイアス印加状態での MTJ の重イオン耐性を明らかにしたのは、本研究が初めてである。本内容をまとめ国際会議 RADECS に投稿し採択された³⁾。今後の展望として、高抵抗状態に初期化して同様の照射試験を実施し、保持している抵抗値によらずシングルイベント耐性があることを確認が必要である。また、本研究では DC 特性を評価しているので、過渡的な特性についても確認したい。

4. 引用(参照)文献等

- 1) D. Kobayashi et al., JAEA Annu. Rep. 2011 (2013) 15.
- 2) S. Ikeda et al., Nature Materials **9** (2010) 721.
- 3) D. Kobayashi et al., Conference of Radiation Effects on Components and Systems (RADECS), oral presentation G-1.