

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 共鳴磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリの創製

2. 研究代表者名: 小柳 光正 (東北大学大学院工学研究科 教授)

3. 研究概要

本研究は、代表者が提案した共鳴磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリを実現し、その動作を確認し、それをを用いた新しいメモリ回路の可能性を示すことを目的としている。SAND 法と呼ぶ新しい膜形成手法を用いて、ドット粒径が 1~3nm で、従来より約 1 桁高いドット密度 ($2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$) をもつ FePt ナノドットの形成に成功した。また、FePt ナノドットを浮遊ゲートとする MOS 構造を用いて磁気トンネル・ナノドット不揮発性メモリの基本的な動作の確認にも成功している。

4. 中間評価結果

4 - 1. 研究の進捗状況と今後の見込み

磁気ナノドットは熱処理に対して不安定性を示すことや磁性が劣化するなどの課題があったが、ある程度までの磁化特性を持つ FePt ナノドットの形成条件が確立され、FePt 浮遊磁気ナノドットへの電子のスピン選択トンネルとメモリ効果を確認した。これは目標のデバイスの基礎原理を確認したものであり重要な進展である。FeSi 系材料の検討においては基本的な性質を探るためバルクや薄膜で特性を評価している段階であり、ナノドットに向けた取り組みとしてはやや遅れている。モデリングに関しては、磁気ナノドットデバイスのシミュレーションに向けて磁界や磁化制御などの計算をしているが、収束などの問題が残っている。スピン依存トンネル特性などにもさらなる検討を要し、本格的なデバイスのシミュレーションの確立にはさらなる工夫が必要である。今後は磁気ナノドット形成のプロセスとトランジスタ作製技術との組み合わせが必要であり、両方のプロセスの整合性も重要となる。

4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込み

(1) 層状の FePt 浮遊ゲートをもつ磁気フラッシュメモリ構造を試作し、磁気トンネルによるメモリ効果を確認した。

(2) FePt ナノドットを形成する方法やアニール法を種々検討し、アニール後でサイズ 3-5 nm、密度 $10^{13} / \text{cm}^2$ 以上の磁気ナノドット層を形成するプロセスを確立するとともに、これらが室温で保磁力 20kOe の良好な磁化特性を持つことを明らかにした。

(3) ナノドットの磁化状態の直接観察に成功した。

(4) ダマシンプロセスにより、ヨーク構造付埋め込みビット線を形成するプロセスを確立した。

などの成果が得られている。今後メモリとしてのトータルプロセスの構築が要求されるが、代表者のグループはシリコン系半導体デバイス作製に関して技術蓄積があり、プロジェクトの期間内に

実現できると思われる。

4 - 3 . 今後の研究に向けて

本研究では、メモリ情報の保持においてドットに蓄えられた荷電量の安定性を利用している。磁気トンネルの方向性は完全に一方向性ではないためドットに蓄積した荷電の長期保持が可能かの検討を要する。また磁気ドットも寸法が小さいため、スーパーパラ磁性状態に近い状態にあると考えられるため長期間同一磁化状態に留めうるかという疑問が残る。これらに対する基礎的検討、実験的検討が望まれる。ナノドットの磁気特性の研究で批判に耐える基礎科学上の成果を確立するためには、グループ内の人的な強化、国内外の専門研究者との連携などを行い、研究体制を強化することも望まれる。

本研究と関連して、フラッシュメモリやMRAM他多くの代替技術がある。現在主流のフラッシュメモリの大容量化は応用面で益々重要になってきているが、64G ビットあたりに限界が予想されている。本研究のデバイスについて、メモリ容量・書き換え回数・消費電力などに関し検討を加え、現行の技術やスピンを用いないナノドットメモリに比べどの程度メリットがあるか、定量的に見積もり、その利点 (Figure of Merits) を明らかにすることが重要である。

4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

磁気ナノドット、それを用いたデバイスは戦略目標に良く合致した研究テーマである。現在はメモリ試作の準備が整い、これから単体・メモリセル試作へ進む段階である。磁気ナノドットの作製と特性の制御はある程度順調に進展することが見込まれる。メモリデバイスとして有効性を示す段階に達することを期待する。予想通りのデバイス動作が実現すれば産業界にインパクトを与え得る。

4 - 5 . 総合的評価

近年 Si ナノドットや金属ナノドットを用いたメモリの研究開発が活発に行われているが、本研究では、そのドット材料に磁性材料を用い、磁氣的トンネル効果でそれを制御する新しい不揮発性メモリを実現しようとするものである。FePt ナノドットがハードな磁気特性を示すことを発見するなどの進展があり、デバイスのプロセスや構造に関し解決すべき技術課題が明確化されてきている。高密度磁気ナノドット形成法の確立、磁気ナノドットによるメモリ効果の確認など基本部分では順調に進展している。デバイス化やデバイス特性の評価は遅れ気味ではある。しかし、デバイス化は代表者が実績をもつシリコン技術の延長線上にあるので解決されることを期待する。最終的なデバイスが完成すれば、シリコン集積回路技術に新たな自由度が導入され、インパクトは大きい。積極的に推進すべきプロジェクトである。