

研究課題名 ナノ微粒子による新規磁気記録法の開発

所属研究機関名 北陸先端科学技術大学院大学

研究者氏名 山本 良之

. 研究計画の概要

研究の趣旨・目的

微細加工による半導体デバイスの集積度は、ムーアの法則に従って指数関数的に高密度化しているが、ナノメートルスケールに突入した現在、既存の技術では加工の限界、絶縁破壊、消費電力の増大等、様々な問題に今世紀初頭にぶつかることは明白であり、ナノ領域の安価で簡便な微細加工法が求められている。一方、これまでのエレクトロニクス技術はシリコンベース半導体の電子の持つ「電荷」を制御することによって成立し、高度に発展してきたが、高度情報化社会を迎え、様々な要求に対してこの方式の限界が認識されつつある。この状況を打破するために、近年、電子の持つ「電荷」の自由度に加え、磁性の源である「スピン」の自由度をエレクトロニクス技術に取り込もうという動きがあり、従来にはない全く新しい機能をもったデバイスの開発が盛んに行われている。以上のような事情を鑑みると、ナノ領域の微細加工法の開発と、半導体の伝導性に加え磁性体のスピン自由度を組み入れたエレクトロニクスデバイス開発の両方を満たしたデバイス構造の研究は急務である。本研究では、磁性ナノ微粒子材料を用い、半導体基板と複合させて素子を形成する手法の開拓を行って、既存のリソグラフィ技術で困難な数十nm以下の微細加工と大量プロセスに耐えられる安価な製法を確立する。また、この加工法を用いて、スピンの依存する電気伝導現象を利用した磁気記憶素子の開発を行う。具体的には、化学的に合成される有機分子で保護された磁性金属微粒子が二次元六方超格子状に自己配列する現象を利用してナノ構造を形成し、それを単層膜化する。この超格子構造を持った微粒子膜を従来のリソグラフィ加工で形成した微細電極ギャップの間に配置することで、強磁性電極をソース・ドレイン、絶縁体である有機分子保護膜をトンネル障壁、磁性ナノ微粒子を「島」とした多重障壁構造をもったスピン依存単電子トンネルデバイスを形成する。

研究計画の概要

ナノ微粒子を用いた磁気メモリーを実現するために、その構成素子にあたる有機分子被覆金属ナノ微粒子の調製法と基礎物性の研究を初年度から行う。ナノ微粒子の作成手法としては金属塩の有機分子、還元剤の存在下における還元手法を用いる。このときの被覆分子、濃度を様々なものに変えることにより、微粒子の粒径、分布を制御して合成を行う。作製した微粒子は、XRD、TEMによる構造評価と磁化、ESR、磁気光学効果といった磁気測定で評価する。

その後、単分散した金属微粒子が、基板上で単層、且つ、密に格子を組んだ膜を形成する手法を新たに確立する。金属微粒子コロイド溶液のスピンコートによる方法、ディップ、ラングミュアープロジェクト(LB)膜の手法等、様々な膜形成を試み、条件出しを行う。ナノ微粒子膜の表面を直接観察するため、走査型プローブ顕微鏡を設置し表面観察による評価を行う。

さらに、素子形成とその集積化に向けて基板上の所望の位置に選択的に超格子膜を形成、パターンニングする手法の研究を行う。具体的には電子ビームによる微粒子膜のパターンニングや、疎水性の部分と親水性の部分にあらかじめパターンニングされた基板上に、微粒子膜を形成させるなどの方法を試みる。このようにパターンニングされたナノ微粒子膜を、半導体基板上に形成した微細電極ギャップに配置し、微細ギャップ間を超格子状微粒子で架橋する。構造はSEMと走査型プローブ顕微鏡で評価し、伝導度測定装置でクーロンブロックとトンネル磁気抵抗効果(TMR)を観測して磁気メモリーとしての動作を調べる。

研究計画の詳細報告

(単位：百万円)

研究項目	所要経費					
	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	合計
1. ナノ微粒子の作成手法の開発、及び基礎物性評価						
(1)有機分子保護金属ナノ微粒子作成装置および微粒子膜作成装置の設置と立ち上げ	← 6 →					6
(2)有機分子保護金属ナノ微粒子の合成	← 3 →	3	2			8
(3)磁気光学測定装置の設置と立ち上げ	← 4 →					4
(4)磁気測定による基礎物性評価	← 1 →	1				2
2. 自己組織化単分散ナノ微粒子膜の作成、走査型プローブ顕微鏡による膜の評価						
(1) 自己組織化単分散ナノ微粒子膜の作成		← 1 →	1			2
(2)膜評価のための走査型プローブ顕微鏡及び伝導度測定装置の設置と立ち上げ		← 16 →				16
(3) 自己組織化単分散ナノ微粒子膜の走査型プローブ顕微鏡による評価		← 2 →	1			3
3. ナノ微粒子膜のパターンニング手法の開発及び素子の試作						
(1) ナノ微粒子膜のパターンニング手法の開発			← 2 →			2
(1) 二重障壁トンネル磁気抵抗素子の試作、測定					← 2 →	2
4. とりまとめ						
所要経費(合計) (間接経費を含む)	14	23	8			45

研究成果の概要

研究成果の概要

これまでに、パラジウム、白金、金微粒子及びコアシェル構造のパラジウム - ニッケル磁性微粒子の化学的な手法による合成を試み、その粒径制御を行った。被覆分子と金属錯体の比を制御することや、熱処理によって図1のような非常に粒径が揃い、且つ、個々の粒子が分離した単分散ナノ微粒子を得た。基礎物性評価のために、これまでポリビニルピロリドン被覆パラジウム微粒子、パラジウム-ニッケル微粒子、白金ナノ微粒子の磁気特性を様々な粒径で測定し、その磁化曲線が超常磁性に従うことが分かった。磁気モーメントの大きさは粒径の減少とともに増大することが観測され、量子サイズ効果によるものであることを明らかにした。

金微粒子については被覆有機分子にポリビニルピロリドン、ポリアリルアミン塩酸塩、ポリアクリンの3種の高分子の他、金と非常に親和性の高いリガンド分子であるドデカンチオールを使って合成を行った。高分子で被覆した金微粒子は粒径制御が非常に困難で、また、その粒子径分散も大きいものであったが、ドデカンチオールを用いることで1.8~6nmの範囲で粒径を制御して作成することができた。また構造評価から粒径変化に伴う格子定数の変化をこの広い範囲にわたって測定し、全ての粒径で微粒子がfcc構造を保ち、その格子定数は3nm程度までバルクの値から殆ど変わらず、それ以下で若干大きくなる傾向が明らかになった。また、磁気光学効果の一種であるX線磁気円二色性(XMCD)の実験をSPring-8で行い、ポリアリルアミン塩酸塩被覆金ナノ微粒子の磁気偏極現象を世界で初めて見出した。これはバルクで磁性をもたない金が、ナノサイズにすることで磁性をもつようになることを示す結果であり、物理的に興味深い現象である。

また、LB法を用いて微粒子を集積化させ、単層の膜形成を試みたところ、六方格子状に配列した微粒子の単層膜を得ることができた(図2)。得られた微粒子膜のフーリエ変換を施すことで、超格子の長距離秩序を反映したスポットが得られたことから均一な構造を持っていることが分かった。

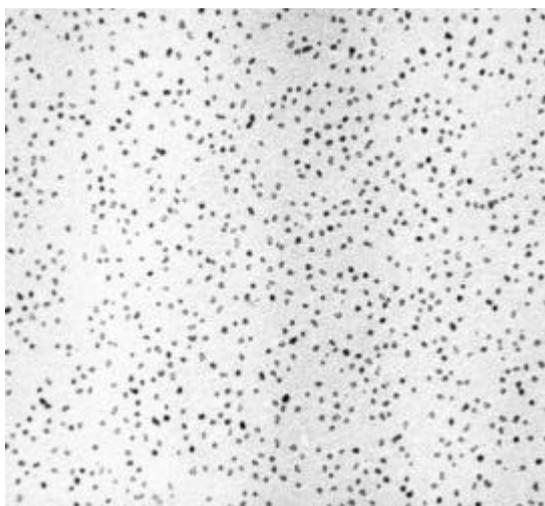


図.2

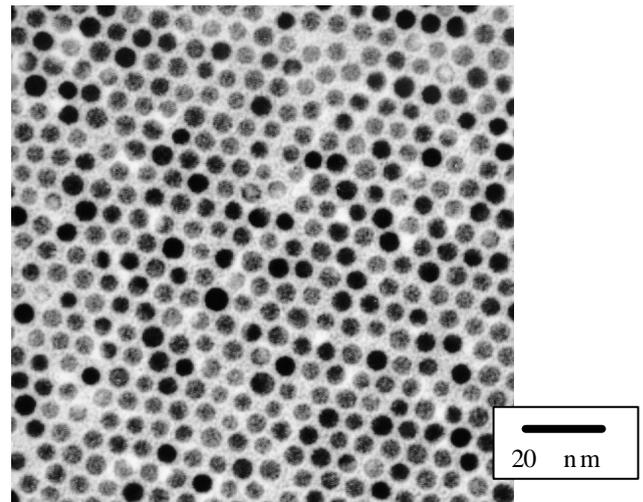


図.1

波及効果、発展方向、改善点等

磁性微粒子として作成したパラジウム - ニッケル微粒子は磁気特性評価から磁気異方性が十分でないことが分かったため、磁気記憶を安定して保つことのできる高い保持力を持った二元金属微粒子の作成を試みる。LB法で形成した微粒子の単層膜は、今後微細加工で形成した電極に転写することにより、輸送測定を行う。現在までに、電極間隙だけでなく全体に渡っての膜の状態の膜の伝導測定を行っているが、多数の電流パスを持った構造であるため、電子帯電効果による明瞭なクーロンブロック特性を持ったI-V曲線を得るに至っていない。多数のメモリーセルを基板上に形成するためにも、この膜をパターンニングする手法を15年度より開発し、制限された電流パスをもつ微粒子膜の伝導測定を行う予定である。

研究成果発表等の状況

(1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	0件	1件	3件	4件
国際	2件	0件	2件	4件
合計	2件	1件	5件	8件

(2) 特許等出願件数

合計 0件 (うち国内0件、国外0件)

(3) 受賞等

0件 (うち国内0件、国外0件)

(4) 主な原著論文による発表の内訳

* 発表者氏名；発表題目；文献名、巻(号)、頁、(掲載年)の順

国内誌 (国内英文誌を含む)

該当なし

国外誌

- 1.Y. Yamamoto: Magnetic properties of the noble metal nanoparticles protected by polymer, Physica B 329-333, 1183-1184, (2003)
- 2.M. Taki: Spin polarization of a 2D electron gas and magnetization problem of nano-particles, Physica E 12, 942-945, (2002)

(5) 主要雑誌への研究成果発表

Journal	Impact Factor	合計
PhysicaB	0.663	0.663
PhysicaE	1.009 (Impact Factor 2002)	1.009

ナノ粒子による新規磁気記録法の開発

