

Title	GaAs基板上Ni膜の微細化効果の研究
Author(s)	松尾, 晶
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	none
URL	http://hdl.handle.net/10119/2119
Rights	
Description	Supervisor:堀 秀信, 材料科学研究科, 博士

GaAs 基板上 Ni 膜の微細化効果の研究

北陸先端科学技術大学院大学
材料科学研究科
松尾 晶

1 はじめに

近年、半導体とナノオーダー微小強磁性体とを組み合わせた半導体・強磁性体複合材料に関する研究が盛んに行われている。マクロな強磁性体の内部は、静磁エネルギー、磁気異方性エネルギーや交換エネルギーの競合の結果、異なる磁化方向を持った分域（磁区）に分かれ全体として消磁しており、磁区と磁区の境界では、磁化ベクトルは一方の磁区の磁化方向から他方の磁区の磁化方向に、徐々に向きを変えている。この磁化方向の遷移層が磁壁であり、マクロな強磁性体では数十 nm から数百 nm の厚みを持つ層になる。一方、この磁壁幅程度に微細化されたナノオーダー強磁性体はどのような磁区構造をとるのか？たとえばアスペクト比の大きな細線では、形状磁気異方性が大きくなり、長手方向に磁化ベクトルは向き、強磁性体内部に磁壁のない単磁区構造をとるとというのが一般的である。

このような単磁区構造を持つ強磁性細線を用い、加えて意図的に磁壁を注入することで、長い間不明瞭であった磁壁の電気伝導への寄与、磁壁の生成・消失速度等が解明されつつある。これがナノオーダーの強磁性細線を用いた基礎的研究の一つの流れとして存在する。一方、MRAM(磁気ランダムアクセスメモリ)に代表される高密度記憶媒体への開発が、半導体・ナノオーダー微小強磁性体複合材料の応用面の研究として挙げられる。従来の光と磁気とを組み合わせた光磁気記憶媒体では数 Gbit/cm² が限界であるのに対し、磁気記録の不揮発性・高集積性と半導体メモリの高速性を兼ね備えた MRAM は数 100Gbit/cm² オーダーの高密度化が予想されており、Lohau らが研究段階で 15 Gbit/cm² の高密度化に成功している。

本研究ではサブミクロン・オーダーでの量子干渉効果が良く見られる GaAs と、典型的な強磁性体バンド構造をもつ Ni とを組み合わせた。また Ni・GaAs 複合体は GaAs の軽い伝導電子を介し Ni と GaAs との間に磁氣的相互作用が存在すると予想されている系でもある。

2 GaAs 上 Ni 細線の試料作製

Ni 細線は電子ビームリソグラフィ、抵抗加熱蒸着とリフトオフを用いて自然酸化膜付 GaAs 基板上に作製した。細線一本あたりの大きさは線幅 500nm、長さ 28 μ m、厚み 50nm である。この大きさを持つ細線の他に線幅・厚みを変えた数種類のサンプルを準備した。また、磁化測定・ESR(電子スピン共鳴)測定を行うに当たり、一本の Ni 細線では測定のスIGNAL強度が得られない。測定のスIGNAL強度を得るために上述の大きさの Ni 細線を 3mm \times 3mm の大きさの GaAs 基板上に約 27 万本作製した。多数本の Ni 細線を作製する際に線幅・厚みのパラメーターに加えて細線と細線の間(細線間間隔)を変えたサンプルも作製した。間隔の異なる試料を測定することで、上述の GaAs を介した Ni と GaAs との間の磁氣的相互作用の存在が明らかになると期待できる。

3 実験結果およびディスカッション

磁気力顕微鏡 (MFM) 観察

図 1 - A は GaAs 基板上に線幅 500nm の Ni 細線が 3 本並んでいる時の MFM 像である。一本の細線の磁区構造を見てみる。通常このように高いアスペクト比を持つ細線では強い形状異方性のために単磁区構造をとるが、図 1 - A では細線が長手方向に対し垂直に磁化して、その磁化方向が周期的に反転していることが分かる。その反転周期は約 1.1 μ m となっている。さらに 3 本の細線を同時に見ると、細線間にあたかも相互作用があるかのような形で磁区構造が決定されている。つまり間隔 500nm を隔ててお互い隣り合う磁区の磁極が同じになっており、それぞれの細線の周期的磁区構造が 180 $^{\circ}$ の位相差を保った形で構成されている。これは静磁エネルギーを増大する結果になる。また、線幅を半分の 250nm にすると、長手方向に対し垂直に磁化して、周期的な磁化反転を持つという磁区構造は保たれたまま、その周期が約半分の 500nm になるという特徴が確認できた(図 1 - B)。つまり線幅が 1/2 になるとその反転周期も 1/2 になるという興味深い相関が見出された。

一方、線幅が 500nm 以上では図 1 - C (線幅 700nm) に示すような磁区構造になる。周期的な磁化反転を持つ磁区構造とは全く違った複雑に入り組んだ曲線の磁区を持つ構造である。このような迷路状磁区では試料に対して、磁壁の占める割合が増え、磁壁エネルギーが増大することになる。また線幅を更に広げた細線や、アスペクト比を大きくかえた細線についても、縞状磁区構造は保たれたままである。

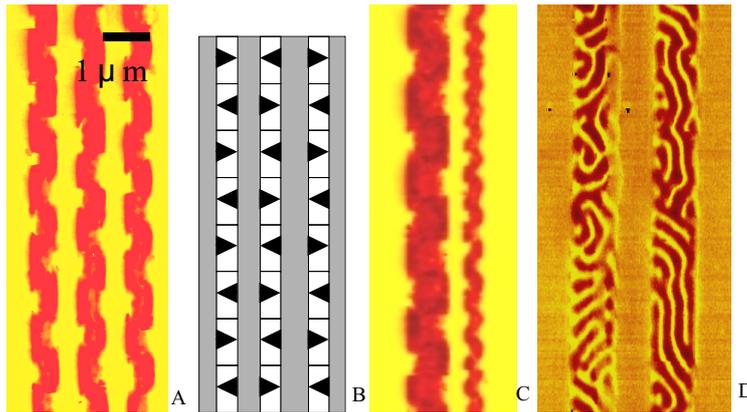


図1 線幅 500nm の Ni 細線の MFM 像(A)とその模式図(B)。線幅 500nm と 250nm の像(C)。線幅 700nm の像(D)。

他の半導体・強磁性細線の組み合わせ(Ni 細線と Si 基板)(Ni-Fe 細線と GaAs 基板)では磁氣的に閉回路を組む磁区構造か単磁区構造のみが確認できた。周期的磁化反転磁区構造と縞状磁区が確認できたのは GaAs と Ni との組み合わせのみである。周期的磁化反転磁区構造や縞状磁区が構成される要因として強磁性細線の結晶性が問題になることがある。つまり結晶磁気異相性が明確に定まった単結晶強磁性細線では、比較的良く似た周期的磁区構造が構成されることがある。そこで本研究で用いた細線の結晶性について調べた。X 線回折と反射型高速電子線回折の結果から酸化膜付 GaAs 基板上 Ni 細線は多結晶であることが確認できた。一方多結晶でも、サンプル作製時と MFM 観察時の温度の違いから、歪が生じ歪により磁区構造が決定される場合がある。そこでアニールを行い、再び MFM 観察を行った。結果はアニールによる効果は全く確認できず、アニール前後で磁区構造は全く変化しなかった。また、作製時と観察時の温度差について、単磁区構造をとる Ni 細線と Si 基板の組み合わせの方が Ni 細線と GaAs 基板の組み合わせよりも熱膨張係数の差が大きい。熱膨張係数の差が大きい Ni 細線と Si 基板の組み合わせで単磁区になっていることから GaAs 基板上の Ni 細線が取る周期的磁化反転磁区構造が歪で決定されているとは考えにくい。以上、MFM 観察の結果から GaAs 基板上 Ni 細線は特異な磁区構造を作ることが確認できた。その原因として GaAs と Ni との磁氣的相互作用の可能性が挙げられる。

磁化測定

周期的磁化反転磁区構造をもつ線幅 500nm 厚み 50nm の細線を間隔 500nm を隔てて多数本作製したサンプル(基準サンプル)の磁化測定を行った。また、間隔が 250nm、と 1 μm のサンプル、線幅が 1 μm のサンプル、厚みが 25nm のサンプル、厚みと間隔をそれぞれ 25nm と 250nm に変えたサンプルの磁化測定も行った。印加磁場方向は基板に平行で細線にも平行(面内平行)、基板に平行で細線に垂直(面内垂直)、基板に垂直・細線にも垂直(面垂直)の三方向ある。基準結果となる基準サンプルの面内平行に印加磁場がかかっている時の結果を図 2 A に示す。MFM 観察の結果から細線の長手方向に対し面内垂直に磁化容易軸が

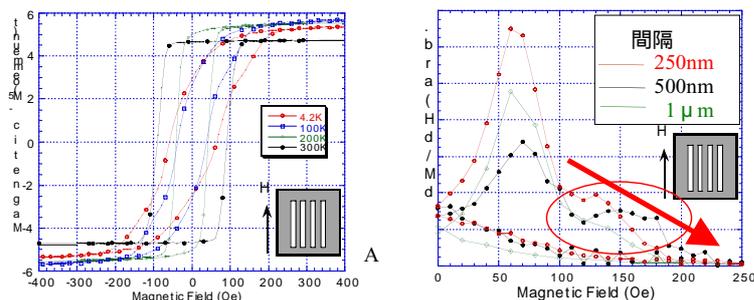


図2 基準試料の磁化過程(A)。

間隔依存性についての微分磁化

あると期待されていた。しかし磁化過程の結果では、面内平行に磁場がかかっている時にヒステリシス・ループの角比が大きくなり、細線の長手方向が磁化容易軸であることが確認できる。このことは細線の大きな形状異相性が効いていることを意味する。また、間隔依存性について面内平行に磁場がかかっている時の微分磁化の結果を図 2 - B に示す。1500e 付近に存在する磁化困難領域が間隔を広げると高磁場側にシフトしていき間隔が 1 μm になると消えることが確認できた。このことは細線間に働いていた磁氣的相互作用が線幅を広げることで弱まったことを意味している。さらに、細線間の磁氣的相互作用の存在を示唆する結果は、厚みが 25nm のサンプルの測定結果(面内垂直)に現れた。試料は間隔が 500nm(図 3 - A)、と 250nm(図 3 - B)である。間隔が 500nm の試料の結果では保磁力が 100Oe、飽和磁場が 400Oe である。一方、間隔が半分の 250nm 場合は、それぞれ 50Oe・200Oe になっている。間隔が狭くなったことで保磁

力・飽和磁場が小さくなっている。このことは、細線間の磁氣的相互作用が存在することを示唆している。磁化過程の結果からも Ni 細線間に磁氣的相互作用が存在することが示唆された。

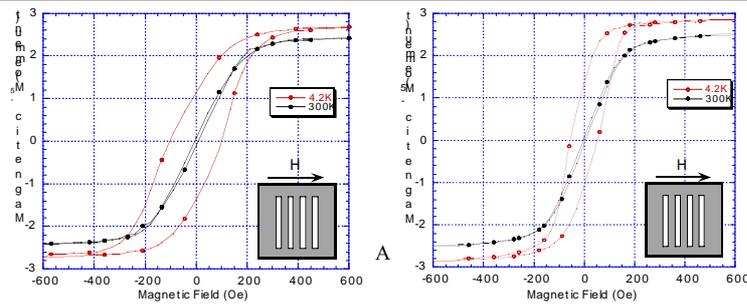


図3 厚み 25nm の試料の
磁化過程
間隔が 500nm(A)。
間隔が 250nm(B)

電子スピン共鳴 (ESR)

同じサンプルについて、ESR の結果を示す。基準サンプルに磁場が面内垂直にかかっている時を 0° とし、 15° 刻みで回転させた測定結果(図 4 - A)と、磁場が面内平行にかかっている時を 0° とし 15° 刻みで回転させた時の測定結果(図 4 - B)を示す。ESR の測定においても、線幅依存・間隔依存等の測定を行ったが、結果に有意な差は現れなかった。しかし、共鳴吸収は飽和磁場以上で起こっていることが分かった。

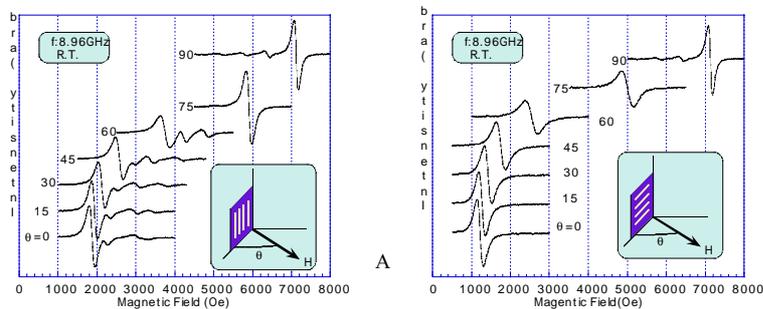


図4 基準サンプルの ESR 結果
 0° で印加磁場が面内垂直
の時(A)、面内平行(B)

また、サテライトが現れる印加磁場方向と現れない印加磁場方向があり、角度依存性が強いことが確認できた。また、図 4 - A に見られるサテライトについて細線間の磁気双極子相互作用を用いたモデル(静磁氣的スピン波モデル)で説明を試みたが良い結果は得られなかった。このことは細線間に働いている磁氣的相互作用が磁気双極子相互作用ではなく GaAs を介した交換相互作用であることを示唆する結果である。

4 まとめ

GaAs 基板上 Ni 膜を微細化することで以下の現象を発見した。

- ・ MFM 観察：線幅 500nm 以下で単磁区構造ではなく長手方向に対し垂直に磁化し、周期的に磁化反転をする磁区構造。一つ一つの磁区は従来の磁区よりも 1 桁小さい磁区であり、MRAM への応用が期待できる。(現行の 100 倍の高密度化が可能)
- ・ 磁化測定：間隔 250nm 程度で細線間の磁氣的相互作用がある。
- ・ ESR 測定：細線間の GaAs を介した交換相互作用が存在する。MFM 観察と磁化測定から GaAs と Ni との磁氣的相互作用が示唆されたが、その相互作用が ESR 測定の結果から交換相互作用である可能性が強くなった。

