

# 大容量 HDD を実現する GMR ヘッド

GMR Heads for High-Capacity HDD

岩崎 仁志  
H. Iwasaki

福家 ひろみ  
H.N. Fuke

上口 裕三  
Y. Kamiguchi

コンピュータの外部記憶装置の主流をなすハードディスク装置 (HDD) の記録密度は年率 60 %もの勢いで増加しており、2000 年には 1 インチ角当たり 10 G ビットの記録密度が予想される。この実現には現行の MR (磁気抵抗効果) ヘッドよりも数倍以上高感度な GMR (巨大磁気抵抗効果) ヘッドが不可欠であるが、数 nm の極薄膜の積層構造からなる GMR の熱的信頼性確保が最大の課題である。

当社が開発した CoFe 合金強磁性層と IrMn 反強磁性バイアス層からなるスピバルブ GMR は良好な熱的信頼性を示し、世界に先駆けた GMR ヘッドの実用化が期待される。

Recently, the recording density of hard disk drives (HDDs) has increased at the rate of 60 % annually. A recording density of 10 gigabits per square inch is expected to be achieved in the year 2000. Giant magnetoresistance (GMR) heads with high sensitivity are essential for realizing this dramatic increase in recording density. The greatest impediment to their practical application, however, is thermal reliability, because GMR films are composed of some extremely thin layers.

We have developed spin valve GMR films with CoFe ferromagnetic layers and an IrMn antiferromagnetic bias layer which show excellent thermal stability. The spin valve GMR we have developed is expected to lead to the first GMR heads in the world.

## 1 まえがき

コンピュータの外部記憶装置の主流をなす HDD の記録密度は、マルチメディア時代をにらんで年率 60 %もの勢いで増加している。このペースで記録密度の向上が進むと、2000 年には 1 インチ角当たり 10 G ビットもの面記録密度が実現する (数十 G バイトの大容量 HDD に相当)。

その実現には、現行の MR ヘッドよりも数倍以上高感度の新たな物理現象である GMR を利用したヘッドが不可欠である。実用化には、比較的構成が単純であり、線形動作が得やすいスピバルブ型の GMR が有力である。スピバルブ GMR は、フリー層 (強磁性層)、非磁性導電層、ピン層 (強磁性層)、ピン層への反強磁性バイアス層からなる積層膜構成である。各層の厚みが数 nm ときわめて薄く、また各積層界面の状態により GMR 現象が大きく左右されるので、熱的信頼性の確保が実用化のかぎを握る。IBM 社が 91 年に初めて報告した NiFe 合金フリー層や FeMn 合金反強磁性層を用いたスピバルブ GMR では耐熱性の確保が困難である (1),(2)。

この問題を解決するために、当社は CoFe 合金フリー層、IrMn 合金反強磁性層を用いたスピバルブ GMR ヘッドを開発した。このヘッドは、現行の MR ヘッドではトラック幅 1  $\mu\text{m}$  当たり 1 mV を超える大きな再生出力、良好な左右対称のトラック感度プロファイル、10 %以下の上下波形非対称性などの特性をもつ (3)。ここでは、このスピバルブ

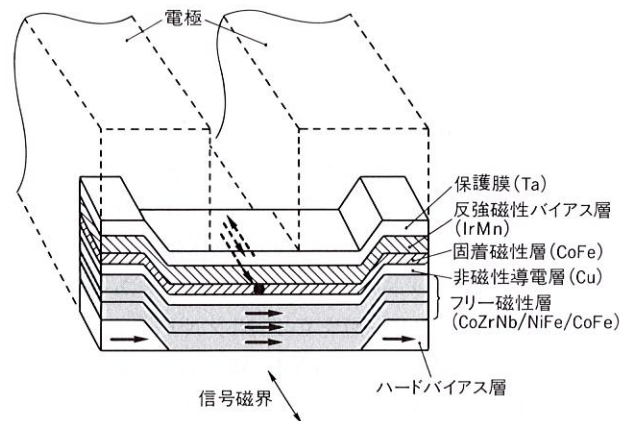


図1. スピバルブ GMR 素子の構造 フリー層は CoFe, NiFe, CoZrNb の 3 層からなり、媒体磁界=0 でハードバイアス膜からの磁界により素子の長手方向に磁化が向く。一方、CoFe ピン層の磁化は IrMn 反強磁性バイアス膜により素子幅方向に固着する。

Structure of spin valve GMR element

GMR の優れた耐熱性について述べる。

## 2 スピバルブ GMR の構成と基本特性

開発したスピバルブ GMR 素子の構成を図 1 に示す。

下から非晶質 CoZrNb (5~10 nm)/NiFe (2~5 nm)/CoFe (2~4 nm)/Cu (2~3 nm)/Co90Fe10 (2~4 nm)/Ir22Mn78 (5~10 nm) の積層構成である。

このスピバルブの抵抗変化率は7~8%であり、2%以下の抵抗変化率である現行のMRヘッドや4%程度の抵抗変化率であるNiFe系スピバルブに比べて大きな値である。ヘッドに適用するには媒体磁界=0で、反強磁性バイアス膜によりピン層の磁化を媒体磁界流入方向(素子幅方向)にしっかりと固着して、一方ではフリー層の磁化は磁気異方性およびハード膜からのバイアス磁界を用いてトラック幅方向(素子長手方向)にそろえる(図2)。

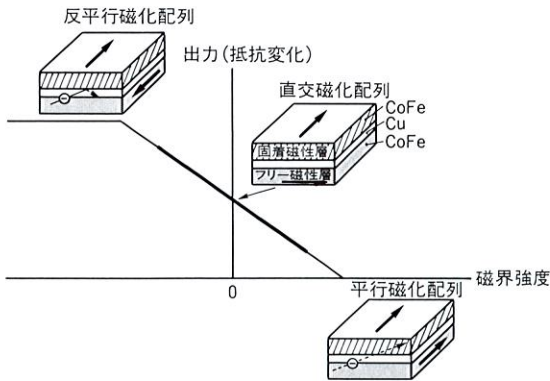


図2. スピバルブGMRの再生動作原理 媒体磁界=0でフリー層と固着層の磁化の直交関係が実現すると、線形応答動作が得られる。  
Read out principle of spin valve GMR

ハードバイアス磁界を必要最小限の大きさに設計して、フリー層の磁化が媒体磁界により回転すると、ピン層とフリー層の磁化のなす角度が変化して線形応答が得られることがスピバルブ動作のポイントである。CoFeフリー層では、軟磁性が良くないこと、すなわち媒体磁界に対する応答性が悪いことがヘッド応用上の大きな課題であった。これに対して当社は、フリー層をCoZrNb/NiFe/CoFeの三層構成として現行MRヘッドのNiFe膜と同レベルの軟磁性(保持力:1 Oe(エルステッド)以下、異方性磁界:10 Oe以下)を実現した<sup>(4)</sup>。

一方、ピン層の磁化を完全に固着するためには、強力に熱的に安定なバイアス磁界を発現する反強磁性膜が必要である。しかし、図3に示すように従来のFeMn膜ではバイアス磁界が室温では300から400 Oeであるものの、バイアス磁界の消失温度(ブロッキング温度)が150°C前後と低く、HDDで要求される最高ヘッド動作温度(125°C程度)ではバイアス磁界が大幅に劣化してしまう。また、腐食しやすいことも大きな問題である。当社は、室温でのバイアス磁界が500 Oe以上と非常に大きな値で、ブロッキング温度が250°C前後で、125°Cでも300 Oe程度の大きなバイアス磁界が得られるIrMn膜を開発した<sup>(5)</sup>。IrMn合金は、自然腐食電位も-2.4 VとNiと同レベルであり、FeMn(-0.84 V)よりも大幅に耐蝕性が良好である。

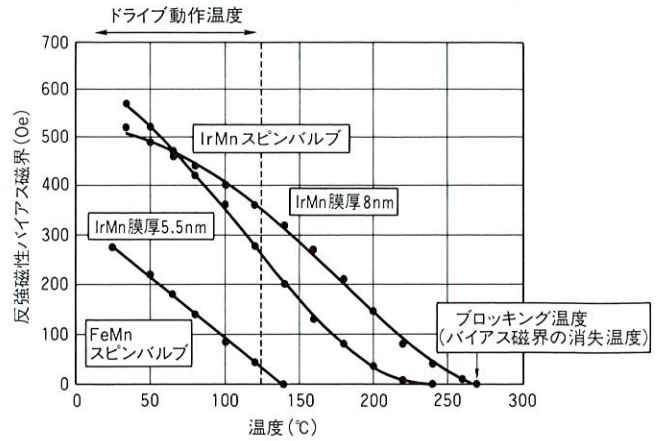


図3. 反強磁性バイアス磁界の温度依存性 FeMn反強磁性膜に比べて、IrMn反強磁性膜(5.5 nmと8 nm厚)は100°C以上でも300 Oe以上のバイアス磁界を示す。

Temperature dependence of bias magnetic field due to antiferromagnetic films

### 3 積層界面の拡散信頼性

ここでは、今回開発したCoFe-IrMn系スピバルブでは、従来スピバルブと比較して界面拡散によるGMR特性劣化の心配がないことを述べる。

図4に、NiFe系とCoFe系スピバルブにおける感度の熱処理温度依存性を示す。感度は単位磁界当たりの抵抗変化率を意味する。NiFe系では、NiFeとCuの界面拡散のために200°C以上の温度で抵抗変化率が劣化して感度が大きく低下する。ヘッド作製工程では250°C程度の温度に数時間さらされるので、NiFe系では長期信頼性だけでなくヘッド作製工程での感度劣化も問題である。一方、CoFe系ではCoやFeとCuは固溶しにくいために界面が安定であり、300°Cでも抵抗変化率が安定である。

図5にIrMn反強磁性膜またはFeMn反強磁性膜を用いた

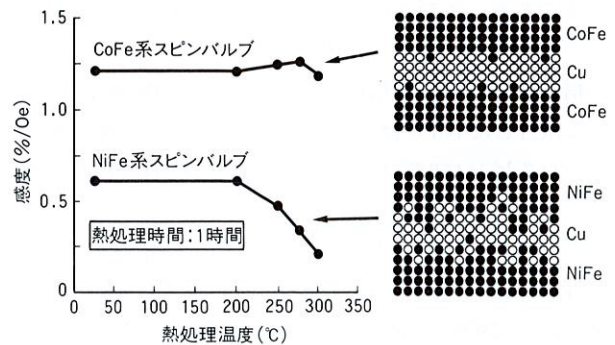


図4. 感度の熱処理温度依存性 NiFe系スピバルブに比べて、CoFe系スピバルブは界面拡散しにくく300°Cでも感度の劣化がない。

Annealing time dependence of sensitivity

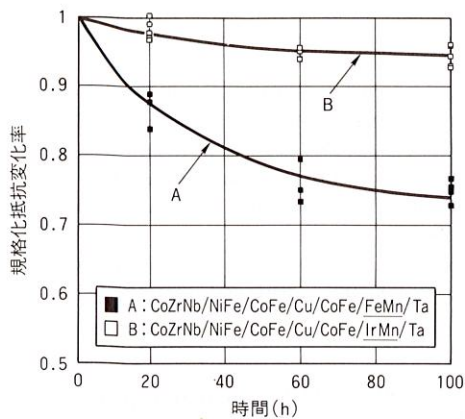


図5. 270°Cにおける抵抗変化率の保持時間依存性 FeMn系スピ  
ンバルブに比べて、IrMn系スピバルブは270°Cで100h保持しても  
抵抗変化率の低下はわずかであり、著しく界面が安定である。

Annealing time dependence of MR ratio at 270°C

CoFe系スピバルブにおける、270°C保持での抵抗変化率  
の経時変化を示す。IrMnスピバルブでは、270°C、100h  
の保持でも抵抗変化率の劣化は約5%であり、一方、FeMn  
スピバルブは25%程度の抵抗変化率の劣化がある。

図6に270°C保持での抵抗の経時変化を示す。FeMnスピ  
ンバルブでは界面拡散を示唆する5%程度の抵抗上昇が見  
られるが、IrMnでは抵抗も安定である。

図7に270°C、100h保持後の抵抗-磁界曲線を示す。  
IrMnスピバルブでは、100h後でも保持前と同様の曲線形  
状であり、反強磁性バイアス磁界やフリー層の軟磁性劣化  
は見られない。一方、FeMnスピバルブでは、保持前には  
IrMnと同様の曲線形状であったものが、100h後にはバイ  
アス磁界が低下し、フリー層の磁界応答が劣化してしまう。  
しかし、IrMn/CoFeスピバルブは積層界面がきわめて安  
定である。

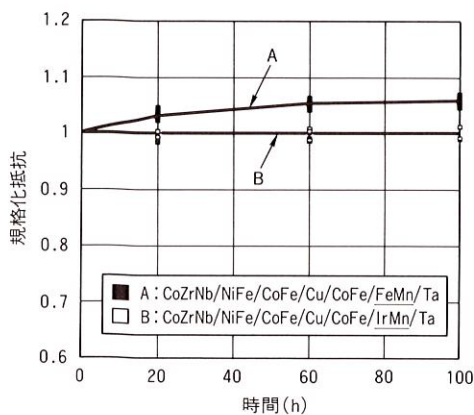


図6. 270°Cにおける抵抗の保持時間依存性 FeMn系スピ  
ンバルブでは、界面拡散を示唆する抵抗の増大が見られるが、IrMnではない。

Annealing time dependence of resistance at 270°C

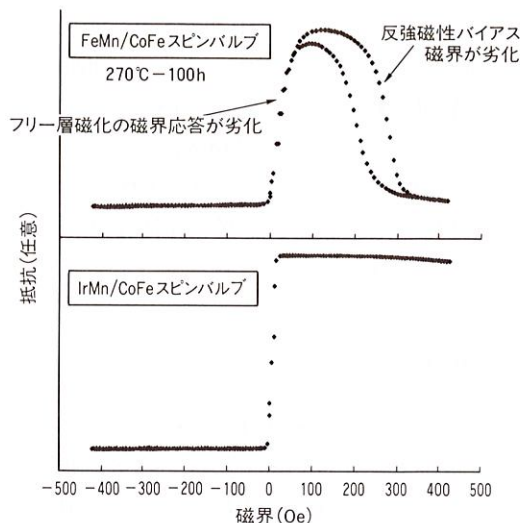


図7. 270°C、100時間保持後の抵抗-磁界曲線 IrMn系スピ  
ンバルブでは初期と同様な曲線形状を示すが、FeMn系スピバルブ  
では反強磁性バイアス磁界の劣化およびフリー層の磁界応答劣化が認  
められる。

R-H curves after annealing at 270°C for 100 hours

#### 4 GMRの温度特性

図8に、抵抗変化率、バイアス磁界、面抵抗、ピン層の  
保持力の温度特性を示す。抵抗変化率は温度上昇とともに  
徐々に低下するが、HDDの最高ヘッド動作温度近くの  
120°Cでも6%程度の抵抗変化率を維持している。面抵抗は  
温度上昇とともに徐々に増加する。温度係数は1,300  
ppm/°Cであり、現行MRヘッドの約1/2である。現行MR  
ヘッドでは、媒体とヘッドの瞬間的な接触によるヘッド発

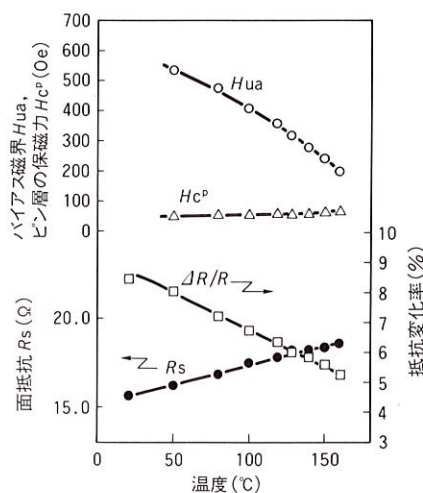


図8. 抵抗変化率、面抵抗、反強磁性バイアス磁界およびピン層保  
力の温度特性 CoFe/IrMn系スピバルブは、HDDにおけるヘッ  
ド動作最高温度近く(〜125°C)でも良好なGMR特性を示す。

Temperature characteristics of MR ratio, sheet resistance,  
exchange bias, and coercivity for pinned layer

熱のために、ベースライン (MR 抵抗) がシフトしてエラーレートが激減するサーマルアスペリティが問題となるが、抵抗の温度特性が緩やかな GMR ではサーマルアスペリティに対して有利である。バイアス磁界は 125°C でも約 300 Oe の大きな値が得られる。さらに、反強磁性バイアスが不安定になる指標の一つであるピン層の保持力増大も、温度上昇に対して安定である。

## 5 あとがき

当社開発の CoFe/IrMn 材料を用いたスピバルブ GMR は、優れた界面安定性および HDD でのヘッド動作最高温度近く (~125°C) でも良好な GMR 特性を示す。HDD の大容量化を牽引する GMR ヘッドの実用化がおおいに期待される。

今後は、ヘッドでの信頼性検証を進めていき、世界に先駆けた GMR 搭載ドライブの実現に向けて努力を続けていきたい。

## 文 献

(1) C. Tsang, et al: DESIGN, FABRICATION & TESTING OF SPIN VALVE READ HEADS FOR HIGH DENSITY RECORDING, IEEE Trans, Magn., 30, 6, pp.3801-3806 (1994)

(2) T.C. Huang, et al: Effects of annealing on the interface of giant magnetoresistance spin valve structures, Appl. Phys. Lett., 62 (13) 29, pp.1448-1480 (1993)

(3) H. Yoda, et al: DUAL ELEMENT GMR/INDUCTIVE HEADS FOR GIGABITS DENSITY RECORDING USING CoFe SPIN-VALVES, IEEE Trans, Magn., 32, 5, pp.3363-3367 (1996)

(4) Y. Kamiguchi, et al: Giant magnetoresistance and soft magnetic properties of Co90Fe10/Cu spin valve structures, J. Appl. Phys., 79 (8), pp.6399-6401 (1996)

(5) H.N. Fuke, et al: Spin-valve giant magnetoresistive films with Ir-Mn layers, J. Appl. Phys., 81 (8), pp.4004-4006 (1997)



岩崎 仁志 Hitoshi Iwasaki

研究開発センター 材料デバイス研究所主任研究員。  
磁気ヘッドの開発に従事。日本応用磁気学会会員。  
Materials & Devices Research Labs.



福家 ひろみ Hiromi Niu Fuke

研究開発センター 材料デバイス研究所研究主務。  
磁性材料、磁気ヘッドの開発に従事。日本物理学会、日本化学会、日本金属学会会員。  
Materials & Devices Research Labs.



上口 裕三 Yuzo Kamiguchi, D.Eng.

研究開発センター 材料デバイス研究所研究主務、工博。磁気ヘッドの開発に従事。日本金属学会、日本応用磁気学会会員。  
Materials & Devices Research Labs.