

## TGMRおよび面密度の向上

著:シーゲイト・テクノロジー シニア・エンジニア Lee Yoong Meng

### シーゲイト製品の面密度向上の経過

この 10 年間で、面密度における技術革新は目覚ましい発展を遂げてきました。1994 年には、面密度はわずか 1 Gbits/平方インチだったのが、今では驚異的な 100 Gbits/平方インチに到達しました。シーゲイト・テクノロジーは、12 の新製品を 2004 年 6 月に発表しました。この中には、新しい 2.5 インチフォームファクタである Momentus 5400.2 ファミリも入っています。この製品の面密度は 94 Gbits/平方インチ、トラック密度 128 ktpi、線密度 743 kbpI です。また、さらに、3.5 インチフォームファクタの Barracuda 7200.8 ファミリでは、その限界が 108 Gbits/平方インチという記録的な数値まで押し上げられました。

面密度の向上を図る過程で、必然的に現在のテクノロジーの限界まで到達することになったのです。このままいくと、GMR-SV (Giant Magneto-resistive Spin-valve: 巨大磁気抵抗効果スピバルブ)リーダーテクノロジーによって、100 Gbits/平方インチから 150 Gbits/平方インチの水準までは実現が可能とされています。次の課題は、どのようにしてその先へ辿り着くか、また、そのためにヘッドテクノロジーの開発をどう進めていくかになっています。シーゲイト社の TGMR (トンネリング GMR)に対する投資が、面密度の向上を継続的なものにするためのカギとなるでしょう。

### リーダーヘッドの基本要件

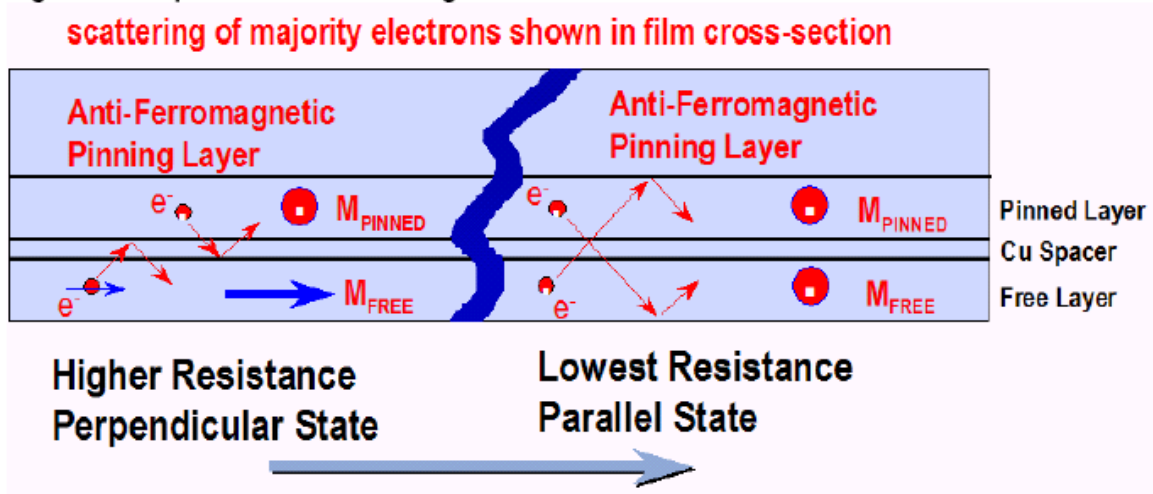
面密度が高いということはそれだけ媒体の磁性粒子サイズが小さくなるということです。このため、さらに感度の良いリーダーヘッドが必要になります。ヘッドの感度は、 $\Delta R/R$  で示されるように、抵抗変化で表されます。

### GMR の動作原理

多層GMRスタックは、固定層である上層と下層、間に非磁性層のない自由層の 3 層構造からなっています。固定層の  $M_{\text{pinned}}$  と呼ばれる磁化が固定されているのに対して、自由層には  $M_{\text{free}}$  と呼ばれる磁化があります。この磁化の角度は、外部フィールドの影響を受けます。

$M_{\text{free}}$  が  $M_{\text{pinned}}$  に対して垂直になっていると抵抗が大きくなり、大部分の電子は非磁性層によって散乱します。一方、 $M_{\text{free}}$  と  $M_{\text{pinned}}$  が平行になっていると抵抗は小さくなり、大部分の電子は固定層と自由層の間に自由に入ります。いずれの場合も、センス電流はGMRスタックの膜面に流れます。これはCIP (Current-In-Plane: 電流を膜面に水平に流す方式)と呼ばれます。

Figure 1: Simplest Case of Giant Magnetoresistance



- ① 膜断面に大部分の電子が散乱している  
Scattering of majority electrons shown in film cross-section
- ② 反強磁性の固定層  
Anti-Ferromagnetic Pinning Layer
- ③ 固定層  
Pinned Layer
- ④ Cu スペース  
Cu Spacer
- ⑤ 自由層  
Free Layer
- ⑥ 最も抵抗の小さい平行方式  
Lowest Resistance Parallel State
- ⑦ 抵抗が大きい垂直方式  
Higher Resistance Parallel State

図1：GMRの最も単純な例

### 100 Gbits/平方インチの壁を越えて

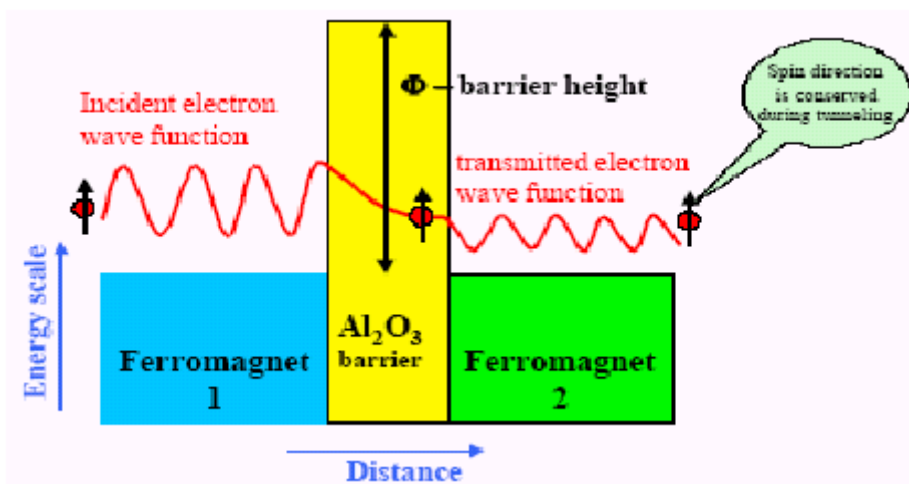
GMRは、これまで面密度の向上における重要な推進役でした。面密度はすでに、100 Gbits/平方インチの限界を超えようとしており、GMR - スピンバルブはバイアス高電流を増加することによって得られてきた感度増加の限界に達しようとしています。TGMRはGMRに比べてヘッド感度が優れているため、TGMRによって面密度は今後も確実に向上し続けるでしょう。実験データでは、GMRのヘッド感度15から20%に対して、TGMRのヘッド感度は20から30%を示しています。

### TGMRの動作原理

TGMRの基本的な動作原理の基盤となるのは、新しいトンネリング電子物理学です。TGMRは、2つの強磁性電極と、それに挟まれた薄い絶縁スペーサからなり、GMRとは違い、電子トンネリングは転送メカニズムに左右されるスピンですが、電子スピンは

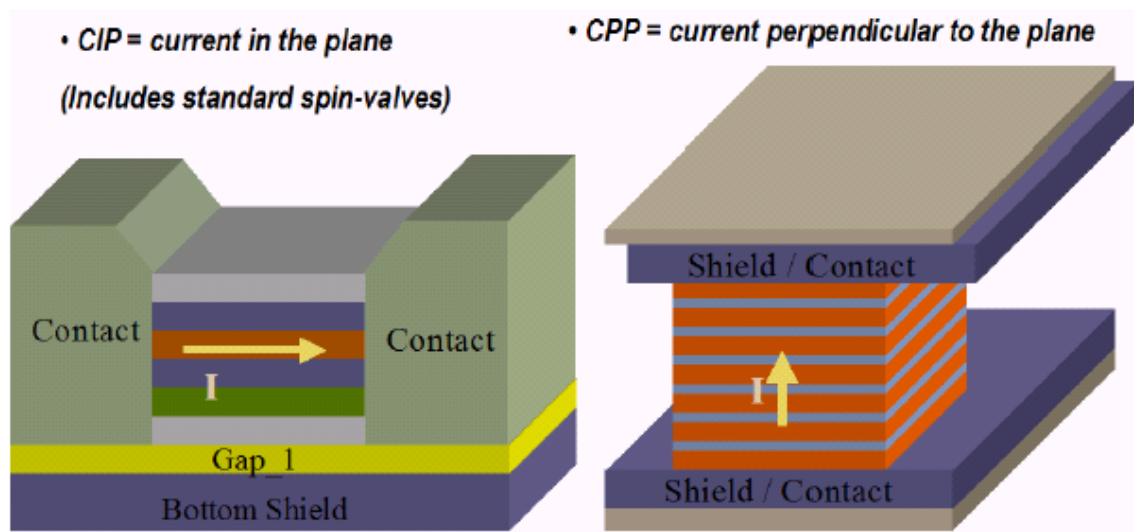
散乱しません。信号は磁化角度の相対的な変化によって異なり、スピン方向はトンネリング後も維持されます。「図 2: トンネリング GMR」を参照してください。

ここでは、センス電流が膜面に対して垂直になっている、つまり CPP (Current Perpendicular to Plane)であることに注目してください。GMR では、電流が膜面に対して平行に流れる、つまり CIP です。「図 3: TGMR のヘッド構造」を参照してください。



- ① 入射電子波関数  
Incident electron wave function
- ② バリアの高さ  
barrier height
- ③ スピン方向はトンネル処理中維持される  
Spin direction is conserved during tunneling
- ④ 伝送された電子波関数  
transmitted electron wave function
- ⑤ 強磁性体  
Ferromagnet
- ⑥  $\text{Al}_2\text{O}_3$ バリア  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  barrier
- ⑦ 距離  
Distance
- ⑧ エネルギー尺度  
Energy scale

図2:トンネリングGMR: スピン電子が酸化バリアを通して回転



- ① (標準スピバルブを含む)  
Includes standard spin-valves
- ② コンタクト  
Contact
- ③ ギャップ 1  
Gap 1
- ④ 下層シールド  
Bottom Shield
- ⑤ シールド／コンタクト  
Shield/Contact

図3: TGMRのヘッド構造(右側)とGMR(左側)の比較

### TGMR の利点

従来の CIP スピバルブに比べて、TGMR(トンネルリーダー)には次のような利点が期待できます。

- ・ 高い振幅
- ・ 優れた解像力
- ・ 優れたサイドリーディング
- ・ eSNR の軽減

### 見通しの明るい垂直記録方式

CPP方式にて動作するTGMRは、垂直記録に対するセンサーとしても優れています。現行の長手磁気方式と比較すると、垂直記録方式は、改善されたライタビリティを提供し、線密度の大幅改善とメディア温度の安定化へと導きます。シーゲイト社は、TGMRが直面している技術的な問題を克服し、“ストレージソリューション”を面密度の向上における新たな頂点へと導くと確信しています。