

酸化マグネシウム系トンネル磁気抵抗素子及びその量産技術

研究者：湯浅新治 独立行政法人産業技術総合研究所
エレクトロニクス研究部門スピントロニクスグループ長
開発企業：市川潤二 キヤノンアネルバ株式会社 代表取締役会長兼社長
(推薦者：吉川弘之 独立行政法人産業技術総合研究所 前理事長)



湯浅新治氏



市川潤二氏

1. 技術の背景

数ナノメートル以下の極めて薄い絶縁体層を挟む導電体に電圧をかけると、トンネル効果により絶縁体層を越えて微小な電流が流れる。両面の電極に磁性体を用い、磁力を作用させると、この電流は磁化方向の変化に応じて増減する。この現象をトンネル磁気抵抗効果と呼んでいる（図1）。この現象を用いて外部磁力の変化を検出する事ができ、その要素をトンネル磁気抵抗素子（MTJ素子）と呼ぶ。

これは、電子スピン（電子が持つ磁気的な性質）を活用したスピントロニクスと呼ばれるエレクトロニクスの新分野において、高感

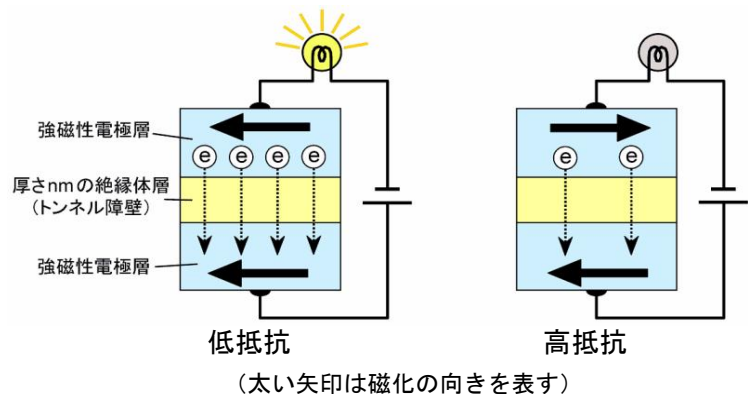


図1. MTJ素子の磁化方向による抵抗値変化

度で磁気を検出する最も重要な技術の一つである。

このトンネル磁気抵抗効果の大きさを表すために、磁力方向を変化させたときの電気抵抗変化率（MR比）を用いる。このMR比が大きいものほど、磁力変化を鋭敏に検出できる素子といえ、MTJ素子の性能指標として利用されている。

1995年には磁性金属超格子において、酸化アルミニウムを絶縁層とした大きなMR比を持つ接合が発見されている。これは、それまで10%前後しかなかった常温時のMR比を数倍に増大したものである。MTJ素子としてこの組み合わせを利用したハードディスク（HDD）の磁気センサー素子（磁気ヘッド）が実用化されている（図2）。しかし、より高性能かつ高集積な次世代デバイスを開発する

ためにはさらに大きなMR比が必要で、たとえば従来の酸化アルミニウム系MTJ素子によるヘッドでは、記録密度が200 Gbit/平方インチを越える超高密度HDDの実現には不十分であった。

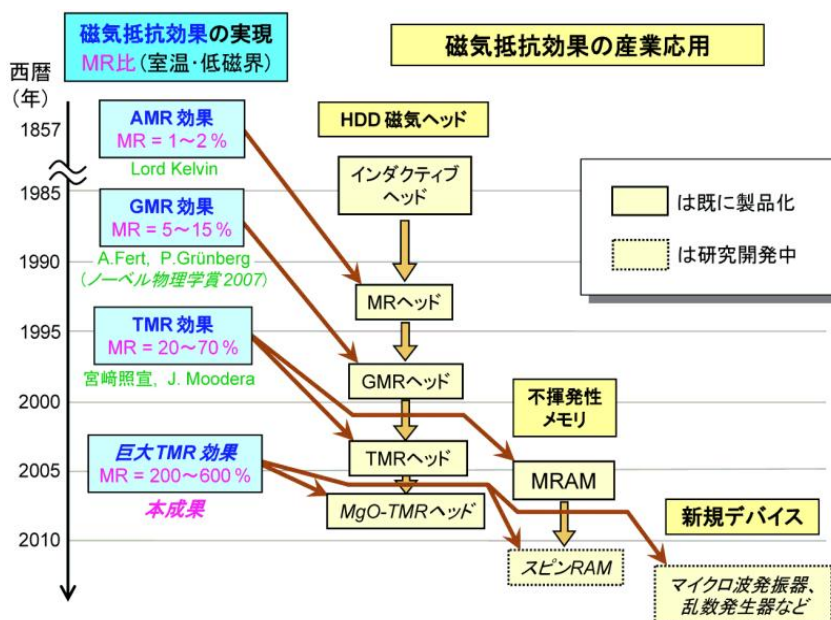


図2. 磁気抵抗効果とその応用の歴史と展望

2. 技術の概要

従来のMTJ素子では、絶縁体層の材料としてアモルファスの酸化アルミニウムが用いられてきたが、70%程度のMR比しか得られていなかった。

2001年には理論上の予測として、絶縁体層に単結晶の酸化マグネシウム(Mg-O)を、磁性体層に鉄を用いたFe/Mg-O/Fe構造のMTJ素子で

1000%を超えるMR比が得られる可能性が指摘された。しかし試作において、従来型のアモルファス酸化アルミニウムによるMTJ素子を越える性能は得られていなかった。

そのなかで産業技術総合研究所（産総研）は、酸化マグネシウムを用いたMTJ素子で実用的な高MR比を達成するため、独自の製膜技術を利用して基礎研究を進めた。その結果分子線エピタキシー法を用いて高品質の単結晶Fe/Mg-O/Fe素子を作製し、2004年初頭にMR比88%を、つづいて同年後半には180%という従来の2倍を超えるMR比を世界で初めて実現した。

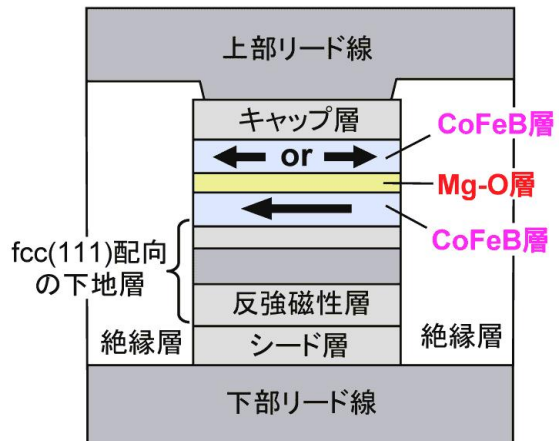


図3. 実用MTJ素子の断面構

この基礎研究の結果を受けて産総研とキヤノンアネルバ株式会社は共同研究を進め、異なった格子構造を持つ結晶の間にアモルファスを薄膜として介在させる事でスムーズな接合を可能とする手法を開発した。

MR比が大きく量産可能なMTJ素子を得るためには、異なった特定の結晶構造をもつ磁性体層、絶縁体層を連続した積層被膜として作成する必要がある。また、より電気抵抗が小さく高感度で応答性の高い素子とするためには、薄く隙間の無い絶縁体層を形成する必要がある。本開発においては、多結晶コバルト鉄上に硼素を含むアモルファス層を形成し、絶縁体層に使う酸化マグネシウムの結晶化を促進することでこの要求を満たす事ができた。

この特殊な積層構造をもつMTJ素子は、先に達成したMR比を、任意の下地層の

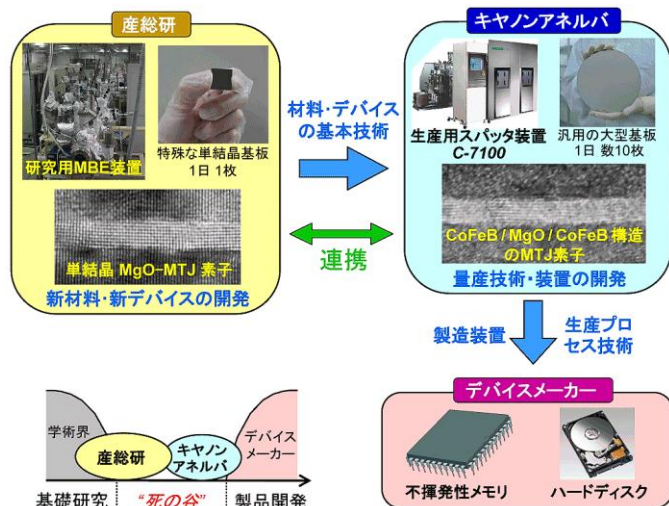


図4. 研究開発の連携体制

上に室温スパッタ成膜法で実現できる特徴がある。この方法で製造されたHDD磁気ヘッドに用いられる実用的なMTJ素子の断面構造を図3に示す。

キヤノンアネルバはこのMTJ素子成膜に最適化された生産用スパッタ装置を2005年から販売しており、同装置は成膜技術とともにHDDメーカー各社に導入され、現在、磁気ヘッドの製品開発、生産に使用されている(図4)。

3. 効果

産総研とキヤノンアネルバが共同開発したMTJ素子とその量産技術によって、スピントロニクス分野は大きく発展した。本新技術によるHDD磁気ヘッドは2007年から製品化されている(図5)。これにより、記録密度300Gbit/平方インチ超の記録密度が実現され、これは従来型HDDの2倍の容量に相当する。現在、世界中に存在する膨大なデジタル情報保存の大半をHDDが担っており、生産されているほぼ全てのHDDに本新技術により製造されたヘッドが搭載されている。さらに記録密度の向上は、装置の小型省電力化も推し進め、情報機器の電力消費削減にも大きく貢献するものである。

また、本新技術は磁気抵抗メモリ(MRAM)の開発現場でも多く利用されており、大容量・不揮発・無限回書換え可能な高密度の半導体メモリ実用化に向けて大きな力となることが期待される。

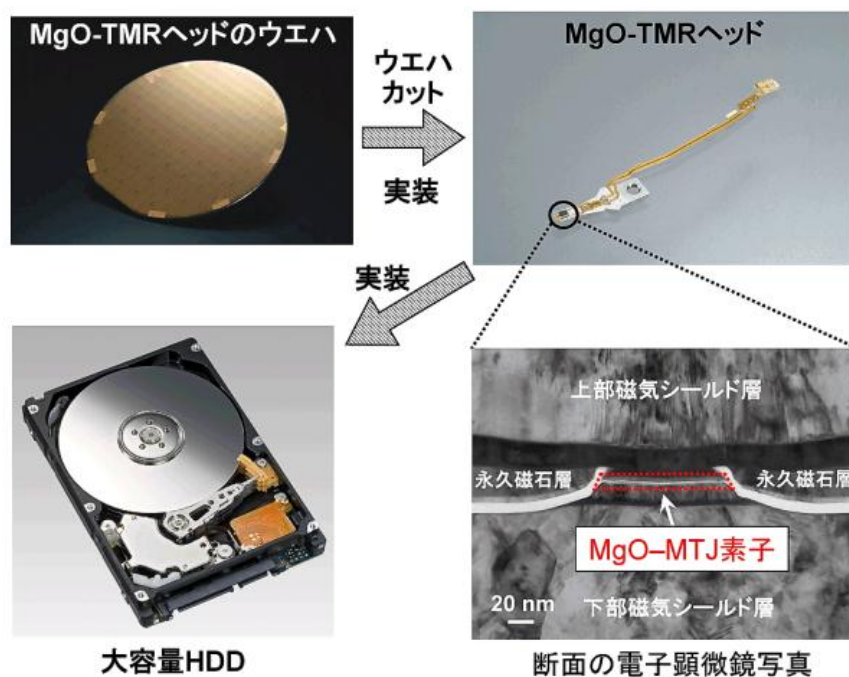


図5. MgO-TMRヘッドの製品化(資料提供:富士通)