

【技術分類】 2 - 2 - 1 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / 微細加工技術

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01L43/12; H01L21/461

【技術名称】 2 - 2 - 1 - 1 電子線リソグラフィによるナノメータ・サイズ MTJ の作製

【技術内容】

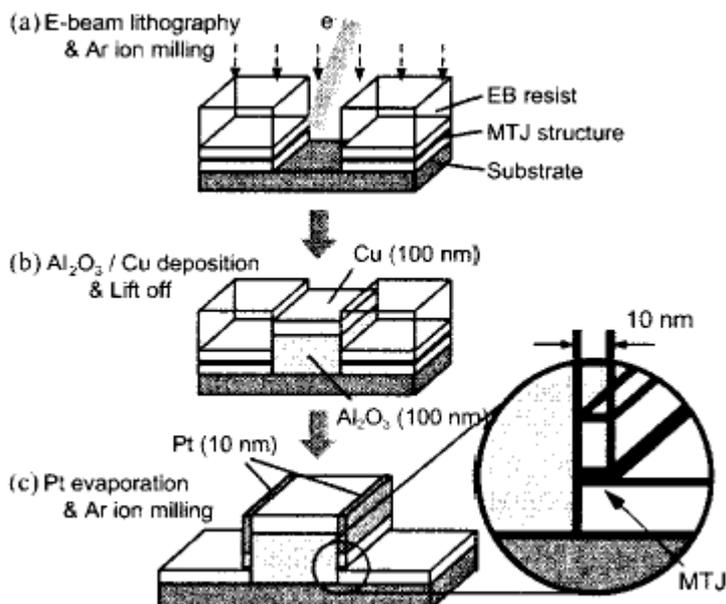
強磁性単一電子トランジスタ (F-SET) では、理論的に、TMRの強化や、バイアス電圧に対するTMRの振動が期待される。これらを観測するためには、ナノメータ・サイズのMTJが不可欠である。なぜならば、F-SETの原理であるクーロン・ブロッケード効果は、接合の静電エネルギー $E_c$   $k_B T$ の条件で現れるからである。この条件を満たすためには、4.2Kでも、トンネル接合面積は100 nm<sup>2</sup>のオーダーでなければならない。そこで、電子線リソグラフィを改良した。

図1に、プロセスを図解する。まず熱酸化Si基板上に、Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>/ Co<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub>/ Al-O/ Co<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub>/ TaをICP支援RFマグネトロン・スパッタ法で成膜する。(a)で、MTJ構造の一部を電子線リソグラフィとArイオンミリングで除去する。残ったEBレジストはまだ除去しない。(b)で、全面に厚いAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu膜を堆積し、有機溶剤中でEBレジストによるリフトオフを行い、MTJ構造上のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu膜を除去する。最後に、(c)で、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu膜の両側面に10 nmの厚さのPt膜を斜めに真空蒸着する。その上で、Pt膜を縦方向のマスクすなわち線幅10 nmのマスクとしてArイオンミリングを行い、接合面を定義する。

マスクとして用いたPt膜の下部にMTJが残り、接合面積は100 μm × 10 nmとなる。臨界温度約10Kに相当する。

【図】

図1 電子線リソグラフィによるナノプロセスの図解



出典：「Nanofabrication of magnetic tunnel junctions by using electron beam lithography」, 「Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.272/276 No.Pt.3」, 2004年5月1日、T. Niizeki H., Kubota Y., Ando T., Miyazaki 著、ELSEVIER 発行、1947 頁 Fig.1 Schematic illustration of the nanofabrication process.

【出典 / 参考資料】

「Nanofabrication of magnetic tunnel junctions by using electron beam lithography」, 「Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.272/276 No.Pt.3」, 2004年5月1日、T. Niizeki H., Kubota Y., Ando T., Miyazaki 著、ELSEVIER 発行、1947 - 1948 頁

【技術分類】 2 - 2 - 1 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / 微細加工技術

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01L43/12; H01L21/461

【技術名称】 2 - 2 - 1 - 2 磁性薄膜のCO+NH<sub>3</sub>プラズマエッチング

【技術内容】

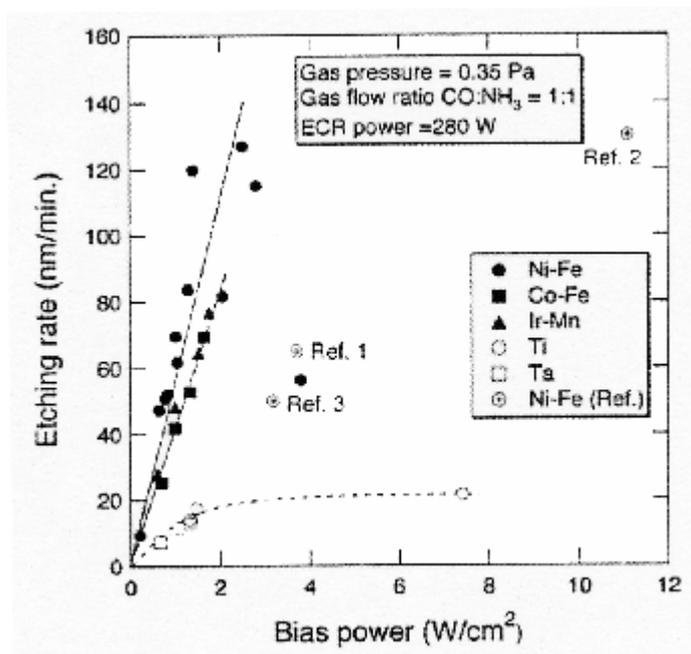
磁性薄膜のエッチングについて、ECRプラズマ源とDCサンプルバイアスによるCO+NH<sub>3</sub>プラズマを用いて調べた。プラズマは2.45 GHzで280WのECRイオン源を用いて励起し、COのモル分率は50%に固定した。薄膜はNi-Feなどの磁性薄膜および非磁性薄膜を試み、いずれもSi基板上にガス圧0.35 Paでスパッタ蒸着した。

図1に、各種薄膜のCO+NH<sub>3</sub>プラズマエッチング速度のバイアスパワー依存性を示す。磁性薄膜のNi-Fe、Co-Fe、およびIr-Mn膜のエッチング速度はバイアスパワー密度に比例する。Ni-Fe膜では、2.5 W/cm<sup>2</sup>という比較的低いバイアスパワー密度で、最高127 nm/分のエッチング速度が得られた。それに対して、非磁性膜のTiおよびTa膜では高々20 nm/分で飽和する。Ni-FeのTiやTaに対する選択性は約7になる。Co-Fe膜およびIr-Mn膜のエッチング速度はNi-Fe膜よりも若干下がる。

図2は、Ni-Fe膜のエッチング速度の圧力依存性を示す。バイアスパワー密度は1 W/cm<sup>2</sup>とした。エッチング速度は約0.8 Paで最大になる。挿入図には、AMSで観測したCOイオン(I<sub>CO+</sub>)および励起CO分子(I<sub>CO\*</sub>)の信号強度を示す。エッチングは、COイオンではなく、励起CO分子によって促進されることを示唆している。

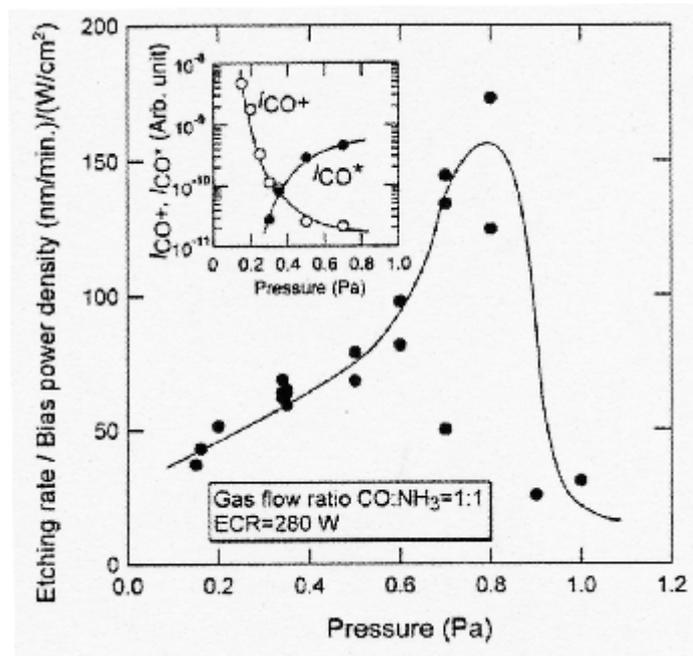
【図】

図1 ECR反応容器中におけるCO+NH<sub>3</sub>プラズマエッチング速度のバイアスパワー依存性



出典：「CO+NH<sub>3</sub> plasma etching for magnetic thin films」, 「Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.272/276」, 2004年5月1日、H. Kubota、Y. Ando、T. Miyazaki著、ELSEVIER発行、E1422頁 Fig.1 Bias power density dependence of etch rates in CO+NH<sub>3</sub> plasma in ECR reactor.

図2 Ni-Fe薄膜のCO+NH<sub>3</sub>プラズマエッチング速度の圧力依存性。挿入図は、AMSで観測したCOイオン(I<sub>CO+</sub>)および励起CO分子(I<sub>CO\*</sub>)の信号強度を示す。



出典：「CO+NH<sub>3</sub> plasma etching for magnetic thin films」, 「Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.272/276」, 2004年5月1日、H. Kubota、Y. Ando、T. Miyazaki著、ELSEVIER発行、E1422頁 Fig.2 Etch rate of Ni-Fe thin film as a function of pressure in CO+NH<sub>3</sub> plasma. Etch-rate are normalized using bias power density values. The inset shows signal intensities of CO ions ( $I_{CO^+}$ ) and excited CO molecules ( $I_{CO^*}$ ) observed in AMS.

【出典 / 参考資料】

「CO+NH<sub>3</sub> plasma etching for magnetic thin films」, 「Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.272/276」, 2004年5月1日、H. Kubota、Y. Ando、T. Miyazaki 著、ELSEVIER 発行、E1421 - E1422 頁

【技術分類】 2 - 2 - 1 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / 微細加工技術

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01L43/12; H01L21/461

【技術名称】 2 - 2 - 1 - 3 上下電極を持つ微細な磁性膜セルの作製

【技術内容】

上下電極を持つ微細な磁性膜の作製について、上部電極の自己整合が可能な微細加工方法を示す。従来のコンタクトホール形成方式と異なり、セルサイズの 100 nm 以下の微細化が可能になる。大別して、シャドウマスク（ステンシル）法とミリング法の 2 つがあり、ミリング法は、さらに、レジストマスク方式とハードマスク方式に分類される。

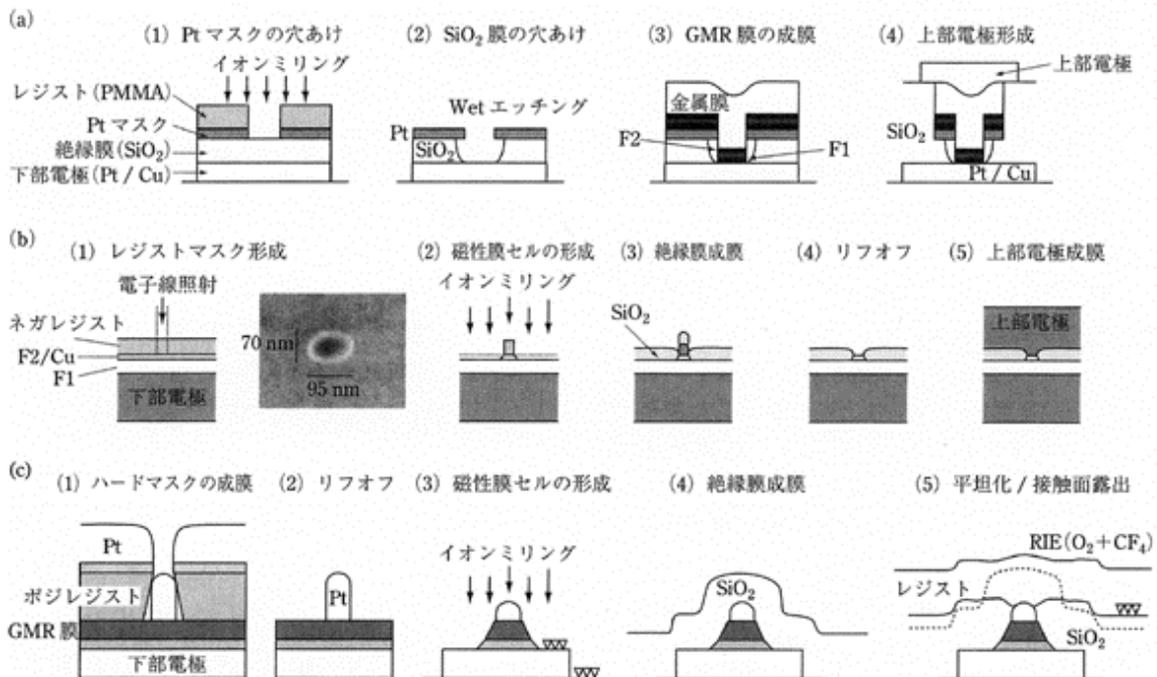
図 1 (a)は、ステンシル法を示す。まず、電子線リソグラフィとイオンミリングにより、Pt膜に微細孔を形成する。Pt膜をマスクとした湿式エッチングにより、下層絶縁膜SiO<sub>2</sub>を除去し、適当なアンダーカットを形成する。この上に磁性膜を成膜し、上部電極を形成する。アンダーカットにより磁性膜は空間的に分離されて、磁性膜の微細加工が不要になり、上部電極は自己整合形成される。

図 1 (b)は、レジストマスクを用いるミリング法を示す。まず、通常の電子線リソグラフィによりネガレジスト・マスクを形成する。次いで、イオンミリング法で磁性膜セルを加工し、磁性膜上の絶縁膜をリフトオフして、上部電極との接触面を露出する。これに上部電極を自己整合形成する。

図 1 (c)は、ハードマスクを用いるミリング法を示す。まず、ポジレジストに電子線リソグラフィで微細孔を形成する。次いで、Pt膜などを成膜し、リフトオフしてPtピラーを形成する。これをマスクにしてイオンミリングを行い、さらにSiO<sub>2</sub>絶縁膜を成膜後、レジスト塗布して平坦化し、RIEでPt上部を露出させる。これにより、上部電極の自己整合接触が可能になる。

【図】

図 1 上下電極を持つ微細な磁性膜セルの作製方法。(a) シャドウマスク法(ステンシル法)、(b) ミリング法：レジストマスク方式、(c) ミリング法：ハードマスク方式



出典：「スピン注入磁化反転の現状と課題」、「まてりあ Vol.42 No.9」、2003年9月20日、屋上公二郎、鈴木義茂著、社団法人日本金属学会発行、643頁 図5 上下電極を持つ微細な磁性膜セルの作製方法。(a) シャドウマスク法(ステンシル法)、(b) ミリング法：レジストマスク方式、(c) ミリング法：ハードマスク方式。(b)におけるSEM像は、EBリソにて形成したレジスト膜の例。どの作

製方法においても上部電極の self-alignment が可能。

【出典 / 参考資料】

「スピン注入磁化反転の現状と課題」, 「あたりあ Vol.42 No.9」, 2003年9月20日、屋上公二郎、鈴木義茂著、社団法人日本金属学会発行、640 - 647 頁

【技術分類】 2 - 2 - 1 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / 微細加工技術

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01L43/12

【技術名称】 2 - 2 - 1 - 4 微細加工技術によるスピン注入磁化反転を用いた MRAM

### 【技術内容】

MRAM の大容量化は、従来の外部磁場による磁化反転では微細化に限界があり、スピン注入磁化反転が不可欠である。スピン注入磁化反転とは、スピン偏極した電流を注入することで、磁性体の磁化を反転させる技術である。

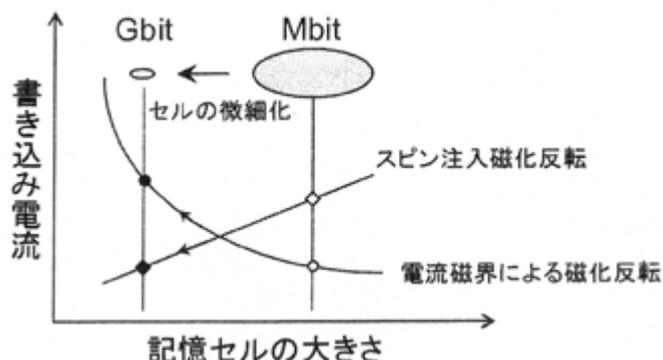
図 1 は、MRAM の書込電流と記憶セルの大きさの関係を示す。軟磁性薄膜で形成されたメモリセルの磁化反転磁界は、メモリセルサイズの縮小にほぼ比例して増加する。このため、従来の電流磁界による書込では、書込電流が著しく増大し、G ビットクラスの MRAM に必要な 100 nm レベルのメモリサイズになると、實際上、書込は困難となる。それに対し、スピン注入磁化反転によれば、反転に必要な電流はセルサイズとともに減少し、大容量化とともに、低消費電力化が期待できる。

図 2(a) に、スピン注入磁化反転による書込の原理を図解する。電流方向によって、磁化方向すなわち 0 と 1 の情報を規定できる。したがって、書込用の磁界発生電流線（ワード線）が不要になる。図 2(b) に示すように、メモリセル面積は、1 トランジスタ + 1 TMR 素子構造の理論的な最小面積  $6F^2$  に縮小できる。

逆に、スピン注入磁化反転の観測には、100 nm レベルの面内サイズの磁性膜素子を必要とする。しかし、半導体の微細加工技術が進歩し、その応用で作製できるようになった。

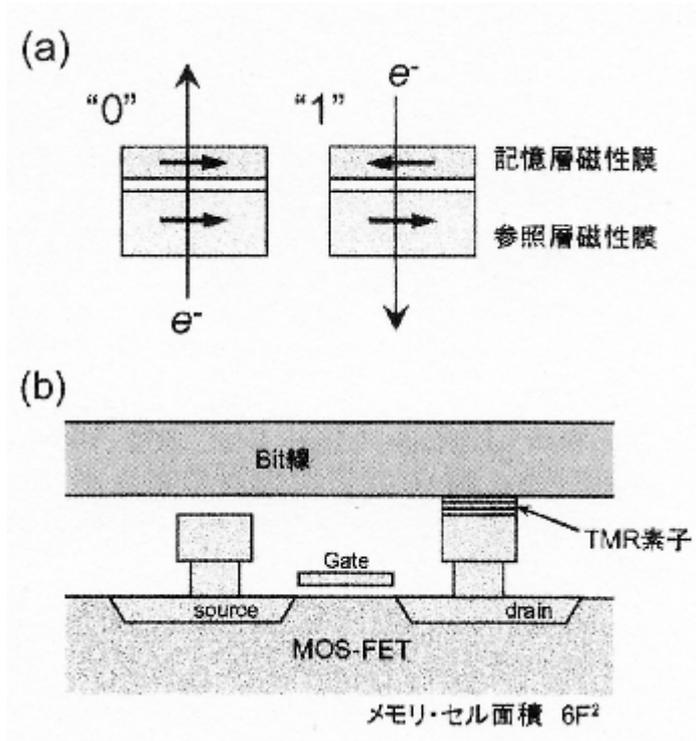
### 【図】

図 1 書込電流のセルサイズ依存性の図解



出典：「スピン注入磁化反転の理論と実験（スピントロニクス）の現状と将来」、日本応用磁気学会研究会資料 Vol.134、2004 年 1 月 29 日、鈴木義茂他著、社団法人日本応用磁気学会発行、60 頁 Fig.8 Schematic picture of the change of writing current as a function of the cell size.

図 2 スピン注入磁化反転を用いた MRAM の概念



出典：「スピン注入磁化反転の理論と実験（スピントロニクス of 現状と将来）」、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.134」, 2004年1月29日、鈴木義茂他著、社団法人日本応用磁気学会発行、53 - 62 頁 Fig.9 Schematic view of the MRAM using a spin-transfer magnetization reversal.

【出典 / 参考資料】

「スピン注入磁化反転の理論と実験（スピントロニクス of 現状と将来）」、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.134」, 2004年1月29日、鈴木義茂他著、社団法人日本応用磁気学会発行、53 - 62 頁