

【技術分類】 2 - 2 - 4 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / イオンミリング法

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

【技術名称】 2 - 2 - 4 - 1 イオンミリング法によるサブ 100 nm 接合

【技術内容】

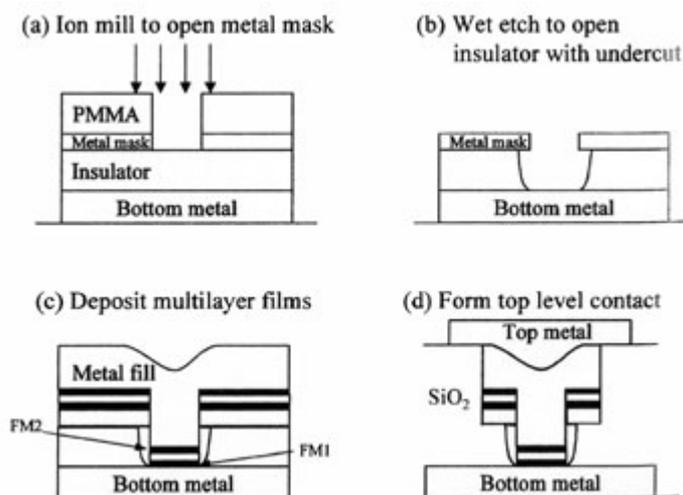
スピン注入磁気スイッチング現象を定量的に測定するためには、100 nm 程度あるいは 100 nm 以下のサイズの CPP 磁気接合素子が必要となる。そこで、イオンミリングによって、金属 絶縁物 金属 三層膜構造のテンプレートを形成し、その金属ステンシル層と、絶縁層のアンダーカットで接合形状を定義し、サブ 100 nm サイズの接合を形成した。

図 1 に、接合の全体の製造工程を示す。(a)で、Pt-SiO₂-Pt三層膜を堆積し、上部Pt層を電子線リソグラフィでパターン形成し、イオンミリングで 50 - 100 nm寸法の孔を開ける。このPt層がステンシルとなる。(b)で、SiO₂層をウェットエッチングし、アンダーカットを形成する。低部は下層Pt電極膜の表面となる。これによりテンプレートが形成される。(c)で、磁気多層膜を堆積し、金属膜を充填し、(d)で上部の配線を行う。テンプレートの底部に、ステンシルによって平面寸法が定義された接合が形成され、アンダーカットによって、周囲からは完全に絶縁される。

この方法により、50 nm × 100 nm 寸法の接合が作られ、スピン電流誘起磁気スイッチングが、再現性良く観測されている。

【図】

図 1 サブ 100 nm 接合作製プロセスフロー



出典:「Batch-fabricated spin-injection magnetic switches」, 「Applied Physics Letters Vol.81 No.12」, 2002年9月16日、J. Z. Sun、D. W. Abraham、M. J. Rooks、R. H. Koch、D. J. Monsma 著、American Institute of Physics 発行、2202 - 2204 頁 Fig.1 Illustration of the junction fabrication process flow. (a) Pt mask made by typical PMMA e-beam lithography and ion milling process. (b) Wet etching is used to open the insulator and to create an undercut in the insulator beneath the metal mask. (c) Deposition of magnetic layers into the batch-fabricated stencil, followed by a thick metal fill to create in situ a top contact. The undercut decouples the magnetic stack pillar. (d) Optical lithography for wiring.

【出典 / 参考資料】

「Batch-fabricated spin-injection magnetic switches」, 「Applied Physics Letters Vol.81 No.12」, 2002年9月16日、J. Z. Sun、D. W. Abraham、M. J. Rooks、R. H. Koch、D. J. Monsma 著、American Institute of Physics 発行、2202 - 2204 頁

【技術分類】 2 - 2 - 4 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / イオンミリング法

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

【技術名称】 2 - 2 - 4 - 2 Ar イオンミリング法による MTJ の微細加工

【技術内容】

強磁性トンネル接合 (MTJ) を、イオンミリングを用いて微細加工する場合、接合側面へのスパッタ原子の再付着に注意する必要がある。ここでは、接合の電気的な短絡を調べることにより、再付着の少ない Ar イオンミリング条件を求めた。

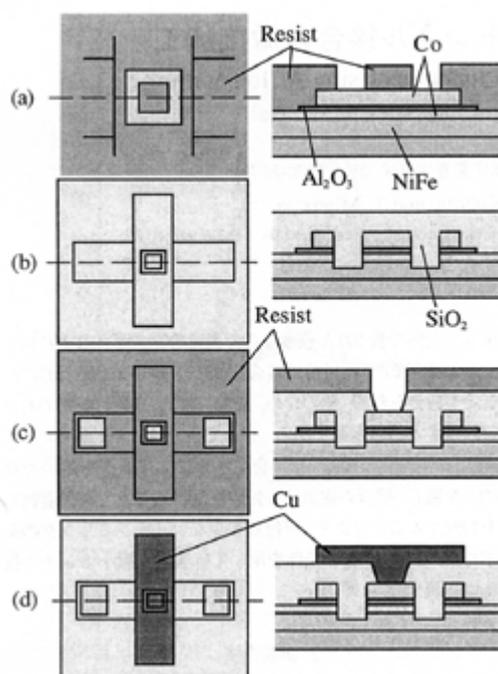
図 1 は、MTJ の微細加工工程を示す。(a) で、フォトリソグラフィによりレジストを接合部分の形に形成する。(b) で、Ar イオンミリングにより接合部を形成し、レジスト除去後、上下電極間の絶縁膜 SiO_2 を形成する。(c) で、コンタクトホール用レジスト・パターンを形成し、 SiO_2 膜厚が残り 300 になるまで Ar イオンミリングを行い、次いで金属表面が現れるまで CF_4 ガスによる反応性エッチングして、コンタクトホールを形成する。(d) で、レジスト除去後、 O_2 および Ar プラズマエッチング・クリーニングを行い、メタルマスクを用いて上部電極 Cu 膜をスパッタ成膜する。

図 2 は、図 1(b) の接合部の加工を調べるための実験を示す。メタルマスクにより作製した接合の中心部分 $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ から $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ を、 Al_2O_3 表面から深さ $d=0-150 \text{ nm}$ まで Ar イオンミリングする。基板を 3 rpm で回転させ、Ar イオンの入射角 θ を、基板面の法線方向に対して $0-45^\circ$ の条件で行う。イオンミリングの前後で抵抗測定を行い、抵抗値から接合側面の再付着の有無を調べる。

図 3 は、図 2 でのエッチング深さ d に対する、イオンミリングプロセス前および後の抵抗値 R_0 および R_1 の比を示す。Ar イオン入射角 θ が 15° と 45° の条件では、 $R_1/R_0 \approx 1$ に分布する 경우가多く、短絡を起こす接合が比較的少ない。

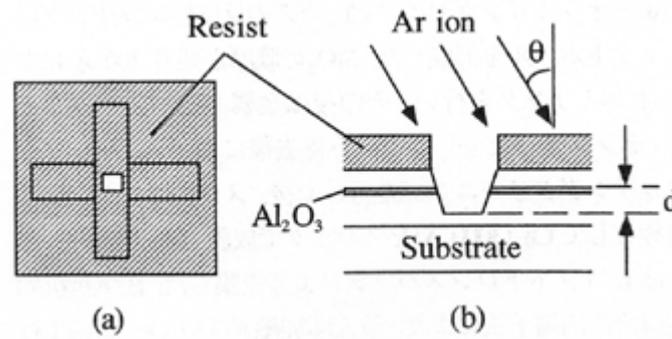
【図】

図 1 微小トンネル接合の製造工程。左図は上面、右図は断面を示す。



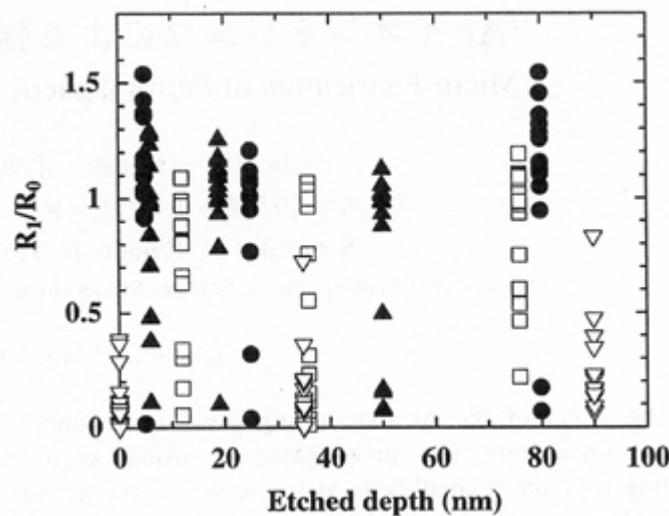
出典：「Ar イオンミリングによる強磁性トンネル接合の微細加工」, 「日本応用磁気学会誌 Vol.23 No.4-2」, 1999年4月15日、大塚茂樹、上条誠、手束展規、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、1306頁 Fig.2 Fabrication process for a small tunnel junction. The left and right illustrations show the top view and a cross-section.

図2 トンネル接合の上面(a)および断面(b)



出典：「Ar イオンミリングによる強磁性トンネル接合の微細加工」、「日本応用磁気学会誌 Vol.23 No.4-2」, 1999年4月15日、大塚茂樹、上条誠、手束展規、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、1305頁 Fig.1 (a) Top-view and (b) cross-sectional illustrations of the tunnel junction.

図3 Ar イオンミリングで形成した孔のエッチング深さに対する規格化トンネル抵抗の依存性。イオンビーム入射角： $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 15^\circ$ 、 $\theta = 30^\circ$ 、 $\theta = 45^\circ$



出典：「Ar イオンミリングによる強磁性トンネル接合の微細加工」、「日本応用磁気学会誌 Vol.23 No.4-2」, 1999年4月15日、大塚茂樹、上条誠、手束展規、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、1306頁 Fig.3 Normalized tunnel resistance as a function of the etched depths of the hole formed by Ar ion milling. The ion-beam incident angle were as follows: $\theta = 0^\circ$, $\theta = 15^\circ$, $\theta = 30^\circ$, $\theta = 45^\circ$.

【出典 / 参考資料】

「Ar イオンミリングによる強磁性トンネル接合の微細加工」、「日本応用磁気学会誌 Vol.23 No.4-2」, 1999年4月15日、大塚茂樹、上条誠、手束展規、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、1305 - 1308 頁

【技術分類】 2 - 2 - 4 MRAM 製造技術 / 微細加工技術 / イオンミリング法

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

【技術名称】 2 - 2 - 4 - 3 微小 MTJ アレイの Ar イオンミリングと AFM 評価

【技術内容】

通常の強磁性トンネル接合 (MTJ) の作製プロセスでは、接合部の上部にコンタクトホールを形成する。この工程では、コンタクト・マスクの位置決め精度が低いために、最小接合サイズが $3 \mu\text{m}$ と大きい。そこで、パターン合わせ精度の制約を受けないプロセスを考案した。また、 100 nm 以下の微小 MTJ となると、その TMR 測定も困難になるので、その点も同時に解決した。

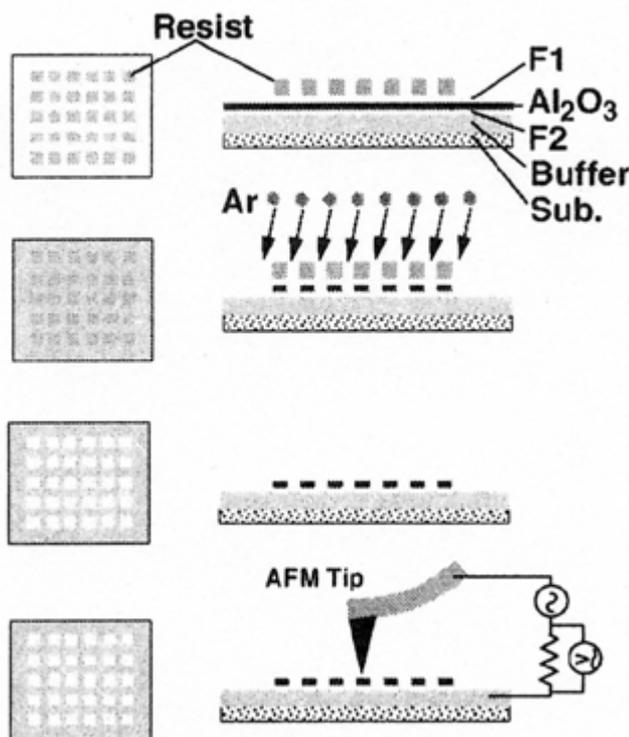
図 1 にその作製プロセスの流れを示す。F1 および F2 は磁性層で、 Al_2O_3 はトンネル障壁膜である。電子線リソグラフィによりレジストパターンを形成し、これをマスクにして、Ar イオンエッチングを行い、接合領域を定義する。レジストを除去すれば、微細な MTJ アレイが得られる。上部電極配線は行わない。測定には、伝導性 AFM のチップを MTJ 上部に接触させて電流を流す。伝導性 AFM の局所電流測定機能を利用して、空間分解能の非常に高い測定を行う。

図 2 は、導電性 AFM による MTJ アレイの凹凸像と電流像を示す。接合の膜構成は、 $\text{Si} / \text{SiO}_2 / \text{Ta} / \text{Cu} / \text{CoFe} / \text{Ru} / \text{CoFe} / \text{Al-O}_x / \text{Ni-Fe} / \text{Ta} / \text{Au}$ である。電流は MTJ 上部のパターンがある部分にのみ流れている。これは、MTJ 上部の最表面の Au と AFM チップとの接触抵抗が小さく、しかも、それ以外のエッチングされた部分は、酸素アッシングで表面が酸化されているためと考えられる。

図 3 は、この方法で測定した微小 MTJ の TMR 曲線を示す。最大約 30 mV の定電圧を印加し、流れる電流をロックインアンプで測定した。AFM 装置の近傍に配置した 2 個のコイルに直流電流を流し、1 周期 $40 - 60$ 秒で磁界をスイープした。 $300 \times 600 \text{ nm}$ の接合では、ノイズが小さく、電流が安定に流れている。測定できる最小接合サイズは $50 \times 50 \text{ nm}$ である。

【図】

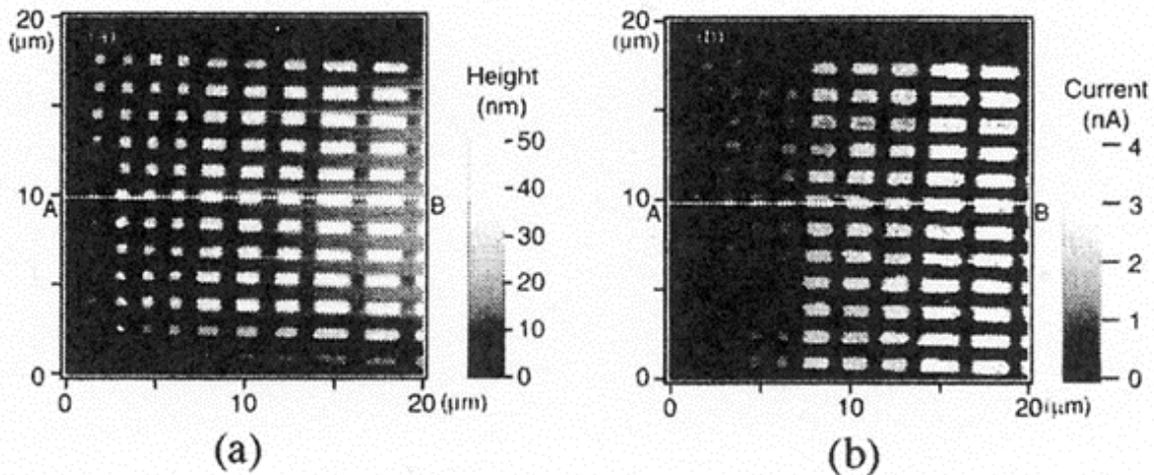
図 1 微小 MTJ アレイの作製と導電性 AFM による評価プロセス



出典：「 100 nm スケールの微小強磁性トンネル接合の作製と評価」、日本応用磁気学会研究会資料

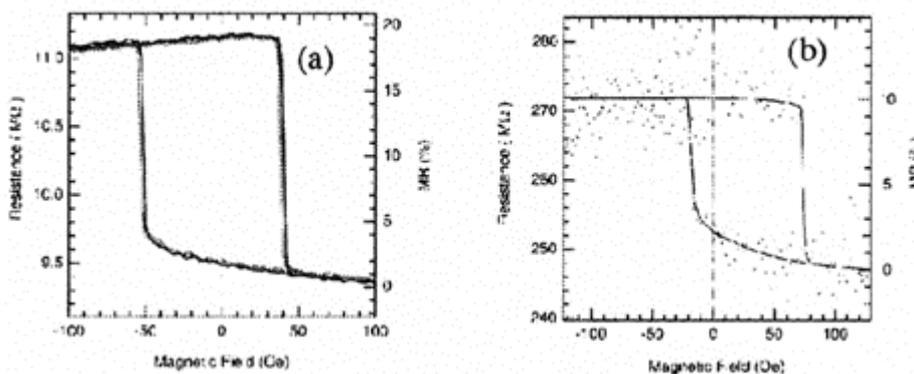
Vol.126 ㍻、2002 年 11 月 22 日、久保田均、濱田致知、安藤康夫、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、29 頁 Fig.1 Schematic illustrations of the new process for fabrication and evaluation of small magnetic tunnel junctions.

図 2 MTJ アレイの AFM 像 (a) と電流像 (b)



出典：「100nm スケールの微小強磁性トンネル接合の作製と評価」㍻、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.126 ㍻、2002 年 11 月 22 日、久保田均、濱田致知、安藤康夫、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、29 頁 Fig.2 AFM image (a) and current image (b) of a tunnel array. The width of the junctions are 500 nm constant, while the length varies from 500 nm to 1500 nm.

図 3 導電性 AFM を用いて測定した MTJ の磁気抵抗曲線



出典：「100nm スケールの微小強磁性トンネル接合の作製と評価」㍻、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.126 ㍻、2002 年 11 月 22 日、久保田均、濱田致知、安藤康夫、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、29 頁 Fig.3 Typical magnetoresistance curves of the magnetic tunnel junctions measured using conductive AFM.

【出典 / 参考資料】

「100nm スケールの微小強磁性トンネル接合の作製と評価」㍻、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.126 ㍻、2002 年 11 月 22 日、久保田均、濱田致知、安藤康夫、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、27 - 34 頁