ブロッホラインメモリーの動作原理 および今後の可能性

檜 高 靖 治[†], 小 西 進^{**}

従来のバブルドメインを利用した高密度固体磁気記憶素子に代って、バブルドメイン周辺境界の磁壁中の微細構造を利用した超高密度固体磁気記憶素子の概念を作り上げた。記憶容量はチップあたり 100 M ビット以上に達する可能性が示されている。ここで提案されているブロッホラインメモリーは、メイジャラインではバブルドメインの有無によって情報を表し、情報の書込み、読出しにはバブル発生器およびバブル検出器を使う。本メモリーの特長は、情報記憶部をバブルドメインを細長く伸ばしたストライプドメイン周辺磁壁で構成し、その中にブロッホライン対の有無の形で情報を記憶していることにあり、これが超高密度記憶を可能にする理由である。

1. ま え が き

従来の磁気バブルを情報の担体としたメモリーに代って、バブル周囲の磁壁中に存在するブロッホラインを情報担体とする新しい超高密度記憶の可能性をもつ固体磁気記憶素子、つまりブロッホラインメモリーが提案された¹⁾。

本解説では、ブロッホラインの性質、ブロッホラインの生成、およびブロッホラインメモリー概念を完成させたブロッホライン対の有無をバブルの有無に変換する機構について述べる。その後、具体的デバイスの構成例について定性的説明をする。

2. ブロッホラインおよび磁壁の性質

2.1 静特性

ブロッホラインメモリーで情報担体として用いられるのは、垂直ブロッホライン（以下では、単にブロッホラインと称す）である。図 1 には、磁気バブル素子用磁性ガーネット膜に存在するストライプドメインと、その周辺磁壁内に存在するブロッホラインを模式的に示している。ストライプドメイン磁壁はブロッホ磁壁である。

ブロッホ磁壁内の磁化の回転の仕方は図 2 に示すように 2 通りある。磁化の回転を磁壁面法線方向になが

図 1 ストライプドメインとその周囲の磁壁内のブロッホライン対¹⁰⁾

めたとき、AB に沿っては右向きに、A'B' に沿っては左向きにそれぞれ回転している。その結果、磁壁内に両者の境界領域（ネール磁壁構造）が膜厚に沿ってできる。これをブロッホラインと呼ぶ。

ブロッホラインの幅 w_{BL} は、 $\pi(A/2\pi M_s^2)^{1/2}$ となる²⁾。A は交換相互作用定数、 M_s は膜材料の磁化の大きさである。 w_{BL} は消磁状態のストライプドメイン幅 w の約 1/10 になる。なお、図中の矢印は磁壁中心線上の磁化向きを表している。

ブロッホラインにも 2 つの種類がある²⁾。磁壁中心線上の磁化の方位角を磁壁に沿ってながめると、その差がわかる。図 3 にはバブルドメイン周囲の磁壁中のブロッホラインを示す。注目するブロッホラインを含む閉じたドメイン磁壁をみる。円周に沿って、 β が増

[†] 日本電気株式会社 マイクロエレクトロニクス研究所
〒 九州大学 工学部

"Bloch Line Memory Concept" Yasuhiro Hidaka (NEC Corporation, Kawasaki) and Susumu Konishi (Faculty of Engineering, Kyusyu University, Fukuoka)

図2 プロットラインの定義

図3 プロットラインの符号の決め方¹⁰⁾

加する向きに移動するとき、プロット磁壁部の磁化は常に反時計方向に回転している。プロットラインにはその部分で磁化が時計向きに回転しているもの(図3のA)と反時計向きに回転しているもの(図3のB)とがあり、それぞれ $\ominus$, $\oplus$ のプロットラインと定義する。

図2からわかるように、バブルドメインのような単一ドメイン磁壁内にはプロットラインは必ず偶数本存在する。しかし、 $\oplus$, $\ominus$ のプロットラインが隣合って存在していると、両者を近づけたとき、その中間領域の磁壁磁化のねじれが完全でないため、互いに再結合して消滅しやすい。他方、同符号のプロットラインは、その中間領域の磁壁磁化のねじれが完全であるため、互いに再結合しない。この理由から、プロットラインメモリーでは、符号が同じプロットラインを対にして情報担体としている。

プロットラインがストライプドメイン磁壁に高密度に存在し得る理由を述べる。図1において、対をなしているプロットラインB, Cの間には静磁的吸引力が働く。これは相隣のプロットライン部には互いに異符号の磁極を生じているからである。しかしB, Cが互いに接近し過ぎると、両者の中間の磁壁部の磁化の間

表1 バブル径とプロットラインビット密度(最大値)
(1 MHz 駆動時)¹⁰⁾

バブル径 (μm)	プロットラインメモリー ビット密度 (Mビット/ cm^2)	プロットラインメモリー アクセス時間 (ms)
5	16	10
1	400	50
0.5	1,600	100

の交換相互作用が大きくなり、B・C間に反発力を生じる。静磁的吸引力と交換相互作用から生じる反発力とのつり合いで、プロットライン間の平衡間隔 S_0 が決まる³⁾。

Hubertの厳密な数値解析によれば、 $S_0 \approx 4\Lambda_0$ となる。 $\Lambda_0 \equiv (A/2\pi M_s^2)^{1/2}$ である。 S_0 はプロットライン幅 w_{BL} と同程度である。つまり、プロットラインは、ストライプドメイン磁壁内にストライプドメイン幅の約1/10の間隔で高密度に存在し得る。

プロットラインが、ストライプドメイン磁壁内にこのように高密度に、しかも安定して存在することが、超高密度記憶素子構想への発端となった。表1には、バブル径が異なるバブル材料に存在し得るプロットラインの最大密度を示している。

2.2 動特性

プロットラインは、ストライプドメインに膜面垂直方向にパルスバイアス磁界を加えて、磁壁を磁壁法線方向に動的に移動させると、それに伴うジャイロ力によって磁壁に沿って横すべりする³⁾。このジャイロ力は磁化に対するギルバートの運動方程式によって議論できる。

磁壁磁化は、パルスバイアス磁界 H_P を印加すると、 H_P の向きに沿って右ねじを進める向きに回転する。磁化の H_P のまわりの回転角速度を $d\phi/dt$ とすると、 $d\phi/dt = \gamma H_P$ となる。図4に示すように、磁壁に沿って x 軸をとり、プロットラインの位置を X とすると、プロットラインの横すべり速度 $v_{BL}(\equiv dX/dt)$ は $\gamma\Lambda_0 H_P$ となる⁵⁾。 γ はジャイロ磁気定数である。磁区形状の変化に伴う反磁界効果を見捨てる範囲では、パルスバイアス磁界の幅を T_w とすると、プ

図4 磁壁中のプロットラインの移動向きとパルスバイアス磁界 H_P の向き¹⁰⁾

ロッホラインの1パルスあたりの横すべり距離は $\gamma \Delta_0 H_P T_w$ となる。

また、ブロッホラインの運動は磁壁運動に影響を及ぼす。例えば、磁壁移動速度はブロッホラインが密につまっている部分と、全くない部分とでは、それぞれ $\alpha \gamma \Delta_0 H_P$, $(\gamma/\alpha) \Delta_0 H_P$ と大きく異なる³⁾。 α はギルバートのダンピング定数で、バブル材料では0.08程度、 Δ_0 は磁壁幅パラメーター $(A/K_u)^{1/2}$ である。 K_u はガーネット膜の正の一軸磁気異方性定数である。このため、 H_P 印加後には、ストライプドメイン磁壁は直線的でなくなる。

この磁壁形状変化はブロッホライン横すべりにも影響を与えるようになるため、メモリーをつくる際には磁壁運動を制御する工夫が必要である⁶⁾。

2.3 ブロッホラインの生成

次に、メモリー素子機能のひとつとして情報を書込む方法が必要になることに関係して、ブロッホラインをストライプドメイン磁壁に注入する機構について述べる。

ブロッホラインを全然含まない1種類のブロッホ磁壁で囲まれたストライプドメインのヘッドに、材料定数によって決まる臨界値以上のパルスバイアス磁界を加え、ストライプドメインのヘッドを収縮または拡大させると、ヘッド部のブロッホ磁壁内磁化の向きを 180° 反転できる。

バブル素子用ガーネット膜のように、膜面に垂直方向に磁化容易軸をもつ膜では、ドメインは膜表面に表面磁極をもっている。このため、磁壁部の膜表面近くでは磁壁面法線方向に強い面内磁界が存在している。このため、膜表面近くの磁壁磁化は、この磁界方向に強く束縛されている。

このような膜では、磁壁を磁壁法線方向に動的に移動させると、ジャイロ力により、図5に示すように、水平ブロッホラインが膜の片側の表面部から発生し、

図5 ストライプドメインヘッドにおけるブロッホラインの書込み過程¹⁰⁾

図6 ストライプドメインヘッドへのブロッホライン書込み特性

それが反対側の膜面まで進み、膜面から抜け出す(パンチスルー)現象が生じ、それに伴い、その部分の磁壁磁化は比較的容易に 180° 向きを変える。

磁壁磁化が 180° 向きを変えた領域の両端にブロッホラインがそれぞれ1本ずつ生成される。図6には、その書込み特性の一例を示す⁸⁾。横軸にパルス電流の振幅、縦軸にブロッホラインが発生する確率を示している。今回の実験では、パルス電流値を20 mA以上にすると、ブロッホライン対を100%書込めた。

3. ブロッホラインの読出し

ブロッホラインを用いてメモリーを作ろうとするとき、もっとも難しい問題のひとつは記憶した情報の読出し動作である。ブロッホライン自体非常に小さい($0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 幅)ので、直接その有無を読出すことは難しい。

今回、ブロッホラインの有無をバブルドメインの有無に変換して、バブル検出器で読取る方法を見出した¹⁾。図7は、磁壁構造の差を利用してブロッホライ

図7 ブロッホラインの有無をバブルの有無に変換する原理¹⁰⁾

ンの有無をバブルの有無に変換する原理説明図である。ストライプドメインのヘッド近くで2本の導体線を配し、これにパルス電流を与える。そうすると、生じたパルスバイアス磁界によって、2本の導体線に挟まれた部分にあるストライプドメインの上下の磁壁を互いに近づける。

図7(a)のように、ストライプドメインのヘッドにブロッホラインが1本ある場合、上下の磁壁を互いに近づけると、両方の磁壁は容易に合体する。その結果、ストライプドメインはその部分で切断される。

他方、図7(b)に示すヘッドにブロッホラインをもたないストライプドメインの場合、容易には切断されない。

ブロッホラインが、ストライプドメインヘッドに1本または奇数本ある場合と、零または偶数本ある場合とでは、ヘッドの両側の磁壁磁化の相対的向きが異なる。

図8は、ストライプドメインを破線の矢印で示した経路に横切ったときの磁化の回転の様子を示している。図8(a)はストライプドメインヘッドにブロッホラインが1本存在している場合である。ヘッドの両側の磁壁磁化は互いに同じ向きを向いている。図8(b)はブロッホラインがなく、ヘッドの両側の磁壁磁化が互いに反平行になっている。図8(a)の場合、上下の磁壁が近づいても交換相互作用による磁壁間反発力は生じない。図8(b)の場合、近づけると、 $(A/2M_s)(\pi/w)^2$ の交換磁界が大きくなり、これが磁壁間反発力になる。この交換磁界の有無の差が磁壁を近づけたとき、互いの結合のしやすさの差異を生じる¹⁾。

図9は実験結果である⁸⁾。横軸はパルス電流の振

図8 ストライプドメインを横断するときの磁化の回転の様子

図9 ストライプドメインヘッドの切断特性

幅、縦軸は切断確率である。パルス電流振幅 26 mA から 32 mA の範囲で、ヘッドにブロッホラインが1本ある σ ストライプドメインは切断され、ブロッホラインがない χ ストライプドメインは切断されない。パルス電流振幅をさらに大きくすると、 σ , χ 両方のストライプドメインともに切断される。パルス電流 26 mA から 32 mA までは読出しマージンとなる。この読出しマージンは、読出し用導体の間隔、印加するパルス電流の形状にも依存する。

以上に述べたブロッホラインメモリ各部動作原理を具体化する例を示す。

4. ブロッホラインメモリ素子の全体構成

現在、想定している素子チップの全体図を図10に示す。チップ内は大きくわけて3つの部分から構成されている。それらは(i)書込みメージャライン、(ii)読出しメージャライン、(iii)情報記憶部(マイナーループ)の3つである。書込みメージャライン、読出しメージャラインでは情報はバブルの有無によって表される。

一方、マイナーループはストライプドメインを多数本配置し、情報は周囲の磁壁中にブロッホライン対の有・無の形で記憶する。

したがって、本素子では、書込み側位置にバブル→ブロッホライン対変換とブロッホライン対安定化に必要なブロッホライン→バブル変換をできるトランスファゲート、読出し側にはブロッホライン対→バブル変換をできるトランスファゲートをそれぞれ必要とする。

以下、チップ各部の構造、動作を説明していく。

4.1 書込みメージャライントランスファゲート

書込みメージャラインとマイナーループとをつなぐ

図 10 チップの構成例

トランスファゲート部(図10(a))の詳細を図11に示す。バブルは図11のメイジャラインに沿って、上方から転送されてくる。各ビット位置を使ってバブルの有無の列で表した情報1ページ分ができた時点で、メイジャライン駆動系を止める。そうすると、メイジャライン各ビット位置にバブルが存在するところと、存在しないところができる。

例えば図11では、3本のマイナーループに対応するメイジャラインの3つのビット位置の中で、中央の位置だけバブルが存在している。図11に示すトランスファゲートでは、メイジャライン上のバブルの有・無をマイナーループ上でプロックホライン対の無・有に変換する。プロックホラインの書込みは、プロックホライン書込み導体によってストライプドメインヘッドの磁壁磁化をダイナミックに反転して行く。

順序として、まずゲート部でメイジャライン上にバブルが存在しているビット位置と存在していないビット位置の区別をつける。例えば、バブルが存在しているビット位置に対応したストライプドメインヘッドを、バブルとストライプドメインヘッドとの間の反発相互作用を利用して右方に移動させ、プロックホライン書込み導体から遠ざける。

図 11 書込みライントランスファゲート部

この方法をもう少し具体的に述べる。本素子では、メイジャラインではバブルを、マイナーループではストライプドメインをそれぞれ使うので、バブル安定用バイアス磁界を加えたとき、両者が共存しなければならない。ひとつの方法として、メイジャライン部とマ

イナーループ部とで、ストライプドメイン支持層の厚さを変えておくことが考えられる。

ここでは、この方法を利用して、図 11 に示すように、バブル安定存在領域（メジャライン部）とストライプドメイン安定存在領域（マイナーループ部）とを作ることを考える。そうすると、膜厚段差部には、バブルに対するポテンシャルウェルおよびポテンシャルバリアができる。

このポテンシャルウェルまたはポテンシャルバリアを利用して、バブルを強制的にストライプドメインヘッドに接近させておくと、ストライプドメインヘッドが右方に移動する。この結果、マイナーループのストライプドメインはメジャライン上にバブルがあるか、否かに応じて、図 10(a) に示すように、ストライプドメインヘッドを引込めたものと、引込めていないものとが共存する。

図 12 には、 $S=0$ ストライプドメインを用いた場合のプロッホライン書込み動作を示している。なお、本素子で、ストライプドメインの初期状態（データを入れていない状態）として、 $\ominus$ プロッホラインを 2 本もつ $S=0$ 状態を使う理由は、マイナーループ内のプロッホライン対の安定性に対する外部浮遊磁界の影響を排除するためである。この際、ストライプドメインに沿って弱い面内磁界 H_{ip} を加えて、2 本のプロッ

ホラインはそれぞれストライプドメインヘッドに安定化しておく必要がある。

プロッホライン対をストライプドメインヘッドに書込むため、プロッホライン書込み導体に矢印の向きにパルス電流を与え、発生する磁界によって、ストライプドメインヘッド磁壁を図 12(a) の状態から (b) の状態まで高速移動させる。そうすると、高速に移動しているヘッド部の磁壁磁化のみが反転する。これを磁壁構造のダイナミックコンバージョンという。図 12(b) に示す磁壁磁化が反転した部分と、していない部分の境界、②、③がプロッホラインである。

プロッホラインをこのように書込むためのパルスバイアス磁界 H_p の目安は、 $\pi < \gamma H_p T_w - C_0 < 2\pi$ の形で与えられる。 γ 、 T_w はそれぞれジャイロ磁気定数、パルス磁界幅、 C_0 は材料に依存する定数である。なお、このパルス磁界を利用して、まず、ストライプドメインヘッドにあらかじめ存在していたプロッホライン①を、プロッホライン保持導体の右側にもってくる。

図 12(b) の状態になったとき、プロッホライン保持導体に矢印の向きに電流を与え、プロッホライン①をその右側に保った状態にしておき、ヘッド部に $\ominus$ 、 $\oplus$ プロッホライン対②、③を書込む。その直後に、プロッホライン保持導体の電流を切る。そうすると、 $\ominus$ プロッホライン②は H_{ip} によって図 12(c) のように、プロッホライン①と対をなす。ただし、ここでプロッホライン①が H_{ip} の影響により、プロッホライン保持導体の下または左まで戻らないように工夫しなければならない。

このようにして、図 12(c) の状態が得られる。この状態でストライプドメインヘッドにある不用になった $\oplus$ プロッホライン③を、ストライプドメインから取り除く。具体的には、プロッホライン保持導体直下に配置した 2 本の平行導体からなるストライプドメインチョッピング導体を用いて、ストライプドメインにパルスバイアス磁界を与え、ストライプドメインヘッド部から図 12(d) に示すように、バブルを切りとる。そうすると、バブルと共に $\oplus$ プロッホラインは切り取られ、切り取った後のストライプドメインヘッドには $\ominus$ プロッホラインが新たにできる。このプロッホライン④は図 12(a) のプロッホライン①の役目をする。以上の手順により、データ「0」が図 12(e) のように $\ominus$ プロッホライン対の形でストライプドメイン磁壁に書込まれる。

ヘッドから切り取られたバブルとデータパターン用バブルを一緒にして、メジャラインへ戻す。そうすると、メジャライン上には all「1」状態ができる。

図 12 書込みライトランスファゲートの動作原理

これらのバブルは書込みメジャラインに沿って図 11 の下方に設けられたバブル消去器へ導かれる。

4.2 読出しライトランスファゲート

読出しメジャラインとマイナーループとを接続す
トランスファゲートにはマイナーループにプロッホライン対の形で記憶されている情報をバブルに変換する機能が必要になる。図 10(c) に示す読出しゲートの動作の概略を図 13 に示す。つまり、マイナーループのストライプドメイン磁壁にあるプロッホライン①、②をまとめた 1 対に対応して、いかにしてバブルを作
り出すかを示している。

ここで述べる方法では、読出しメジャラインに相
対するストライプドメインヘッドにビット位置を設定
している。つまり、プロッホライン④、⑤によって形
成されるプロッホライン対も情報「0」に対応してい
る。図 13(a) に示されるプロッホライン①、②で構
成されているプロッホライン対をバブルに変換する過
程を示す。ここではプロッホライン対はストライプド
メイン磁壁上を反時計回りに転送されていると仮定す
る。

まず、マイナーループ上のプロッホライン対駆動用
パルスにより、プロッホライン①、②がプロッホライン
保持導体下に来たとき、保持導体に図 13(b) に示
す向きに電流を流し、その直下のストライプドメイン

上に図 13(b) の左向きに局所的有効面内磁界を与え
る。

こうすることにより、プロッホライン①と②との間
の領域が導体直下にくる。他方、ストライプドメイン
ヘッドにあったプロッホライン③、④、⑤は、この時
点ですべてプロッホライン保持導体の左側にくるよう
にする。プロッホライン保持導体からの面内磁界は、
この構造を安定化している。

図 13(b) の B に示すこの状態では、プロッホライ
ン保持導体下の磁壁部の磁化はストライプドメインの
上側、下側の磁壁内で互いに左向きに平行に揃ってい
る。

このような磁壁状態にして、プロッホライン保持用
導体直下においた 2 本の平行導体からなるストライプ
ドメインチョッピング導体にパルス電流を与え、スト
ライプドメインに局所バイアス磁界を加えて、図
13(c) に示すように、ストライプドメインヘッドを切
り取る。切り取ったバブルのプロッホラインの磁化お
よびその両側の磁壁磁化の向きは H_{ip} の影響で決ま
る。

図 13(c) の状態はすべて H_{ip} によって決まる。そ
の結果、図 13(d) の状態が得られる。プロッホライ
ン③、④がヘッドに戻らないのはプロッホライン④に
移動を阻止する働きがあるためである。切り取ったバ
ブルをメジャラインへ押出してしまうと、図
13(e) の状態、つまり、プロッホライン①、②から形
成されたプロッホライン対に対応してバブルを発生し、
かつ、プロッホライン対自体はストライプドメイン磁
壁上を 1 ビット周期だけ転送した状態が得られる。つ
まり、記憶情報は読出しに際して破壊されない。なお、
プロッホライン対がないときは、3 章に述べた理由によ
り、バブルはできない。

この機能を信頼性良く動作させるためには、スト
ライプドメインヘッドから切り取られたバブルを、スト
ライプドメイン保持部からいかにうまく引張り出すか
が課題となる。

それはともかく、メジャラインに押出したバブルの
有・無の列によって形成されたデータ列は、マイナ
ーループ上でプロッホラインの有無で記憶された情報
の 1 ページに相当する。このバブル列を読出しメジャ
ライン下方に設けたバブル検出器に導き、情報を読
出す。

4.3 消去

読出しライトランスファゲートのプロッホライン
保持導体に電流を与えることなく、ストライプドメイ
ンチョッピング動作だけをビット/ビットに行うと、

図 13 読出しライトランスファゲートの動作特性

マイナーループ情報は逐次パブルとともにストライプドメインから切り取られ、最終的に、マイナーループ内情報は消去できる。

4.4 マイナーループ

マイナーループは、ストライプドメインによって構成される。ストライプドメインをマイナーループとして用いるためには、①ストライプドメインを定められた位置に安定化する方法、②ブロッホライン対に対するビット位置の設定法などが重要課題である。それぞれについての現状を述べる。

(1) ストライプドメイン安定化法

ストライプドメインを所定の位置に安定化するためには、そこにストライプドメイン安定化のためのポテンシャルウェルを形成しておく必要がある。

ストライプドメインを安定化させるためのポテンシャルウェル形成法には、静磁エネルギーを利用する方法などが考えられる。具体的手段はストライプドメイン保持層表面をストライプドメイン形状に対応してグルーピングし、膜厚段差部から生じる反磁界効果を利用することで得られる。つまり、ガーネット膜表面をグルーピングして形成した溝の中にストライプドメインを安定化させる。ストライプドメイン磁壁はグルーピングエッジに沿って固定される。これも簡単なようで意外に難しい。例えば、ストライプドメイン幅とグルーピングなどによるポテンシャルウェルの幅との整合が悪いと、ストライプドメインはグルーピングエッジに沿って真直ぐには伸びず、蛇行してしまう。いったん蛇行すると、なかなか直線状には戻らない。

このような状態のストライプドメインにブロッホライン駆動用パルスバイアス磁界を加えても、その効果はストライプドメインの場所によって異なることになり、良好な素子特性を得るうえで大きな問題になる。

(2) ビット位置設定法

ジャイロ力を利用してブロッホライン対をストライプドメイン磁壁に沿ってうまく転送させるためには、次の3つの理由のため、ストライプドメイン磁壁に沿ってブロッホライン対に対してビット位置を設定することが大切である。

3つの理由とは、(i)ジャイロ力駆動によるブロッホライン対移動に磁壁の往復運動によらず一方向性を与えるため、(ii)ストライプドメイン支持層の磁気特性の不均一性のブロッホライン対駆動への影響を排除するため、(iii)ブロッホライン対駆動条件に余裕を与えるため、である⁹⁾。

実際の方法としては、(a)面内異方性磁界をストライプドメイン磁壁に沿ってビット周期に合わせて変調

図14 ブロッホライン対に対するビット位置の作り方の例

写真1 ストライプドメイン磁壁とブロッホライン対用ビット位置との相互作用 (aはブロッホライン対が3つある場合)

する方法、(b)面内磁界を(a)と同様の周期で変調する方法が考えられる。(a)を利用する例として、ストライプドメイン保持層表面に内部応力が大きいCr膜を用いて、図14に示すように、ストライプドメイン磁壁に直交する細線パターンを形成する方法、ストライプドメイン保持層に図14のパターン（この場合、パターンの厚さはイオンがその下のストライプドメイン保持層に届かない程度）を形成し、その外側にイオン(H^+ , He^+ , ...)を注入し、格子を膨ませて、注入・非注入領域の境界を境として逆歪効果を利用して面内異方性磁界をストライプドメイン磁壁に沿って周期的に変化させる方法がある。

(b)に関しては、具体的には図14の細線パターンをパーマロイ膜などの強磁性体膜でつくり、面内磁界 H_{ip} をストライプドメイン長手方向に沿って加えておくことにより、パターンエッジに磁極を誘起させ、その反磁界によって、ストライプドメイン長手方向に沿って面内磁界を周期的に変化させる。しかしこの場合、パーマロイパターンとストライプドメインとの相

相互作用が強く、パルスバイアス磁界を印加しても磁壁が動かない。このため、ブロッホライン対に対するジャイロ力も発生しない。したがって、本方法はジャイロ力を利用したブロッホライン駆動に対しては適用できないことがわかった。現在は(a)の方法について主に検討している。

写真1には、このビット位置設定法の有効性を示している。線幅 $1.2\mu\text{m}$ の非注入領域を $10\mu\text{m}$ 周期で配列している。写真1(a)はストライプドメイン磁壁の運動がビット位置によって妨げられないこと、写真1(b)には、矢印で示すブロッホライン対が注入部に安定化されていることを示している。ただし、ストライプドメイン磁壁に沿って 10Oe の面内磁界を加えておき、ブロッホライン対が非注入部をまたいで安定化することを防いでいる。

5. 今後の課題

いままで述べてきたことは、ブロッホラインメモリーを構成するための最低限の動作機能を示したにすぎない。今後、実用デバイスに発展させていくためには、ストライプドメインの有効な固定法を初めとして、磁壁と結晶体につくりつけたパターンとの整合という観点から、磁壁の挙動およびブロッホラインの挙

動を制御する手段を開発していく必要がある。

(昭和59年7月6日受付)

〔参考文献〕

- 1) S. Konishi: "A New Ultra-high-density Solid State Memory: Bloch line memory", IEEE Trans., **MAG-19**, 5, pp. 1838-1840 (Sep., 1983)
- 2) A. P. Malozemoff, J. C. Slonczewski: "Magnetic Domain Walls in Bubble Materials", Academic Press, p. 83 (1979)
- 3) J. C. Slonczewski: "Theory of Bloch-line and Bloch-wall Motion", J. Appl. Phys., **45**, 6, pp. 2705-2715 (June, 1974)
- 4) A. Hubert: "Interactions between Bloch Lines", AIP Conf. Proc., No. 18, pp. 178-182 (1974)
- 5) T. M. Morris, et al: "Dynamics of Hard Walls in Bubble Garnet Stripe Domains", J. Appl. Phys., **47**, 2, pp. 721-726 (Feb., 1976)
- 6) 松山公秀, 浅田裕法, 小西進: "垂直ブロッホライン対の転送特性の改善", 昭59通信学総会全大, No. 186 (1984)
- 7) J. C. Slonczewski: "Theory of Domain-wall Motion in Magnetic Films and Platelets", J. Appl. Phys., **44**, 4, pp. 1759-1770 (Apr., 1973)
- 8) Y. Hidaka, et al: "Experimental Confirmation of Fundamental Functions for a Novel Bloch Line Memory", IEEE Trans., **MAG-19**, 5, pp. 1841-1843 Sep., (1983)
- 9) Y. Hidaka, H. Matsutera: "Bloch Line Stabilization in Stripe Domain Wall for Bloch Line Memory", IEEE Trans., **MAG-20**, 5, pp. 1135-1137 (Sep., 1984)
- 10) 小西進, 檜高靖治: "1 G ビット/ cm^2 級の高密度固体磁気憶を実現できるブロッホラインメモリー", 日経エレクトロニクス, **8**, 15, pp. 141-167 (Aug., 1983)