

磁気バブル素子*

古尾谷

崇**

1. はじめに

現在までに磁区を制御し、これをデバイスへ応用する試みがいろいろ行なわれてきた。ドメイン・チップ・プロパゲーション・ロジック (DTPL)¹⁾ やリエントラントワイヤ、ダイナビット²⁾ 等はこの例である。しかし、これらに用いられている磁区は原理的に不安定なうえ記憶密度、転送速度の点で十分な特性が得られず、実用にむずびついたものはほとんどなかった。特にこれらの主要な応用分野は順次アクセス・メモリであるが、現在ディスクメモリで代表されるこの種のメモリの特性は非常に優れているものであり、これにたちうちできるメリットが発見できなかった。

バブルドメインデバイスはこの壁を破り十分な実用性を持っているものとして注目されている。その第1の理由はバブルドメインが原理的に(エネルギー的に)安定に存在し得る磁区構造であること、第2に従来この種のデバイスにない高速、高密度が達成できること、第3はバブル-バブル相互作用によって新しい機能をもつデバイスが可能であること等であろう。1967年ポーバックによりバブルドメインの理論的解析、応用の可能性が始めて発表され³⁾、さらに数年後の国際応用磁気学会で巧みなバブルドメインの制御技術が示され一躍世界の注目をあびるようになったものである。今年の春、同じ会議が国内外の700名の研究者が参加し京都で開催された。全発表件数のうち約12%がバブル関係のものであり、新材料の開発、バブルの新しい制御技術、新応用等幅広い範囲の討議がかわされバブルデバイスがさらに実用に向って前進した感を受けた。

2. バブルドメインと材料

バブルドメインはすでによく知られている通り図2.1で示すような円筒形の磁区構造をもっており、結

晶面に垂直な一定のバイアス磁場 H_A の下では安定に存在し得る。そして外部よりの磁場勾配をバブルドメインに印加することによって自由に結晶内部を移動させることができるものである。バブル材料としては結晶薄片面に垂直に一軸磁気異方性をもっていることが必要でありまたバブルが存在するためには磁化の強さ ($4\pi M_s$) が異方性磁場 ($H_A = \frac{2K_u}{M_s}$) より小さいことが必要である。一方バブルが安定に存在できる大きさは $E^{1/2} \cdot K_u^{1/2} \cdot M_s^{-2}$ に比例する⁴⁾。高密度記憶を得るためにはバブルの径はできるだけ小さい方が好ましく

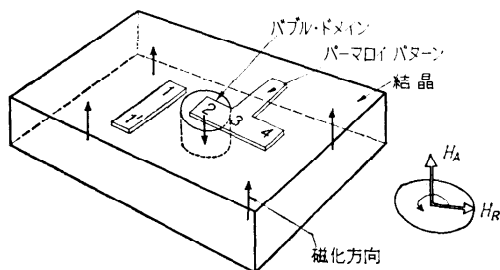


図 2.1 バブル・ドメインと T バー・パターン

(バブルは双極子と考えられ2つのバブルが接近すると互いに反発力をおよぼしあう。一般にバブルの径の4倍以下にバブル同士が接近すると反発力が急激に増大し好ましくない⁵⁾。したがってバブルの直径の約4倍程度にビット間隙がとられる。しかしこの相互作用はロジックを構成する場合、非常に重要な役割りを演ずる。) $4\pi M_s < H_A$ の範囲で K_u/M_s を適当な値にとる指針で材料開発が行なわれている。当初は稀土類を含むオルソフェライトが中心であった。オルソフェライトは比較的磁壁易動度が大きく、高速動作が可能であるが K_u/M_s が大きくバブル径が比較的大きい。したがって材料開発の主流は一軸異方性をもつガーネット系へ移行している⁶⁾。ベル研を中心とする精力的なバブル材料の開発研究の結果、現在ではバブル径が数ミクロンで十分磁壁易動度の大きな材料が開発されている。さらにエピタキシャル結晶成長技術がこれに適

* Magnetic Bubble Domain and its Applications, by Takashi Furuoya (Central Research Lab., Nippon Electric Co., Ltd.)

** 日本電気株式会社中央研究所記憶研究部

表 2.1 バブル材料の一仕様

バブルの直径	4 $\mu\text{m} \pm 3\%$
磁化の強さ ($4\pi M_s$)	150 gauss $\pm 1\%$
結晶の厚さ	3 $\mu\text{m} \pm 1\%$
磁壁易動度	> 200 cm/sec \cdot oe
保持力	< 0.3 oe
欠陥密度	< 10/cm ²
異方性磁場	> 20 πM_s

用され⁷⁾, バブル運動の障害となる結晶欠陥が非常に少ない均一な大面積をもつガーネット薄膜が得られている。表 2.1 はバル研で提示されたバブル材料の仕様であるが、これが実現できれば十分バブルデバイスの実用化が前進するし、またこれを十分達成可能な基礎技術が着々と確立されつつある。

3. バブル素子構成

3.1 バブル転送制御技術

バブルドメインでデバイスを構成する場合、バブルドメインの発生、転送、検出、消失等が必要である。これらの各構成要素についてはすでにいくつかの解説で述べられているので⁸⁾, ここでは最近発表されている 2, 3 の新しい例を中心にして述べることにする。

バブルの転送に関しては導体ループを用いる方法、バブル単結晶薄片上に軟磁性薄膜片を設けてこの軟磁性薄膜の磁化状態を次々と変えて転送する方法等があり、後者はさらにTバー方式(またはYバー方式)で代表される単結晶面に平行な回転磁場(H_R)によりTまたはI形の軟磁性体薄膜片を次々に磁化して転送する方法と、バイアス磁場(H_A)を周期的に変化させてバブルの大きさを変化させ三角形の軟磁性薄膜片に次々とバブルを引っかけて転送するいわゆるエンゼル・フィッシュ方式がある⁹⁾。

導体ループ方式は連続して設けられた導体ループに次々と電流を流すことによってバブルを転送する方式であるが転送と同時に論理動作が非常に行ないやすいハネカム制御パターンが発表されている⁹⁾。図 3.1 はこの導体パターンでありバブル材料の上に設けられたハネカムコイルに次々と3相の交流を流すと、バブルの安定位置は1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \dots と移動する。図で示すように、この場合バブルが次に移動できる位置は常に3つあることがわかるであろう。これが本パターンの特長である。そしてこの特長が論理構成を非常に容易なものにしている。3つの隣接ビットのうちどれを選ぶ

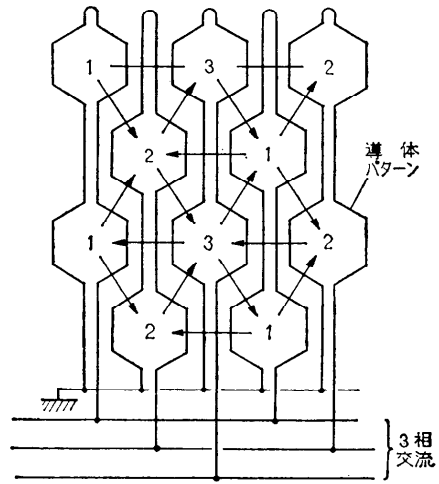


図 3.1 ハネカム制御パターン

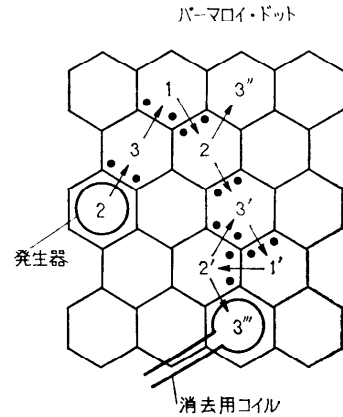


図 3.2 ハネカム制御パターンを用いた二進カウンター

かは例えばパーマロイドドットをループのはしに選択的に設けることにより行なわれる。図 3.2 はこのハネカムコイルを用いて2進カウンターを構成した例である。②の所より発生したバブルは3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3' \rightarrow 1' \rightarrow 2' \rightarrow と進行する。2'の次のステップは3'であり、ここでバブルは1' \rightarrow 2' \rightarrow 3'のループ内にとじこめられる。2番目のバブルが同様な路を通過して2まできて次に3'に移動しようとする前に1'2'3'のループ内にとじこめられた1番目のバブルも3'に移動しようとする。バブルには互いに反発力があるため同時に2つのバブルが同じ位置を占めることができず1番目のバブルは3'''に、2番目のバブルは3''に互いに反発されて移動する。したがって3''の位置には発生したバブルが一つおきに現われることになりこれで2進カウンター

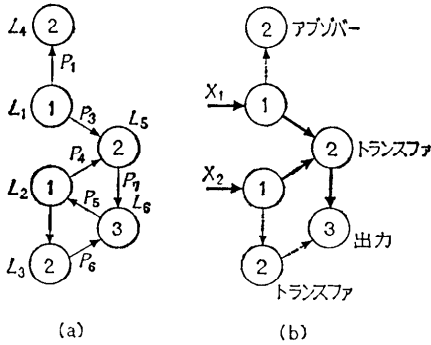


図 3.3 ハネカム制御パターンの基本論理回路 (a) と OR 回路 (b)

が構成される。図 3.3 (a) はハネカム制御パターンを用いた基本論理パターンを示してある。たとえばこの基本論理パターンの L_1, L_2 をバブルの入力端, L_3, L_5 をバブルの転送路, L_4 をバブルの消去部, L_6 に検出素子をおき, P_6, P_7 をバブルの転送路とすると OR 回路が構成される (図 3.4 (b)). すなわち X_1 より入ったバブルは実線の矢印を通り, 1, 2, 3 と検出部に移動する。また X_2 より導入されたバブルも同様な路すじを通って検出部に行く。一方 X_1, X_2 より同時に 2 つのバブルが入ってくると互いの反発力によって実線の矢印にそっては進行できず, X_1 より入ったバブルは点線の矢印にそって 2 に行き消滅する。 X_2 より入ったバブルは同様に点線の矢印にそって出力端に到達する。したがっていずれの場合にもバブルは検出端に現われて OR 回路が構成される。表 3.1 はこの基本論理パターンの各部分に表中の機能をもたせることにより種々の論理動作をもたせうることを示したものであり, ハネカム制御パターンの単純な基本パターンにより種々の論理を行なわせることができる。

導体パターンによる駆動方式は複雑な導体パターンを多数結晶上に設けなくてはならない。しかし他の方法にくらべて磁場勾配を大きくすることができるので

表 3.1 ハネカム制御パターンの論理

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	P_6	P_7
OR	X_1	X_2	T	a	T	O	断	接
AND	X_1	X_2	T	a	a	O	断	断
NOT	X_1	c	a	a	T	O	断	断
EXCLUSIV OR	X_1	X_2	a	a	T	O	断	断
FLIP-FLOP	X_1	T	a	O	T	T	接	断

X_1, X_2 入力; c, 定数; O, 出力; a, アブゾバー; T, トランスファ

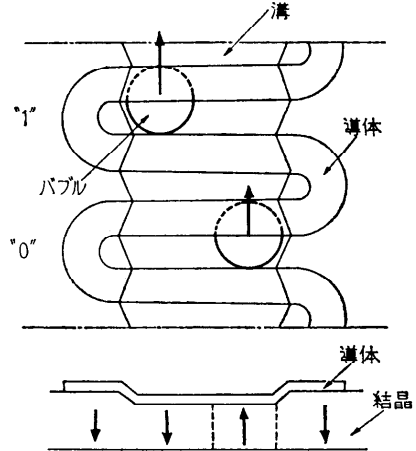


図 3.4 導体パターンによるバブル駆動回路の一例

転送に関しては有利である。また特定の選択にされたループのバブルのみを動かすことができる。したがって現在も種々の方法が提案されている。図 3.4 はベル研より発表された導体による転送方式である¹⁰⁾。結晶に浅い溝を設けこれに直交するように導体を設け交流を流すことによりバブルは矢印の方向に転送される。従来バブルの有無で 2 進情報の記憶がなされていたが, この場合にはバブルが溝のどちらの端に近くあるかで 2 進情報が記憶される。ビット間隔は約 16 μ , 10 mA 程度の駆動電流で動作が可能である。

次に軟磁性体薄膜片を用いる方法 (例えば T 方式) を図 2.1 に示す。すなわち面内回転磁場 H_R が回転するにつれてパーマロイパターンの端 1, 2, 3, 4 に順次バブルを吸引する磁極が生じ, バブルはこの磁極に引かれ転送される。さてバブルを転送する場合最大速度を得るためにはバブルの両端に加わる磁場勾配をいかに大きくするか, またパーマロイパターンの磁化変化によりバブルに加わる磁場分布が変化することがこの変化は進行波的变化をすることが必要であることが理論的に示されている¹¹⁾。このためいかに上記の要求を満足されるようにパターンを設計するかが重要な指針となる。YY パターンはこの考えをもとにして生れたものである¹²⁾。

図 3.5 に YY パターンの転送部を示す。いま時計回りの回転磁場が加わるとパターンの先端は 123 の順で磁化され, これにそってバブルは転送される。この場合図 2.1 の T 方式において 3 に相当する磁化の不完全な場所がなく非常にスムーズに転送ができる。ま

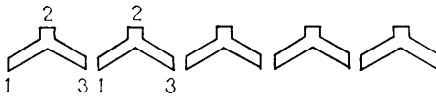


図 3.5 YY パターンによる転送部

たバイアス磁場 H_A が小さくなるとバブルの径は大きくなる。Tバー方式の場合3の位置にバブルがあるときにはパターンの1'の点もバブルを吸収する方向に磁化される。したがって、バブルの径が大きくなると3と1'にバブルが引きのばされて転送不可能となる。1'を不用磁化と呼ぶことにすると、Tバー、Yバー等の方式では常にこの不用磁化が存在し、特に低バイアス磁場で転送を不可能にしてしまう。YYパターンの場合にはこの不用磁化が存在しない。したがって低バイアス磁場で転送マージンが広がる。図3.6はTバーとYYとの動作磁場領域を示したものであるが、YYの方が特に低バイアス磁場の方向に動作可能な領域が広がっていることが明らかである。

YYパターンの他の大きな特長は前述のハネカム制御パターンと同様ロジック構成が非常に容易にできることであろう。YYパターンを用いた転送パターンにおいては、Yの1本の足の長さを短くして転送をより

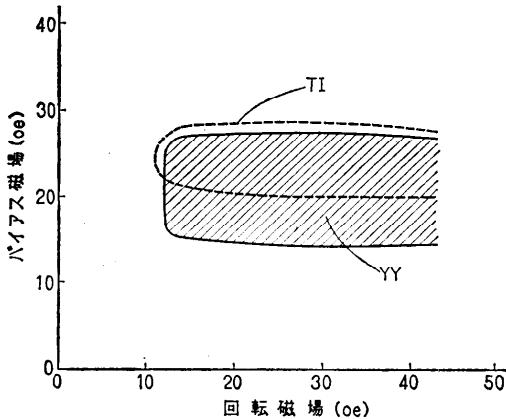


図 3.6 YY パターンとTバーパターンの動作マージン

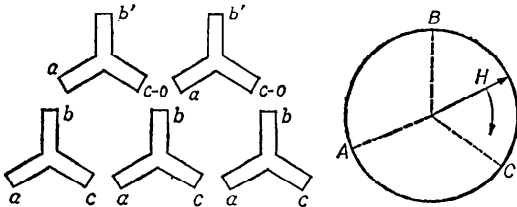
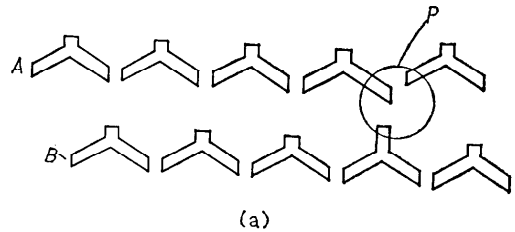
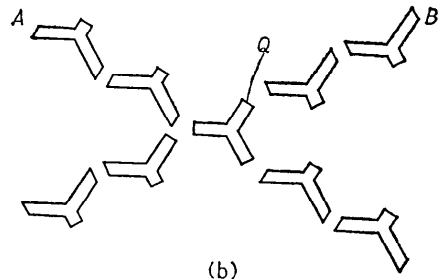


図 3.7 YY 基本パターン

容易にするように設計されている。しかしYYの基本パターンは等長の足をもつYパターンをちょう密に並べることにある。図3.7はYYパターンの基本回路が示されている。いま回転磁場が矢印Aの方向をむいている時バブルは図のaにあるとする。つぎに回転磁場が時計方向に回りBの方に向いた時aにあるバブルはbまたはb'のどちらへも転送が可能になる。すなわちYYパターンにおいては常に次にバブルの転送可能な位置は2つ存在できる。これは他のパターンにみられないYYパターンの大きな特徴である。2つのうちどちらかを選択するかはYの足の長さ、バブルの大きさ(さバイアス境界の大きさ)、バブル同志の相互作用等によって制御することができる。図3.8(a)はOR・AND回路、(b)はCROSS OVERを構成



(a)



(b)

図 3.8 YY パターンによる論理回路
(a) AND, OR 回路, (b) CROSS OVER

したものでありTバーに比して非常に簡単にロジック回路ができる。また他のYYパターンの特長はバブルの大きさすなわちバイアス磁場の大きさにて転送路の切換えができることである。これを用いるとゲート回路に特別な配線を設けずに多数の情報の流れを一斉に切換えることができる。図3.9はYYを用いたスイッチング回路の1つを示したものである。いまバブルが1の位置にあり回転磁場が回転するにつれて、1, 2と進む場合を考えてみる。バイアス磁場が大きく、バブルの径が小さいときには、2より2'の吸引力の方が強い(同一のパターン中を移動するため)矢印

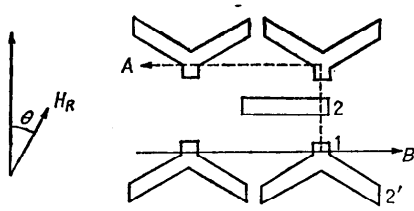


図 3.9 YY パターンを用いたスイッチ

Bにそってバブルは転送される。しかしバブルが1にきたとき、一時的にバイアス磁場を小さくするとバブルは拡がり磁場の回転につれて2が磁化されるため先ずバブルは1と2との間かけ橋を作る。1度2についたバブルはさらに磁場が回転して2'が磁化されても1度2についてしまったバブルはここから離れにくく、2を通じて矢印Aにそって進むことになる。このようにしてバブルの大きさをバイアス磁界で制御することにより転送路AまたはBの切り換えが可能になる。ここで述べたスイッチング回路は従来のものと異なり、導体ループを必要としない。したがって一斉に多数のバブルをスイッチさせるような、例えば、メジャー、マイナー、ループ方式のメモリ構成においては非常に有用な方法と考えられる。

この他に転送回路については導体パターンと軟磁性体とを組み合わせたもの¹³⁾、結晶に直接エンジェルフィッシュ状の刻印を行ない転送させるものなど種々の方式が考えられている¹⁴⁾。特に後者は光に対し不透明なパターンを用いないため光学的なディスプレイやパターン処理に有用であろう。

最後に従来とまったく異なった転送方式を紹介しこの項をとじることとする。いままで説明した方法は情報を転送させたい場合、情報のない手であるバブルが移動しなければならなかった。しかしバブル間の相互作用を用いることにより情報だけ転送することが可能である。図 3.10 この方法を示している¹⁵⁾。結晶の表裏に交互に山形のパーマロイパターンを設けたものが用いられ各山形のパーマロイパターンはバブルで占められている。そして2進情報は図で示すごとく山形のどちらの足にバブルが存在するかで表される。いま図の a の状態において一方向に変化する交流磁場 H_D を加えると、図の a, b, c, d, e で示すごとく互いのバブルの相互作用により情報の“1”、“0”は1ステップ右に移動することがわかる。この場合バブルは単に山形のパターンの上を上下に動くだけで情報の移動が行なわれることに注意したい。

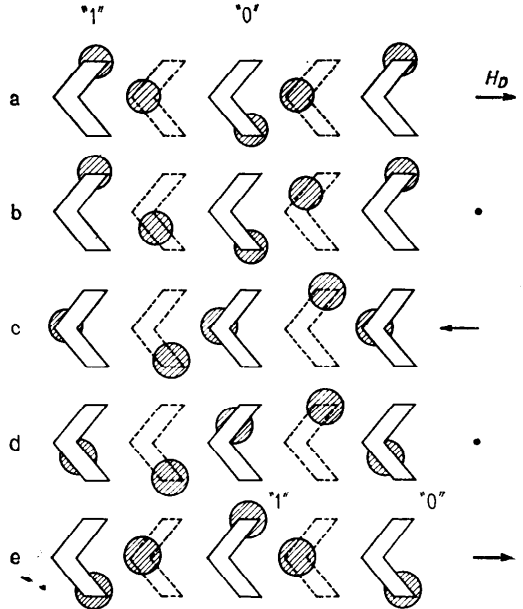


図 3.10 シェブロンパターン、点線は結晶の裏側に設けられたパターンを示す。

以上バブルの転送について種々の方法を特に新しいものを中心に述べた。バブルを転送する場合いかに効率よく行なうかが大きな問題でありバブルの動的な特性とからんでバブルデバイスにたずさわる研究者にとって1つの興味ある問題である。バブルが運動する場合の動的な理論解析¹¹⁾、パーマロイパターンとの関係、さらにパーマロイパターンを、回転磁場をバブルの駆動磁界に変換する変換器と考えた種々のパターンに対する変換効率の問題¹⁶⁾等パターン構成以外にバブル転送に関する理論的、実験的な解析が広く行なわれている。さらにバブルの径が小さくなり記憶容量が格段と増大した場合の微細パターンを多量に製作する製造技術の開発等バブル転送に関しても単なるアイデアのみでなく基礎的な研究から開発に至るまで着実に成果を上げつつあるのが現状であろう。

3.2 検出器の開発

バブルをいかに検出するか、特にバブルの径が非常に小さくなった時いかにこれを効率よく検出するかは一つの大きな問題である。検出の方法は大別してバブルからの磁束を検出する方法と、磁気光学効果を用いたものに分けられる。バブルからの漏洩磁束を検出する方法としては現在半導体のホール効果を用いたものと磁性体の磁気抵抗効果を用いたものがある。ホール効果を用いたものは InSb の単結晶または

蒸着膜が用いられており4端子素子あるいは3端子素子が提案されている^{17)・18)}。特に3端子素子の場合には検出素子を複数個配列させ検出と同時にロジック作用を行なわすこと等の新しい検出方式が試みられている。

一方磁気抵抗効果を用いる場合、検出素子としてはNiFeの薄膜が主に用いられる。これは磁性体の磁化状態の変化により電気抵抗が変る現象を利用したものであり、当初は単に矩形の素子が用いられていたがバブルからの漏洩磁束を有効にひろうためにバブルをとりかこむような円形素子が開発されている¹⁹⁾。これは従来の矩形の素子より5倍以上の出力電圧が得られ十分な検出感度を有している。

4. バブルドメインの応用

4.1 全固体ファイルメモリの提案

ベル研究所ではガーネットを用いた15メガビットのバブルメモリを開発中であり、この装置は中容量のディスクファイルに比較すると、アクセス時間は約1/10、記憶密度は約1000倍、しかもビット価格は約1/10、消費電力は1/25になるであろうと報告されている²⁰⁾。具体的なメモリ構成は確かでないが、現状の技術からして近い将来十分実現可能な特性であろう。そして現在これに近い具体的なシステムが種々報告されている。

現在まで報告されているバブルメモリの構成方法は大きく別して3つある。図4.1(a)はこの内の1つであるメジャー、マイナー、ループ方式(M/m方式と呼ぶことにする)の例を示したもので²¹⁾、磁区発生器より情報に応じて発生したバブルドメインは、メジャーループ内を転送し、マイナーループにつながるゲートの前に配列する。このときに一斉にゲートが開くとバブルドメインは各マイナーループ内に平行的に格納される。この方式の特徴は各メモリループを別々に空間的に選択し情報を格納する方式にくらべて特別なバブルドメインの転送路やゲートの選択機能が不必要なことである。情報の選択は時間的に行なわれ、メジャーループに転送された情報はただちに読み取ることができる。したがってアクセス時間は短縮される。たとえば、1つのメジャーループの容量が2000ビット、転送速度が1MHzの場合、平均のアクセス時間は1msecが達成される。

図4.1(b)は他の方式すなわち、各ループにバブルデコーダーをもっているもの(Self Contained Chip、

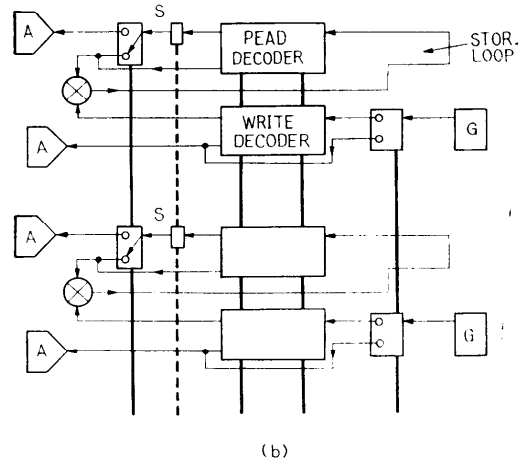
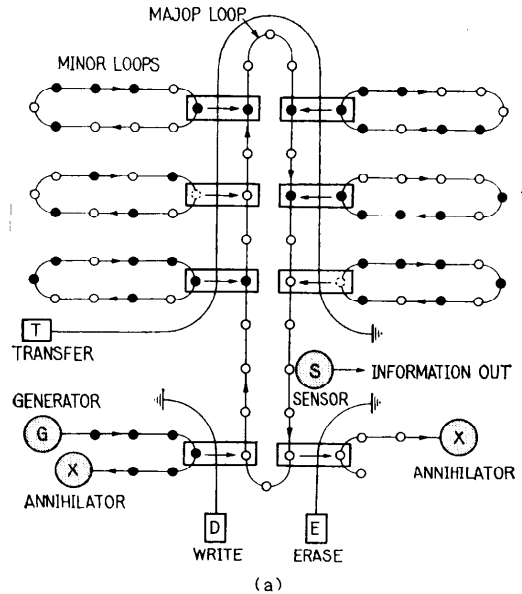


図 4.1 バブル・ファイル・メモリの構成

SCC方式と呼ぶ)を示している。各ループの選択はこのデコーダーを動作させて行なわれる。この方式の特徴は各ループにバブルドメインの発生源をそれぞれ有していることであり、常に情報に対応して各発生源よりバブルが発生しているが、デコーダーの選択によりある特定のループにのみ情報を導入するようにしたものである。バブルメモリの発生源は単にパーマロイの発生器を作るだけで達成できる。したがって転送用のパーマロイパターンを作るとき同時に作ってしまうことができる。各ループに発生源を作ってもなんら価格の増大をきたさない。また記憶ループが長ければ発生

器やデコーダの占める面積は無視できよう。バブルメモリは I/C 技術によって一括生産が可能である。この場合、種々の欠陥（例えば結晶の欠陥、パターンの欠陥等）に対する冗長度によりメモリの価格は大きく支配される。したがって、欠陥に対する冗長度は非常に大きな問題である。この方式は欠陥のあるループを使用しないことが比較的簡単にできるので M/m 方式にくらべてこの点で有利であろう。

選択するループだけ動作させる方式が第3の方法である¹⁰⁾。これは図 3.4 に示した転送方式を用いたものであり特定の駆動線を選択することによりそのループのバブルのみ駆動され情報が読み出し書き込まれる。

以上3つの方式はそれぞれ一長一短を有している。たとえばアクセス時間をとってみても表 4.1 のごと

表 4.1 バブルメモリの種々の方式によるアクセス時間の相違。T; 1 ビットの転送時間, P; 1 語に含まれるビット数, l; 語数。

	M/m 方式	導体方式	sec 方式
アクセス時間	$\frac{l}{2}T$	$\frac{P}{2}T$	$\left(\frac{P}{2} + \log l\right)T$

く語数や1語に含まれるビット数によって異なってくる。したがってどのようにシステムに適用するかでそれに適したメモリ構成を考えなければならない。また最近ダイナミック・オーダー方式の導入がなされている²²⁾。すなわち使用頻度の高い情報ブロックを常に検出機能部の近くにおきアクセス時間をできるだけ早めようとする方式である。バブルにはロジック機能をもたせうるため容易にメモリ部でこの操作が行なえることもバブルメモリの大きな特長である。そしてこの場合には原理的にはアクセス時間を数ビットの転送時間にすることが可能であり非常に高速のアクセスができる。

現在提案されているバブルメモリは全容量 $10^7 \sim 10^8$ ビット、アクセス時間は 1 msec 前後のものであり、ドラムやディスクの中容量のファイルメモリを十分おき代える特性を有している。従来のファイルメモリにない純電子的なアクセス機構をもち、さらにアクセスが 10 倍以上向上できるメモリはマイクロプログラム用ファイルメモリや転送速度の大幅に異なるメモリ間のバッファ、外部メモリ等に非常に有効であろう²³⁾。

4.2 論理-記憶複合素子

ここではバブルドメインを用いた連想メモリを例にして説明する²⁴⁾。

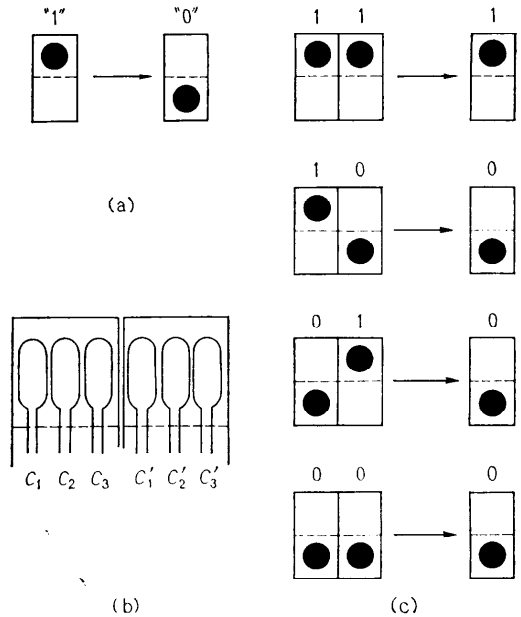


図 4.2 バブル・ロジックの一例

バブルドメインで2進情報を表わす方式は2つある。1つはバブルドメインの有無を“1”, “0”に対応させる方法であり, 他は2つのバブルドメインに対する安定点を作り, このうちのどちらかにバブルドメインが占有するかで2進情報を表現する方法である。バブルの有無で情報を表現する場合のロジック例は前項で説明したので, ここでは後者の例を述べこれを用いた連想原理を説明することにする。

図 4.2 (a) に示すように, この場合2つの席の内, 上の席にバブルがある場合を“1”, 下の席にある場合を“0”としよう。上の席のバブルを下の席に移すことで簡単に情報の反転ができる。さてこれで論理作用を行なわせる場合, まず上の席のみを取出してバブルの挙動を考えてみよう。たとえば図 (b) のように隣接した3つの導体ループをもった2つの異なった席が近接して設けられたとする。そしていまバブルドメインの通常存在できる位置は C_2 および C_2' であるとする。導体ループ $C_3, C_1', -C_1'$ に順次電流を流すと (負の符号はバブルドメインを消失する方向に電流を流すことを示している), もし両方の席にバブルドメインが存在する場合には C_2 のバブルは C_3 にひかれ次に C_3 か C_2' のどちらかのバブルが C_1' にひかれ (バブル同志の反発力によって同時に2つのバブルが同じ席をしめられない), 消滅する。したがってこの場

合1つのバブルが残される。バブルが1方にしかない場合または全然ない場合には上記の操作でバブルはすべて消失してしまう。いまこの操作を小アンド (MINOR AND) と呼ぶことにする。次に C_3, C_1' ($-C_3, -C_2'$) の操作を行なった場合を考えてみよう。この場合にはバブルが両方または1方の席に存在している場合は常に1つのバブルが残る。これを小オア (MINOR OR) と呼ぶ。図(c)はこの小アンド、小オアを用いて論理を行なわせた場合であるが、上の席同志に小アンド、下の席同志に小オアをほどこせば、2つの情報の論理積を作ることができることが図より明らかになるであろう。

以上の論理機能を用いて情報の検索を行なうことを考えてみる。図4.3はこの方法を示したもので、いま、(001), (101), (100)……等の被検索情報があり、この中で(001)の情報を検索する場合、各被検索情報に(001)を作用させ検索情報の“0”に相当す

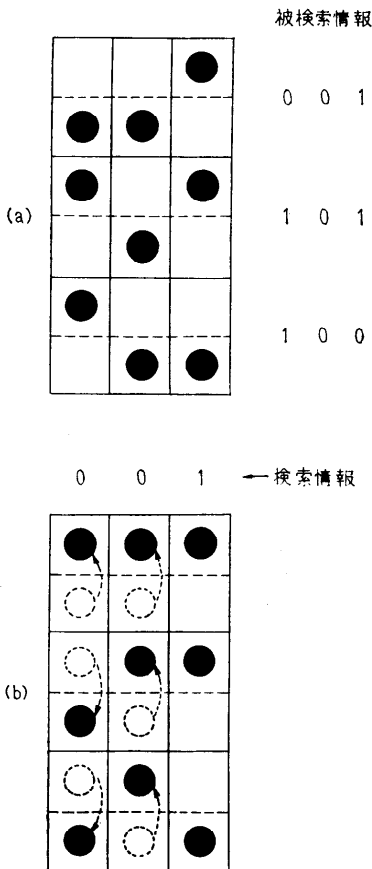


図 4.3 バブル論理を用いた情報の検索

るビットを反転させると図(b)のごとき配列が得られ、横方向に前に説明した方法により論理和をとれば情報の一致している所のみバブルが残り他の部分はすべてバブルが消滅してしまう。このようにして情報の一致を知ることが出来る。

ここでは一つの例としてバブルを用いた連想機能を説明した。この手法を用いることによって連想メモリを構成することができる。連想メモリは現在のコンピュータシステムにあまり用いられていない。しかしバブルの記憶機能と論理機能を兼ねそなえている特徴をうまく利用し、安価な大容量の連想メモリを作ることができれば将来のコンピュータの有用なメモリとなる。またバブルの特徴はこの分野で最も有効に発揮できるものと思われる。

4.3 バブルの新しい応用

以上説明したようなデジタルな情報処理以外に、アナログ情報処理やパターン処理にもバブルの応用が考えられている。いままではバブルの1次元的な転送のみを問題にしてきたが、結晶面内にバブルが自由に動き回られる特徴は2次元的な情報の転送を可能にする。この特性を利用してパターンの回転、変換等が行なえ、パターン処理に利用することができる²⁵⁾。

一方バブル-バブルの相互作用は新しいドメイン構造を生み出ることができる²⁶⁾。図4.4はこの磁区構造の

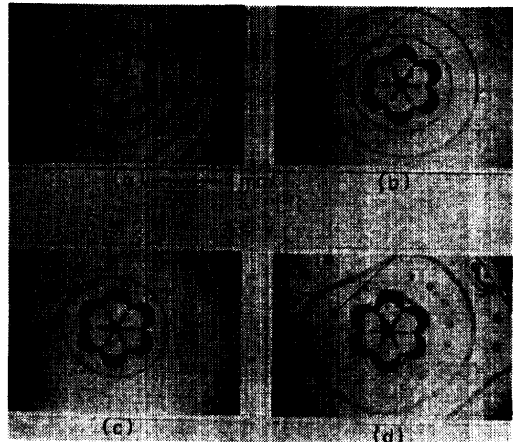


図 4.4 オルソ・フェライトに見られる種々の磁区構造

一例を示したもので、同心円状の環状磁区や、環状磁区内にバブルが入った磁区や、正負のバブルの共存した磁区等新しい磁区構造が多数発見されている。しかもこれらの磁区の形や数ある程度自由に制御し発

生, 消滅させることができる。

現在このような磁区の確実な応用は提案されていない。しかしこれらの磁区は従来にない新しい応用の可能性を秘めており, 従来のバブルの固定観念を破る新しい応用の芽となることが期待される。

参 考 文 献

- 1) R. J. Spain: Controlled Domain Tip Propagation. *J. Appl. Phys.* 37, pp. 2572-2583 (1966).
- 2) B. D. Broadbent: Proc. of IEEE International Computer Group Conf. (1972).
- 3) A. H. Bobeck: Properties and Device Application of Magnetic Domains in Orthoferrites, *Bell Syst. Tech. J.* 46, pp. 1901-1925 (1967).
- 4) U. F. Gianola, D. H. Smith, A. A. Thiele and L. G. Van Uitert: Material Requirement for circular Magnetic Domains. *IEEE Trans. on Mag. MAG-5*, pp. 558-561 (1969).
- 5) A. H. Bobeck, R. F. Fisher, A. J. Perneski and L. G. Van Uitert: Application of Orthoferrite to Domain Wall Devices. *IEEE Trans. on Mag. MAG-5*, pp. 544-553 (1969).
- 6) A. H. Bobeck, E. G. Spencer, L. G. Van Uitert, S. C. Abrahams, R. L. Barms, W. H. Grodkiewicz, R. C. Sherwood, P. H. Schmidt, D. H. Smith and E. M. Walters: Uniaxial Magnetic Garnets for Domain Wall "Bubble Devices". *Appl. Phys. Letters* 17, pp. 131-134 (1970).
- 7) L. J. Vernerin: Approaches for Making Bubble-Domain Materials. *IEEE Trans. on Mag. MAG-7*, pp. 404-409 (1971).
- 8) 飯田他: 磁気バブルをねらえ, *エレクトロニクス* 4月号, pp. 426-447 (1970).
古尾谷, 村上: バブルドメインとその応用, *応用物理*, pp. 345-350 (1970).
- 9) 渡辺: バブル論理の一方法, *応用磁気学術講演会*で発表, 7PB-5 (1970).
- 10) J. A. Copeland: Conductor Propagation Circuits for High Density Bubble Domain Memories. *Digest on the Intermag Conf.* 15. 6 (1972).
- 11) S. Fujiwara, K. Yoshimi and T. Furuoya: Bubble Domain Dynamics. *Conf. on Magnetisms and Magnetic Materials* (1971).
- 12) F. Yamauchi, K. Yoshimi, S. Fujiwara and T. Furuoya: Bubble Switch and Circuit utilizing YY Overlay. *Digest on the Intermag Conf.* 15. 4 (1972).
- 13) M. A. Boyarchenkov, V. K. Raev, M. I. Samarin, A. M. Balbashov and A. Y. Chervonenkis: Magnetostatic Interaction in Some Bubble-Domain Propagation Circuits. *IEEE Trans on Mag MAG-7*, pp. 352-355 (1971).
- 14) N. Hayashi, L. T. Romankiv, H. Chang and S. Krongelb: Fabrication and Operation of Indented Angelfish Bubble-Domain Shift Register: *Digest on the Intermag Conf.* 15. 3 (1972).
- 15) A. H. Bobeck and H. E. D. Scovil: Magnetic Logic Arrangement. U. S. Patent No. 3541522 (1970).
- 16) K. Yoshimi, S. Fujiwara, F. Yamauchi and T. Furuoya: Dynamic Behavior of Magnetic Bubbles. *Digest on the Intermag Conf.* 54. 4 (1972).
- 17) S. Yoshizawa, T. Oi, J. Sugita and G. Kamoshita: Small Bubble Domain Detection by Hall Effect of InSb Films. *Digest on the Intermag Conf.* 26. 1, (1972).
- 18) S. Kataoka, H. Yamada, S. Iida and Y. Sugiyama: Arrayed Detector for Bubble Domains employing Three-terminal Hall Elements. *Digest on the Intermag Conf.* 26. 3, (1972).
- 19) K. Takahashi, K. Okada, H. Kohara and H. Murakami: Ring Type Permalloy Detector for Bubble Domains, *Digest on the Intermag Conf.* 26. 5, (1972).
- 20) *Electronics Dec.* 20, pp. 17 (1971).
- 21) A. H. Bobeck and H. E. D. Scovil: Magnetic Bubbles, *Scientific American*, June, pp. 78-90 (1971).
- 22) H. Chang: Bubble Domain Memory Systems. *Intermag Conf.* で発表, (38. 1).
- 23) W. Anacker: Possible Use of Charge-Transfer Devices and Magnetic-Domain Devices in Memory Hierarchies. *IEEE Trans on Mag MAG-7*, pp. 410-415 (1971).
- 24) A. H. Bobeck, U. F. Gianola: Magnetic Domain Propagation Arrangement. U. S. Patent No. 3541534, (1970).
- 25) K. Kita, F. Inoue and M. Kasai: Two-Dimensional Shift Array of Magnetic Bubbles and its Application to Pattern Processing. *Digest of the Intermag Conf.* 15. 2, (1972).
- 26) H. Urai, K. Yoshimi, S. Fujiwara and T. Furuoya: A New Type of Magnetic Domain Structure in Orthoferrites. *Digest of the Intermag Conf.* 5. 1, (1972).

(昭和47年5月22日 受付)