

磁氣 버블의 컴퓨터 메모리에의 應用

李 根 喆

韓國科學技術情報센터 情報處理部, 主任

1. 序言

最近 情報工學의 hardware로서 magnetic bubble(磁氣버블)이란 用語가 登場하게 되었다 버블이란 液體中에 存在하는 氣泡로서 熱帶魚의 恒溫槽中에서 볼 수 있다. 그러나 磁氣 버블은 本來氣泡와는 關係가 없고 겉모양이 비슷하므로 이러한 名稱을 갖고 있다. 磁氣 버블을 定義하면 稀土類 Orthoferrite나 Garnet와 같은 垂直 磁化膜에 나타나는 것을 圓筒狀 磁區라고 말할 수 있고 現在까지 半導體를 中心으로 한 電子工學分野에는 存在하지 않는 다음과 같은 特異한 性質을 갖고 있다.

1) 磁氣버블은 外部에서 電力을 供給하지 않아도 自己變形을 恒常 除去해서 一定한 形狀으로 維持하는 自己成形作用이 있고 2個로 分離시킬 수 있다.

2) 不揮發性과 遠隔制御性이 있으며 相互作用에 있어서는 磁氣버블群이 接近하면 距離의 4乘에 逆比例하는 강한 反發力이 發生한다.

3) 버블의 發生과 消滅을 任意로 制御할 수 있고 빛과의 相互作用에 있어서 直線偏光을 버블用 磁性膜에 入射시키면 磁化方向의 正負에 對應해서 偏光面의 回轉方向이 反轉된다. 이와 같은 性質을 利用해서 轉送回路, 論理回路, 버블發生回路, 消去回路 등의 버블回路를 構成할 수 있다.

2. 磁氣버블 材料

1940年代 J.W. Forestier氏가 稀土類 Orthoferrite에 대한 磁氣의 性質을 報告한 後 1967年 BTL의 A. H. Bobeck氏가 特殊한 斜方晶系(Orthorhombic)의 單結晶膜은 比較的 弱한 自發磁化를 갖기 때문에 膜面에 垂直으로 發生한 磁化가 外部磁界에 의해서 에너지 平衡을 잃고 磁區의 패턴을 쉽게 바꾸며 圓形 磁區(bubble 이라 稱함)를 外部에서 쉽게 制御할 수 있어 各種 機能에 應用할 수 있다고 했다. 그러나 Orthoferrite의 버블 直徑은 平均數 $10\mu\text{m}$ 前後이고 1cm^2 當 數 $100\sim$ 數 1000bit 밖에 記入할 수 없으므로 高密度記憶을 實現하기 위하여 研究開發한 材料가 磁性 Garnet이다. 이것은 成長誘導異方性 또는 磁氣歪誘導 異方性에 의한 一軸異方性이 있으며 버블直徑도 數 μm 以下로서 磁壁의 移動度가 큰 버블材料로서 適當하다고 했다. 그러나 磁性 Garnet에는 異常버블(hard bubble)이 發生하는데 어떠한 方法으로도 이를 抑制할 必要가 있다. Garnet는 원래 $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ 의 組成을 갖는 紅石榴石과 같은 것을 總稱하나 磁氣버블 用으로 使用되는 것은 Si 대신 Fe를 넣은 $3\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 一般式을 갖는 人工 強磁性 化合物이다(R: 稀土類元素) 1973年初 IBM의 Chaudhari氏에 의하면 GdCo나 GdFe 등의 薄膜을 高周波 스파터링으로 만들면 非晶質

表 1. 磁氣 Garnet의 特性

材 料 組 成	基 板	버블直徑 D(μm)	移動度 (cm/sec/Oe)	抗磁力H _c (Oe)	製 法	製 作 所
Er ₂ Eu ₁ Ga _{0.7} Fe _{1.3} O ₁₂ *	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	6~17	50~100	0.5~1.0	LPE**	BTL
Y _{0.9} Gd _{1.5} Yb _{0.6} Al _{0.7} Fe _{4.3} O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂		~200	≤0.1	LPE	BTL
Y ₁ Gd ₁ Tm ₁ Ga _{0.8} Fe _{4.3} O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	~6	1,000	≤0.1	LPE	BTL
Y _{1.2} Eu _{1.6} Yb _{0.6} Al ₁ Fe ₄ O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	~6.6	~500	~0.5	LPE	BTL
Y ₃ Ga _{1.2} Fe ₃₈ O ₁₂	Dy ₁ Gd ₂ Ga ₅ O ₁₂	~5.6	1,500~3,000	~0.1	CVD***	North American Rockwell
Er ₃ Ga ₁ Fe ₄ O ₁₂	Dy _{0.79} Gd _{2.21} Ga ₅ O ₁₂	~7.2	200	~0.3	CVD	''
Y _{2.4} G _{0.6} Ga ₁ Fe ₄ O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	~10.4	1,300	~0.2	CVD	''

* BTL에서 1970년부터 使用하고 있는 組成

** LPE는 Liquid Phase Epitaxial Growth의 略

*** CVD는 Chemical Vapor Deposition의 略

(amorphous)이 되며 直徑 1~5μm程度의 버블을 얻을 수 있고 基板으로 普通 유리를 使用할 수 있다고 했다. 表 1은 磁氣 버블이 發生하는 磁姓 Garnet의 特性例이다.

3. 磁氣버블 回路

버블 記憶素子は 2進情報 “1”, “0”의 패턴에 對應시켜서 버블 有無의 패턴을 만들고(情報記入) 이것을 轉送하고 必要에 의해서 버블패턴을 檢出하는(情報讀出) 것을 基本으로 한 shift register型 記憶素子이다. 情報의 消去는 버블을 消滅시켜서 하며 버블메모리 素子에 必要한 回路는 버블發生, 消滅回路, 轉送回路 및 檢出回路 등이 있다. 대부분의 경우 버블 記憶素子は 以上 4種類의 回路로 된 메이저루우프(major loop)와 이것과 直交한 多數의 轉送回路로 된 마이너루우프(minor loop)로서 構成되어 있다 (그림 1).

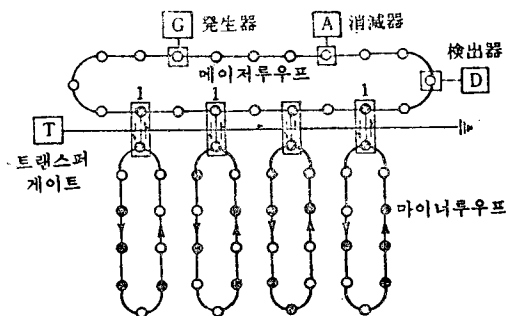


그림 1. 메이저마이너 루우프의 構成

메이저 루우프와 마이너 루우프間에서 버블의 出力이 可能하며 이것에 必要한 回路가 傳達 게이트(transfer gate)回路이다. 이와 같은 메이저 루우프와 마이너 루우프 構成은 單純한 shift register에 비하여 轉送 루우프의 길이를 짧게 할 수 있고 呼出時間을 短縮할 수 있어 採用되고 있다.

(1) 버블發生 및 消滅回路

버블發生 回路에는 permalloy disk型(bubble型)과 nucleation型의 2種類가 있다. permalloy disk型은 그림 2와 같이 disk型 permalloy 膜下에 多數버블을 附着하고 여기서 새로운 버

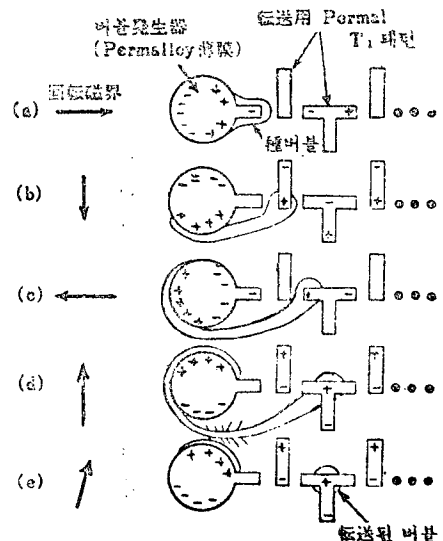


그림 2. 디스크型 버블 發生回路

블을 分離發生시키는 것이다. 回轉磁界가 그림 2(a)의 경우에는 permalloy disk의 突起部에 十의 磁界가 出現하며 多數 버블은 이것에 오게 된다. 磁界를 90°回轉시키면 磁極이 옆에 있는 패턴에도 出現되기 때문에 多數버블의 一端은 轉送패턴으로 他端은 디스크에 連結된다(그림 2(b)). 다시 磁界를 回轉시키면 多數버블의 兩端은 그림 2의 (c), (d)와 같이 서로 遠方向으로 移動한다. 伸張한 버블의 中央部 近傍으로 디스크—磁極에서 磁界가 加해지고 多數 버블은 切斷되어 버블이 1個轉送패턴상에 出現되어 디스크에 1個의 버블로서 殘留한다(그림 2(e)) 버블의 發生有無를 制御하는 데는 디스크型和 轉送패턴 間에 conductor loop를 만들고 펄스 電流를 흘려서 部分的으로 바이어스 磁界를 變更시키면 좋다. 버블을 發生시키지 않을때 多數 버블이 突起部에서 轉送패턴으로 移動할 때에는 (그림 2 a, b) 高바이어스 磁界를 防止하면 좋다. 디스크의 形狀이나 버블 發生制御方法은 많으나 原理는 같다. 디스크型 버블 發生回路의 缺點은 多數 버블이 必要하며 버블의 移動距離가 길기 때문에 100kHz以上의 高速動作에 追從할수 없다. 이 缺點을 克服하기 위하여 nucleation型 버블發生回路가 考案되었다.

(2) Permalloy轉送回路

permalloy 轉送回路에는 T-bar回路, Y-bar回路, T-X回路, Y-Y回路 및 Chevron回路 등이 있다. 어느 경우나 轉送回路의 周期는 버블 直徑의 약 4倍로 設計되나 이것은 버블間의 反發 때문에 이 以下로 될 수 없다. 轉送回路패턴 幅은 패턴의 形狀, 周期에서 거의 버블 直徑의 약 半이다. 轉送回路製作上的 制約에서 直徑5~6 μ 의 버블을 使用한 20~28 μ 周期의 轉送回路가 檢討되고 있으나 어느 경우나 轉送回路는 充分한 動作 마아진을 갖고 있다. 그러나 Y-Y, Y-bar, Chevron回路는 斜圖形으로 構成되어 있기 때문에 T-bar에 비해서 photomask를 만들 機會가 있다. 또한 Chevron은 T-bar나 Y-bar보다 약간 密度가 낮은 缺點이 있기 때문에 回路가 가장 많이 使用되고 있다. 이 回路에는 100~500kHz의 動作이 確認되고 있다.

(3) 버블 檢出回路

이것은 磁氣抵抗效果를 利用한 回路, Hall效果를 利用한 回路 및 磁氣光效果를 利用한 回路로 大別된다.

磁氣抵抗效果를 利用한 檢出回路는 轉送回路상에 磁氣抵抗素子를 設置하고 버블에서 漏洩磁界를 檢知하여 버블의 存在를 檢出하는 것이다. 磁氣抵抗素子는 轉送回路에 使用되는 permalloy 薄膜이 보통 使用되고 있다. 그림 3(a)는 200Å 程度의 매우 얇은 permalloy膜을 利用한 檢出回路이다. 버블이 permalloy 磁氣抵抗素子에 相接하는 位置에 오면 轉送回路의 3개 bar로서 3~4倍 伸張되고 이 漏洩磁界로부터 磁氣抵抗素子の 抵抗이 1%程度 變化하며 電壓變化로서 信號가 外部로 얻어진다. 直徑 4~6 μ 의 버블에 대해서 檢出信號는 1~2mV(電流 1~3mA)이다. 버블 伸張은 檢出信號를 增幅시키므로 이러한 아이디어로부터 permalloy檢出回路가 實用化되었다. 이 方式의 檢出回路는 轉送回路用 permalloy (4,000Å)와 檢出器用 permally(200Å)의 두께가 다르기 때문에 兩者를 1회의 프로세스로서 製作할 수 없다. 이 點을 改良한 것이 그림 3(b)의 檢出回路이다. 磁氣抵抗素子를 轉送回路의 一部로서 兼用한 것이 特徵으로 Chevron 轉送回路의 段數를 順次增加시켜 나가고 轉送方向과 直角方向으로 數 10~數 100倍 버블을 伸張해서 Chevron의 一列을 連結하여 抵抗變化로서 버블을 檢出하는 것이다.(Chevron Angelfish形)이 回路에 의한 4~6 μ 直徑의 버블 信號는 1mV를 넘고 充分히 實用될 수 있다. 이 檢出回路는 轉送回路와 同時에 製作할 수 있고 프로세스가 單純하기 때문에 現在 가장 많이 使用된다. 어떠한 回路에도 버블을 伸張하는 것이 特徵이다. 버블伸張은 時間을 要하므로 高速動作은 充分한 마아진을 갖고 行하는 것이 問題이다. 現在까지 薄膜 permalloy를 使用한 檢出回路로서 500kHz動作이, Chevron expander型 檢出回路로서 300kHz 動作이 確認되고 있다.

그림 3(c)는 Hall效果를 利用한 檢出回路로서 Hall素子를 轉送回路상에 設置하고 버블로부터 漏洩磁界의 垂直成分을 檢知하여 버블의 存在를

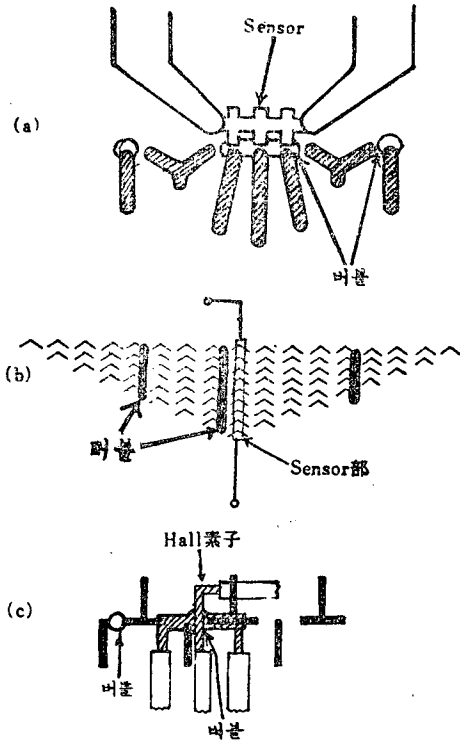


그림 3. 버블 檢出回路

檢出하는 것이다.

4. 磁氣버블의 應用

Magnetic bubble domain技術은 여러 가지 應用面에서 注目되고 있으나 重要한 것은 磁氣 버블 信號를 閉루우프內에 貯藏하여 必要하면 이것을 移動시켜서 檢出器에 의한 電氣信號로서

讀出하는 大容量 bubble memory이다. 이것은 記憶媒體가 回轉하는 磁氣드럼이나 磁氣 디스크 方式과 類似하나 bubble memory는 記憶媒體가 움직이지 않고 記憶된 情報만이 移動하는 것으로 高速回轉部가 없어 故障이 적고 信賴度가 높은 것이 特徵이다. 磁氣버블의 直徑은 現在까지 4~6 μ m로서 將來 1 μ m以下로 될 수 있는 展望이 있으며 디스크나 드럼에 比하여 拭수는 $\frac{1}{10}$ ~ $\frac{1}{100}$ 以下로 할 수 있어 今後 電子計算機의 超小形化가 期待되고 있다. 또는 磁氣光學과 關聯해서 情報處理의 表示素子나 패딘回轉 등도 提唱되고 있다. 磁氣 버블은 結晶板上을 shift register的으로 움직이기 때문에 循環메모리 的으로 利用할 것을 研究中에 있다. 그러나 磁壁의 移動度가 크지 않는 點에서 主 메모리보다 補助메모리로서 適合하므로 磁氣 드럼이나 磁氣 디스크 代身으로 생각되고 있으며 循環메모리로서는 機械的 高速回轉을 必要로 하지 않는 큰 長點이 있다. bit密度가 큰 點을 考慮하면 從來부터 不足한 呼出後間 1ms~1 μ s, 容量 10⁶~10⁸bit의 領域을 커버하는데 注力했고 構成에 있어서는 全體의 動作을 高速度로 하기 위하여 여러가지 研究가 行하여지고 있다. 表 2는 메모리의 階層과 現在對應 디바이스의 性能을, 그리고 表 3은 現在의 메모리와 버블 메모리를 比較한 것이다. 表 2,3에서 보는 바와 같이 버블메모리에는 轉送單位나 轉送速度의 任意性, 並列運轉의 可能性, 特定位置에서의 轉送停止 및 CPU와의 同期性 등 他의 메모리에서 볼 수 없는 큰 特徵을

表 2. 메모리의 階層과 現在 對應 디바이스의 性能

用 途	디바이스	轉送幅	單位轉送量	呼出時間	데이터讀出	容量	버블에의 可能性
① 버블 메모리	IC	1 語	1 語	50~200ns	5M~20MW/sec	4~32kB	×
② 制 御 記 憶	IC와이어	1 語	1 語	50~200ns	5M~20MW/sec	數十kB	×
③ 制御記憶 백업	코 어	1 語	數十語		1MW/sec	數百kB	△
④ 메인 메모리	(IC)코어와이어	1 語	1 語	500ns~2 μ s	2M~10MW/sec		
⑤ 補 助 記 憶	大容量코어 (LCS)	數語	數語~數百語	~10 μ s	1MW/sec	數MB	△
	드럼固定 헤드디스크	1Byte	數百B~數千B	數十ms	1M~3MB/sec	數MB	○
⑥ 파 일 記 憶	디 스 크	1Byte	數百B~數 kB	數 ms	數百 kB/sec	數十~數百MB	
⑦ 小型 컴퓨터 用 메인메모리백업	드럼固定 헤드디스크	1Byte	數百B~1kB	數ms	數百 kB/sec	數百kB	○

磁氣 버블의 컴퓨터 메모리에의 應用

表 3. 現在 메모리와 버블메모리의 比較

	BUBBLE	MOS(dynamic)	DRUM DISK (固定레드)	DISK(可動레드)
이드레싱 呼出時間 轉送單位 轉送率 並列轉送 CPU와의 同期 루우프의 길이 特定 記憶位置에서의 停止	바이트, 語, 블록 0~1ms 任意(Byte, 語, 블록) +1~-1Mbps (可變) 可 能 可 能 任 意 可 能	바이트, 語, 블록 10 μ s程度 任 意 ma \times 5Mbps(可變) 可 能 可 能 任 意 數 ms까지 可能	블 록 2.5~10ms 블 록 ~3Mbps 困 難 不 可能 固 定 不 可能	블 록 40~100ms 블 록 ~800Kbps 困 難 不 可能 固 定 不 可能
記憶容量 價格/bit 消費電力 volatile性 記憶媒體와의 交替 信賴性 形 狀 周邊과의 인터페이스	~數MByte 0.03~0.1圓 小 non-volatile 可 能 高 小 型 比較的 困難	~數MByte 數 圓 大(速度에의 比例) volatile 不 可能 ? 小 型 容 易	~10MByte 數 圓 non-volatile 可 能 大 型 比較的 容易	數~數 百MByte 0.001~0.1圓 50 μ w/bit(IBM2314) non-volatile 可 能 大 型 比較的 容易

갖고 있다. 따라서 이와같은 特徵을 充分히 發揮시키면 컴퓨터시스템上 메모리 뿐만이 아니라 畫像通信 및 데이터通信 등 메모리나 各種端末裝置의 메모리로서도 充分히 適用되어 새로운 分野를 開拓한다고 생각된다.

現在 磁氣버블 應用의 大目標은 버블의 有無로서 2進情報를 表示하고 이것을 結晶內에 記憶시키는 것이다. 또한 버블메모리에는 多數의 磁氣버블을 일제히 同一 回轉磁界內에서 驅動시킬 수 있으므로 core memory나 IC memory와 같은 random access memory보다는 오히려 順次 access memory의 分野에 버블 메모리의 特徵이 發揮될 것이다. 現在까지 開發되어 있는 磁氣버블 材料나 驅動技術을 勘案하여 불 때 呼出時間의 겹을 메꿀 수 있는 메모리로 發展될 수 있을 것이다. 끝으로 表 4는 磁氣버블의 應用現況을 紹介한 것이다.

表 4. Magnetic Bubble 應用 現況

應用例 버블의 特性	大容量버블메모리	R D M	Logic		디스플레이	버블錄音레드
			相 關 器	符號變換器		
(1) 自己成形作用	○	○	○	○	○	○
(2) 不揮發性	○	○	○	○	△	△
(3) 遠隔制御性	○	○	○	○	○	—
(4) 相互作用	○	○	○	○	—	—
(5) 發生消滅의 任意性	○	○	○	○	○	—
(6) 形狀의 多樣性	△	△	—	—	○	○
(7) 光과의 相互作用性	—	—	—	—	○	—

○: 全的으로 利用, △: 部分的으로 利用