

강유전체 메모리 기술과 멀티미디어에의 응용



유 병 권
(한국전자통신연구원)

1. 서 론

인간은 뇌를 사용하여 다양한 정보와 지식을 기억하며 책 은 활자를 사용하여 막대한 양의 지식을 저장 보관한다. 최근에는 많은 정보가 전자기기를 통하여 처리되는데 이 정보를 저장하는 전자부품이 바로 메모리이다. 메모리에는 자기 메모리, 광 메모리, IC 메모리등의 많은 종류가 있는데 이상적인 메모리는 무엇인지 알아보자. 이상적인 메모리가 되려면 내용량으로 고속 동작이 가능하고 불휘발성이어야 한다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 DRAM은 내용량으로 제작이 가능하고 전기적으로 쓰고 지울 수 있으며 하드 디스크에서 처럼 회전기나 헤드 부분 등이 필요치 않아 소형화와 전자화에 적합하나 전원을 끊으면 정보가 모두 지워지는 휘발성이라는 결점을 갖고 있다. 강유전체 메모리는 DRAM과 같은 고속, 내용량, 저전력을 가지면서 불휘발성을 갖춘 이상적인 메모리이다.

다시말하면 강유전체 메모리(FRAM)는 고속이며 소비전력이 적고 수명이 긴 불휘발성의 DRAM이라고 생각해도 좋다. 이 때문에 멀티미디어 사회에서 사용되는 IC 메모리의 많은 부분을 FRAM이 차지하는 것이 가능하게 된다. 즉, ROM (Read Only Memory)의 내용을 바꾸어 쓰고 싶고, 전원을 끊어도 RAM의 내용을 유지하고 싶다는 요구를 바로 만족시키게 된다. 이 때문에 전원을 넣으면 바로 동작하는

TV 감각의 PC나, 안전하면서 어디에도 사용되는 퍼스널 IC 카드, 소비전력이 적은 소형의 이동체 통신, 휴대단말기 등에 응용될 수 있다. FRAM은 소멸되지 않는 게임용 메모리로서 실용적으로 중요한 위치를 차지할 것이며 이후 다양한 가전제품, 복사기, FAX 등의 민생용도, 공업용도로 사용되어 갈 것이라고 생각된다.

이러한 멀티미디어사회에서 요구하는 이상적인 메모리인 FRAM을 실현하기 위해서는 강유전체 재료 기술 및 반도체 제조 공정 기술이 뒷받침이 되지 않고서는 불가능한 일이다. 우선 강유전체 재료기술중에서는 유기금속물합성 기술을 비롯한, 박막 증착 기술, 열처리 기술 등이 필요하고, 반도체 공정 기술에서는 CMOS 소자 기술, 패터닝 기술, 에칭 기술 등이 필수적이다.

FRAM의 다양한 응용과 용도에 관해서는, 유희준 외2명이 쓴「미래의 메모리:FRAM」에서 구체적으로 다루고 있다.^[1]이 책을 상세하게 읽으면 FRAM이 왜 우수한 궁극의 메모리이고 어떠한 시장성과 넓은 응용의 가능성을 가지고 있는가 이해할 수 있을 것이다.

1.1 FRAM의 기본 원리

저자가 처음으로 FRAM 기술을 접한 것은 1991년 日立(히다찌)중앙연구소(동경 고꾸분지 소재)에서 DRAM용 고유전율 박막을 개발하고 있을 때, FRAM 기술의 존재를

알려져서 그 당시 이 이상적인 메모리 기술에 큰 매력을 느끼게 되어있다. 강유전체 메모리라는 것은 간단히 말하면 DRAM Cell 커패시터의 유전체를 강유전체 박막으로 대체하여 기억기능을 갖게 한 것이다. 강유전체는 그림 1.1과 같이 자발적으로 전기분극을 가지고 있으며 그 자발분극의 방향이 외부 전장을 인가함에 의하여 반전할 수 있는 물질을 말한다. 즉, BaTiO₃는 Ba 원자를 기준으로 한 정방정으로 원자의 변위를 나타내고 있다. +와 -가 역방향으로 변위하여 +-의 전하가 생긴다. 그림 1.2에서와 같이 결정에 걸리는 전장을 어떤 방향으로부터 역방향으로 해놓으면 자발분극 방향의 반전이 일어나고 (이를 이력 현상이라 부름) 인가한 전압의 극성을 교환함으로써 + 또는 - 전하를 결정 표면에 유기할 수 있다. 또한 전압을 끊더라도 유기된 + 또는 - 전하를 보존할 수 있다. 이 상태를 0과 1에 대응시켜 메모리를 구성한다. 그림 1.3(a)와 같이, 1T/1C (1 트랜지스터/1 커패시터) 메모리 셀은 1개의 트랜지스터와 1개의 강유전체 커패시터로 구성되어 그림 1.3(b)의 모양으로 실리콘 기판 위에 형성된 CMOS 트랜지스터 위에 커패시터 층을 형성하고 있다. 그림 1.3은 Ramtron사 제품의 예인데 PZT (Pb(Zr, Ti)O₃)를 강유전체로서 사용하고 있다.

현재 실제로 사용되고 있는 구성은 참조 셀로서 별도의 1T/1C 메모리 셀이 필요하기 때문에 2T/2C 형으로 하는 것이 대부분이나 장래에는 집적도가 높은 1T/1C 형이 주로 이용될 것이다. 더욱 발달된 형으로는 MOS의 Gate 상에 직접 강유전체 박막을 형성하고 여기에 전압을 가하여 분극 반전시켜 MOS 소자의 S(소오스)와 D(드레인) 간의 전류를 제어할 수 있게 하고 이에 의해 메모리 기능을 얻으려는 개발도 진행 중에 있다(그림 1.4). 이것을 MFSFET(Metal-Ferroelectric-Semiconductor FET의 약어) 형이라고 한

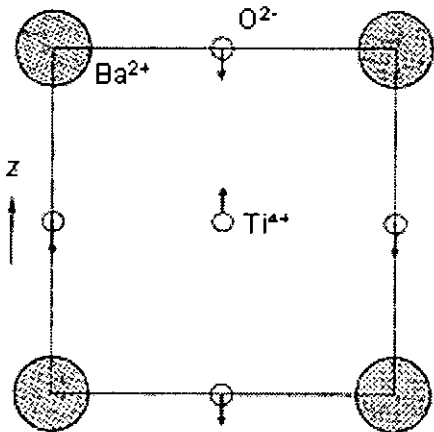


그림 1.1. 강유전체 결정에 자발적으로 생기는 원자의 변위

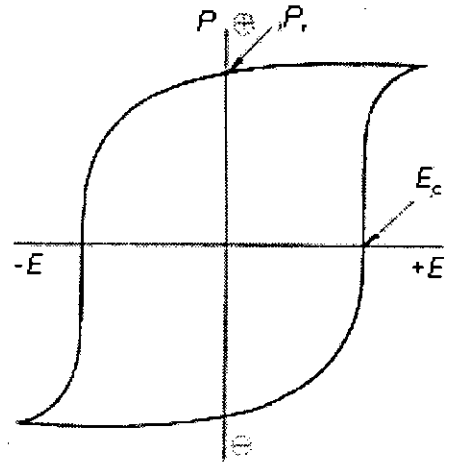
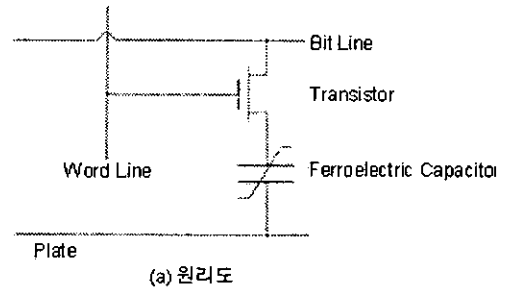
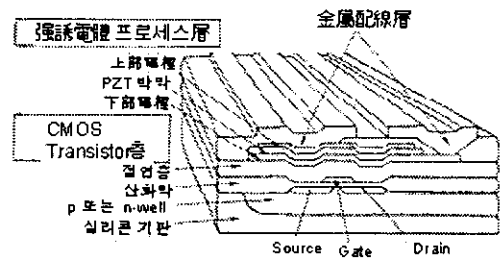


그림 1.2. 강유전체의 hysteresis loop 특성



(a) 원리도



(b) 실제 형의 예

그림 1.3. 1T/1C (1 트랜지스터/1 커패시터) 메모리 셀

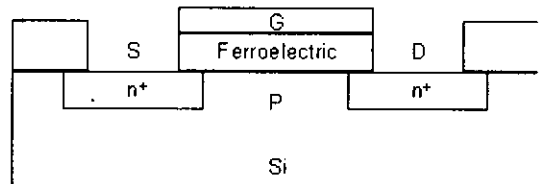


그림 1.4. 실리콘 상에 강유전체를 구성한 MFSFET 메모리의 예

다. 강유전체는 자발분극을 하고 있기 때문에 한번 반전되면 그 형태가 그대로 기억되어 메모리 작용을 하게 되는 것이다.

이것이 강유전체 메모리의 기본원리이며 이를 다음장에서 보다 상세히 설명할 것이다.

1.2 메모리의 종류와 특징

반도체 메모리에 어떤 종류와 특징이 있는지를 살펴보자. RAM은 Random Access Memory의 약자로 문자 그대로 각 비트에 순서에 관계없이 임의번지로 접근(Random Access)할 수 있는 메모리이다. DRAM (Dynamic RAM)은 트랜지스터와 커패시터로 이루어지며 구조도 간단하여 RAM으로서 가장 많이 사용되고 있으나, 일정한 주기로 기억재생을 시키지 않으면 기억이 소실되어 버리며 집적도를 올리려면 제작 공정이 복잡하게 되는 등의 결점이 있다. 이 결점을 보완한 것으로 항상 고정전류를 흘려 기억을 보존하는 SRAM (Static RAM)이 있으며 비휘발성 메모리로 EPROM, EEPROM, 플래쉬 메모리 등이 그 특징에 맞게 사용되고 있다. EPROM은 전기적으로 쓰기를 하고 자외선으로 소거를 하는 것으로, 아발란치 항복(Avalanche Breakdown) 현상으로 고 에너지 전자를 발생시켜 이를 부동 게이트(Floating Gate)에 주입하여 기억시키고 소거는 자외선을 조사하여 전자의 에너지를 상승시켜 기판에 들러보냄으로 이루어진다. 따라서, EPROM은 Package에 광을 조사하기 위한 창을 필요로 하는 등 복잡하게 된다. 자외선을 대신하여 전기적으로 소거하는 것을 EEPROM이라 부른다. 아울러 플래쉬 메모리에서는 EEPROM에서의 전기적 소거를 1블록 단위로 일괄적으로 행한다. 이러한 메모리는 읽기에 비해 쓰기 속도가 늦고 쓰기 횟수에도 제한이 있는 등의 결점을 가진다(〈표 1.1〉 참조).

이러한 메모리의 특징과 장래성을 고려해 볼 때 ① 쓰기, 소거가 고속으로 행해지고, ② 기억이 비휘발성으로, ③ 쓰기 횟수의 제한이 없고, ④ 고밀도의 집적이 가능하며, ⑤ 소

비전력이 적은 메모리가 이상적인 메모리가 된다. 〈표 1.1〉은 각 메모리의 특징을 나타내고 있는데 이중 FRAM은 ① 쓰기전압이 낮고, ② 고속쓰기가 가능하고, ③ 쓰기 횟수가 크고, ④ 비트 쓰기 가능하며, ⑤ 저소비전력, ⑥ Random 액세스가 가능한, ⑦ DRAM과 호환성이 높은 이상적인 메모리임을 알 수 있다.

2. FRAM의 원리와 특징

2.1 강유전체 재료와 메모리 소자⁽²⁻³⁾

강유전체는 오래전부터 알려진 재료이다. 공업적으로는, 전기·전자회로의 주요 소자인 콘덴서의 재료로서 이용되어 왔다. 반도체 산업 분야에서도 강유전체 재료가 갖는 이력 특성을 메모리 동작에 응용하려는 시도는 1970년대부터 검토되어 왔다. 그러나 당시의 반도체 산업은 DRAM을 중심으로 집적도 향상이 개발의 우선 사항으로 되어, 강유전체 재료와 같이 공정제어가 비교적 곤란한 재료의 소자와 씨름하는 것에 역점을 두지 않았다.

그러나, 1990년대에 들어와서는 저전력, 고속과 아울러 비휘발성을 갖는 메모리 소자에 대한 요구가 높아져 왔다. 이는 퍼스널 컴퓨터의 소형화·저전력화가 진행됨과 아울러, 휴대용 전자기기의 수요가 확대되고 있는 중이기 때문이다.

이 장에서는, 강유전체 재료 및 이를 이용한 메모리 소자의 기본 특성에 관하여 기술하고자 한다.

2.1.1 강유전체의 결정 구조

강유전성은 강유전체의 결정 구조에 의하여 발생하는 전기적 성질이다. 강유전체 재료는 그 물질의 강유전성을 발생하는 물리적 메커니즘에 의하여 질서-무질서 형과 변위형의 두가지 형으로 분류할 수 있다. 질서-무질서 형으로는 인산 2 수소 칼륨으로 대표되는 KDP 족, 유산 트리글리실린으로 대표되는 TGS 족이 있다. 또한, 변위형으로는 페롭스카이트(Perovskite) 족과 일리메나이트 족이 있다. 현재까지 수백 종류의 강유전체 재료가 발견되었는데, 〈표 2.1〉에서 강유전체 재료의 예를 나타내었다.

표 1.1. FRAM의 특성 비교

	FRAM	EEPROM	플래쉬	SRAM	DRAM
대부쓰기전원 (V)	2	12	12	2	5
쓰기 시간	100 ns	100 ms	10 μs	10 ns	60 ns
쓰기 횟수	10 ² 이상	10 ⁴ 이상	10 ⁶ 이상	10 ² 이상	10 ² 이상
비트 쓰기	가능	가능	불가능	가능	가능
셀 크기	1	2	0.5	4	1
Standby 전류 (μA)	≪ 1	≪ 1	≪ 1	> 1	> 10
엑세스	Random	Random	블록 소거	Random	Random
데이터 보유시간 (년)	10	10	10	1 (전지 구동)	×

표 2.1. 강유전체 재료

족명	재료명	큐리 온도 (K)
KDP 족	인산칼륨 (KH ₂ PO ₄)	123
	GeTe	670
TGS 족	유산트링신	322
페롭스카이트 족	티탄산바륨 (BaTiO ₃)	408
	티탄산염 (PbTiO ₃)	765
일리메나이트 족	니오브산리튬	1480
	탄탈륨산리튬	938

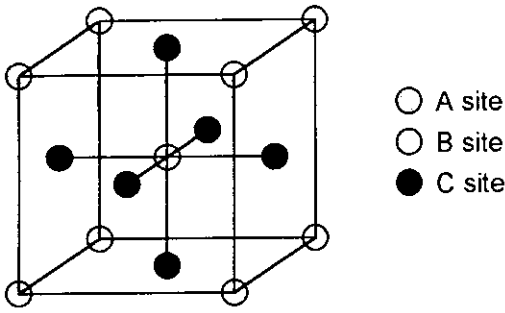


그림 2.1. 페로브스카이트(perovskite) 결정 구조

콘덴서 소자와 반도체 소자에 가장 많이 이용되는 강유전체 재료는 페로브스카이트 구조를 갖는 결정이다. 페로브스카이트 결정은 (그림 2.1)의 ABO_3 구조를 갖는 입방정계이다. 그 대표적인 결정인 티탄산바륨 ($BaTiO_3$)을 예로 들면, A 쪽에는 바륨 원소, B 쪽에는 티탄 원소, O 쪽에는 산소 원소가 위치한다. 전계를 인가함에 의하여, 결정 구조는 조금 왜곡되어, Ba^{2+} 이온과 Ti^{4+} 이온은 O^{2-} 이온에 대하여 상대적으로 변위한다. 이 때문에, 양전하의 중심과 음전하의 중심이 일치하지 않게 되고, 결정내에 전기적 불균일 상태인 분극이 형성된다.

2.1.2 강유전체의 이력 및 피로 특성

강유전체 재료가 두 개의 전극에 채워져 있는 (그림 2.2)의 강유전체 캐패시터의 전기적 특성을 살펴보자. 강유전체 캐패시터의 전극간에 인가한 전압을 높여서 양단의 전계를 증가시키면, 앞서 언급한 양 이온과 음 이온의 상대적 변위가 증가되어 분극량이 증가한다. 반대로, 전계를 감소시키면 분극량도 감소한다. 이 이력 특성의 모양을 그림 2.3(a)에 나타내었다. 강유전체 캐패시터가 제작된 직후, 즉 전계를 한번도 인가하지 않은 경우, 전계와 분극량은 다같이 영점(A점)에 있다. 전계를 '+ 방향'으로 인가하여 가면 분극량도 증가한다. 그 다음, 전계를 계속하여 증가시키더라도 분극량이 거의 증가하지 않게 된다. 이 분극량을 포화 분극치 P_{max} 라 한다(B점). 그 다음, 전계를 영점까지 낮추더라도, 분극량은 영점으로 낮아지지 않고, 어떤 유한한 분극량을 나타낸다. 이 값을 잔류분극량 P_r (C점)이라 부른다. 그 다음, 전계를 '- 쪽'으로 인가하면 포화분극치 $-P_{max}$ (D점)를 통과하고, 인가된 음의 전계를 없애면 -의 잔류분극치 $-P_r$ (E점)에 도달한다. 그 다음, 전계를 '+ 쪽'으로 인가시켜 나가면, 포화분극(B점)까지 도달하여, 그 다음은 C, D, E점을 각각 통과하는 곡선을 보인다. 잔류분극치를 양음으로 반전시킨 것을 분극반전이라고 부른다. 또한, 분극값을 영으로 하는(F점)의 전계를 항전계(Coercive Field, E_c)라 부른다. 이 항전

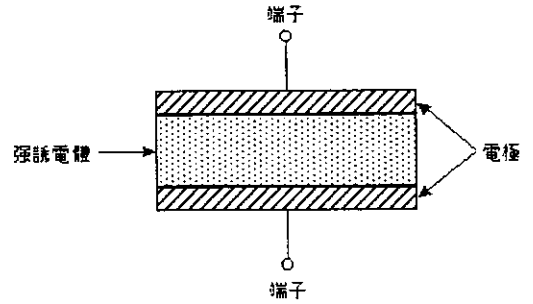
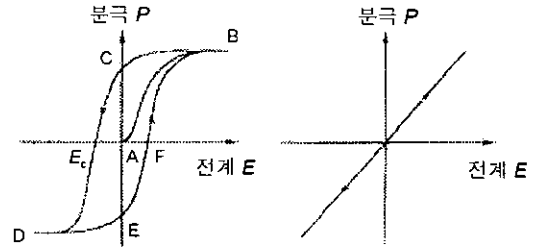


그림 2.2. 강유전체 용량 구조



(a) 강유전체 이력 특성 (b) 상유전체

그림 2.3. 유전체의 분극-전계 특성

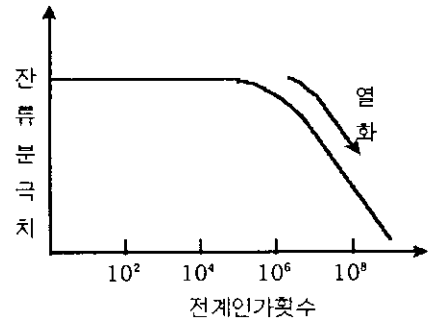


그림 2.4. 피로 열화 특성

계는 분극반전을 시키는 전계의 기준치이다.

인가전계를 0으로 한 경우, 즉 어떤 전압도 인가하지 않은 경우에도 유한한 분극량을 갖는 이력 특성은 강유전체의 중요한 특성이다. 이 특성이 강유전체를 비휘발성 메모리에 응용할 수 있는 이유이다.

일반적인 상유전체로 절연막을 구성한 캐패시터에서는 그림 2.3(b)에 나타낸 바와 같이, 유전체의 분극량은 인가전계에 비례하는 선형 관계가 유지되며, 이력 특성은 생기지 않는다.

전계를 양음 교대로 인가하기를 계속하면, 분극치는 이력 곡선상의 B점→C점→D점→E점을 계속 이동한다. 이 전계의 인가 횟수(양음으로 1회)와 잔류분극치 (P_r)의 관계를

나타낸 것이 그림 2.4이다. 페롭스카이트 구조의 강유전체 재료로서 양호하다고 알려진 PZT (티탄지르코늄산 납, $Pb(Zr, Ti)O_3$)의 데이터를 예로 보였다. 전계의 인가 횟수가 작을 경우에는 잔류분극치 P_r 은 변화하지 않으나, 횟수가 증가하면 P_r 은 감소하여, 결국에는 분극반전하지 않게 된다. 이 전계인가 횟수의 증가와 더불어 잔류분극치가 감소하는 현상을 피로 특성이라고 한다. 분극반전할 수 없는 상태를 강유전체 재료가 피로열화하였다고 한다. 그림 2.4에 피로열화 특성을 나타내었다.

이 피로 원인에 관해서는, 현재 많은 연구자가 연구를 수행하고 있으나 아직, 명확한 이유는 밝혀지지 않았다.

그러나, 최근 미국 콜로라도 대학에 의하여 피로하지 않는 강유전체 재료 「Y1 (화학식은 $SrBi_2Ta_2O_9$)」가 개발되었다. Y1은 일반적으로 SBT라고도 부르며 전압인가 횟수가 10^{12} 회 이상에도 피로가 관찰되지 않은 우수한 재료이다.

2.1.3 강유전체 재료의 온도 특성

강유전체 재료의 결정 온도를 상승시켜나가면 전술한 강유전체적 이력 특성은 소멸되어, 일반적 절연체와 같이 전계와 분극의 관계는 보통의 선형성을 나타내며, 강유전체는 상유전성으로 변화한다. 이 변화를 상전이이라고 한다. 일반적인 강유전체의 잔류분극치의 온도 의존성을 그림 2.5에 표시하였다. 온도 상승과 더불어 잔류분극치는 감소하여, 큐리 온도(T_c)라 부르는 임계 온도에서 잔류분극이 소멸한다. 일반적으로 강유전체는 큐리 온도 이하에서 강유전성을, 큐리 온도 이상에서 상유전성을 나타낸다. 이 큐리 온도는 재료마다 다르다. 이 값을 앞의 <표 2.1>에 표시하였다.

강유전체의 유전율의 온도 의존성을 (그림 2.6)에 나타내었다. 강유전체가 상유전상 일때의 유전율은 큐리의 법칙 식 (1)에 따른다.

$$\epsilon = \epsilon_0 + C/(T - T_c) \quad (1)$$

이 식으로부터 명확한 바와 같이, 큐리 온도 부근에서 상유전성은 큰 유전율을 가진다. 아울러, 강유전체의 상유전성은 반도체 사업에서 주로 사용되는 상유전체인 실리콘 산화막, 실리콘 질화막 등 보다 큰 유전율을 갖는다. 이 때문에, DRAM의 캐패시터 소자에서 응용이 검토되고 있다.

종래의 강유전체 재료가 전자 소자로 응용된 경우는 주로 티탄산바륨 등의 상유전상을 이용한 캐패시터 소자였었다. 이 응용에서는 강유전체가 단결정과 다결정체의 덩어리 (bulk) 형태로 이용되어 왔다. 그러나, 반도체 소자로 이용하고자 하는 경우에는, 박막(Thin Film)형의 강유전체 재료가 요구되고 있다. 최소의 반도체 칩 면적에 최대한의 캐패시터 소자를 제작하기 위해서는 면적과 두께를 작게해야 하기 때문이다.

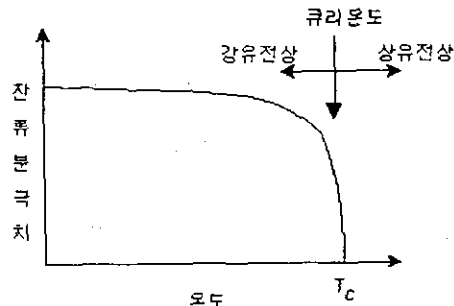


그림 2.5. 잔류분극-온도 특성

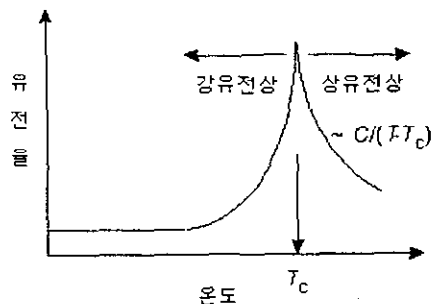


그림 2.6. 강유전체의 유전율의 온도 의존성

박막의 제조법으로서, 몇개의 방법이 검토되고 있다. 그의 주된 것은, ① 유기 용매중에 소정의 강유전체 재료의 성분이 되는 원소를 용해하여 그것을 도포한 후 소성하여 결정화시키는 졸-겔 (Sol-Gel) 법, ② 스퍼터링 법에 의한 물리적 박막 형성 방법, ③ 성분 원소를 기화하고, 기상으로 반응시켜 결정화하는 CVD 법이다. 현재, 주로 졸-겔 법을 이용한 막형성 방법을 주로 하고 있으나, 반도체 소자의 양산을 고려하면, 향후에는 스퍼터링 법·CVD 법이 주류가 될 가능성이 있다고 생각된다.

2.2 강유전체 메모리의 동작 원리

여기서는, 강유전체 재료를 사용한 비휘발성 메모리에 관하여 기술하고자 한다. 강유전체 메모리는, 강유전체 재료를 캐패시터의 절연막으로서 사용한 1T/1C 형 메모리 셀 (DRAM과 유사 구조)과 강유전체 재료를 MISFET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor)의 게이트 절연막으로서 이용한 MFSFET (Metal Ferroelectric Semiconductor Field Effect Transistor)형 메모리 셀이 있다. 여기서는, 1T/1C 형 메모리 셀에 관하여 기술한 후, MFSFET에 관하여 설명하기로 한다.

2.2.1 1T/1C 형 강유전체 메모리의 동작 원리

가장 일반적인 강유전체 1T/1C 형 메모리 셀을 가지고 데

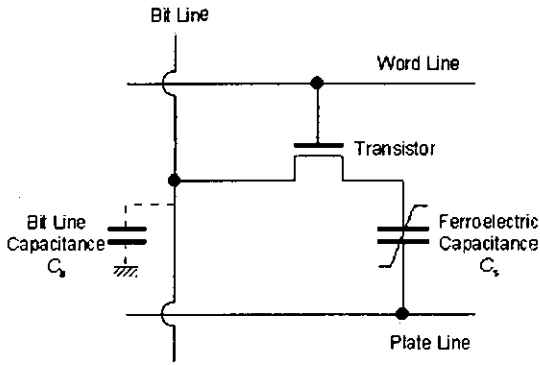


그림 2.7. 강유전체 1T/1C형 메모리 셀

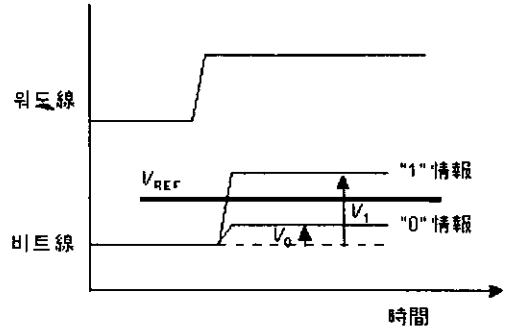


그림 2.9. 데이터 읽어내기 파형

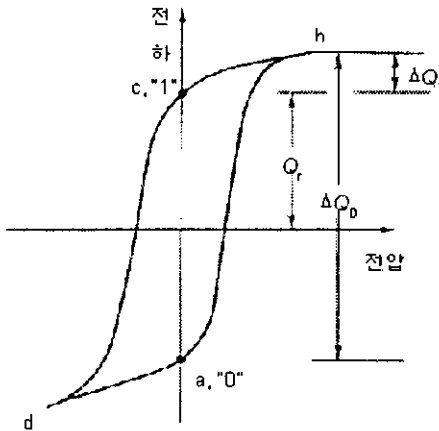


그림 2.8. 이력 특성

이더의 쓰기 방법을 설명하고자 한다. 이 셀 구조는 그림 2.7에 나타낸 바와 같이 전술한 DRAM 메모리 셀 구조와 거의 동일하다. 즉, 강유전체 캐패시터와 트랜지스터가 워드선, 플레이트선에 접속되어 있다. DRAM 셀과의 차이는 캐패시터가 강유전체 박막을 갖는 캐패시터인 점과, 강유전체 캐패시터의 한 전극이 접지 전위 또는 1/2 전원전압 등의 고정 전위가 아니라, 셀마다 전압 인가가 가능한 플레이트선 구조로 되어 있는 것이다.

강유전체의 이력 특성을 이용하여, 어떻게 불휘발성 메모리 동작을 실현하는가를 아래에 설명하기로 한다. 그림 2.8은 이력 특성의 모식도이다. 그림 2.3과 달리, 세로축은 전하량 Q , 가로축은 전압 V 로 변환되었다. 여기서, 편의상 플러스 전압은 비트선의 전위가 플레이트선의 전위보다 높은 경우로 정하고, 잔류 분극 a 점, c 점을 각각 기억정보 "0", "1"로 한다.

기억정보 "0"을 쓸 때, 트랜지스터를 켜고 비트선의 전위에 대하여 플레이트선에 플러스 전위를 인가하면 강유

전체 캐패시터에 인가하는 전압은 마이너스로 되고 이력특성곡선에서 d 점을 통과하게 된다. 이후 캐패시터에 마이너스 방향으로 인가된 전압을 없애면, 분극치가 잔류분극 a 점으로 되고, 기억정보 "0"이 써진다. 한편, 기억정보 "1"을 써넣을 때는, 강유전체 축적용량에 인가하는 전압을 플러스로 하여, b 점을 통과시킨 후 인가전압을 영으로 되돌리면 분극량은 잔류분극 c 점으로 되어, 기억정보 "1"이 써진다.

기억정보의 읽어내는 전압을 강유전체 캐패시터에 인가한 순간에 비트 선상으로 흘러나가는 전하량을 검출하는 것으로 이루어진다. 구체적으로는, 플러스 전압을 캐패시터에 인가하면, 기억정보가 "0"일 때, 전하량 ΔQ_0 가 흘러나간다. 즉, 비트 선상으로 흘러나가는 전하량의 크기가 축적용량에 기억된 정보에 의하여 차이가 난다. ΔQ_1 , ΔQ_0 의 검출 방법을 아래에서 설명하고자 한다.

강유전체 캐패시터로부터 비트 선으로 흘러나가는 전하는, 비트선의 전위를 변동시킨다. 비트 선에는 비트선의 존재에 의하여 생기는 기생 비트선 용량 C_b 가 존재한다. 트랜지스터가 켜져서 읽어낼 메모리가 선택되면, ΔQ_1 , ΔQ_0 의 전하가 출력된다. 이 전하를 비트선과 셀의 캐패시턴스값의 합인 $C_b + C_s$ 으로 나눈 값이 비트선의 전위가 된다. 구체적으로는,

$$V_1 = \Delta Q_1 / (C_b + C_s) \quad (2)$$

$$V_0 = \Delta Q_0 / (C_b + C_s) \quad (3)$$

이다. 여기서, 강유전체 캐패시턴스를 C_s 로 한다.

2개 정보간의 전위차는,

$$V_1 - V_0 = (\Delta Q_1 - \Delta Q_0) / (C_b + C_s) = 2Q_r / (C_b + C_s) \quad (4)$$

이 된다. 2개의 기억정보에 기인한 전하량의 차이 ΔQ_1 , ΔQ_0 , 즉, $2Q_r$ 은 잔류분극치 $2P_r$ 과 등가가 되며 이 값이 클수록 읽어내기 마진이 커진다.

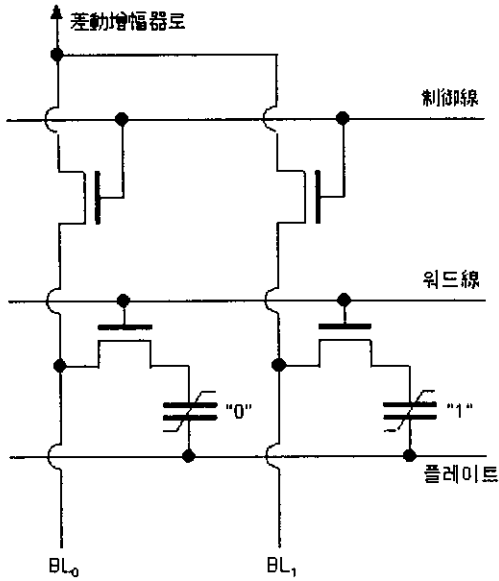


그림 2.10. Dummy 셀의 예

데이터의 인식(판정)방법은 식 (4)에 의하여, 기억정보 "1", "0"의 차이에 의하여 비트 선에 나타나는 전위가 다른 것을 이용한다. 이 모양을 그림 2.9에 나타내었다. 워드 선에 전위를 인가하여 트랜지스터가 켜지면, 비트 선 전위가 V_1 또는 V_0 로 변화한다. 비트 선이 V_1 인가 또는 V_0 인가를 판정하기 위해서는 V_1 과 V_0 사이값의 기준 전위와 V_1 또는 V_0 전위와의 크기 관계를 비교하면 된다. 이 비교용의 전위를 기준전위 V_{REF} 라고 부른다. 기준전위는 이상적으로, V_1 과 V_0 의 중간전위를 설정하는 것이 바람직하며, 그 값은 다음 식과 같다.

$$V_{REF} = (V_1 + V_0) / 2 \quad (5)$$

V_{REF} 의 발생 방법으로서, 1T/1C 형 메모리에서는 메모리 셀과 동일한 메모리 셀 구조를 이용하여 V_{REF} 를 발생시키는 「dummy cell 방식」이 널리 이용되고 있다. 그 한 예를 그림 2.10에 나타내었다. 이 예에서는, 메모리 셀과 동일한 메모리 셀을 2개 준비하고, 각각에 기억정보 "1", "0"을 써넣는다. 기준전압이 필요한 때 각각의 셀로부터 데이터를 비트 선 BL_0 , BL_1 에 읽어내고, 동시에 그런 비트 선을 단락시켜 놓으면, V_{REF} 를 발생시킬 수 있다. BL_0 은 BL_1 과 동일한 구조로서, 비트 선의 단락에 의하여 비트 선 용량 C_b 는 2배가 된다.

$$\begin{aligned} & \Delta Q_1 / 2(C_b + C_s) + \Delta Q_0 / 2(C_b + C_s) \\ &= (\Delta Q_1 + \Delta Q_0) / 2(C_b + C_s) \\ &= (V_1 + V_0) / 2 \rightarrow V_{REF} \end{aligned} \quad (6)$$

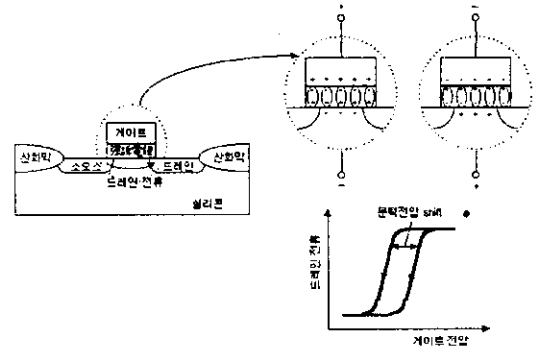


그림 2.11. MISFET형 메모리 셀 구조와 동작 특성

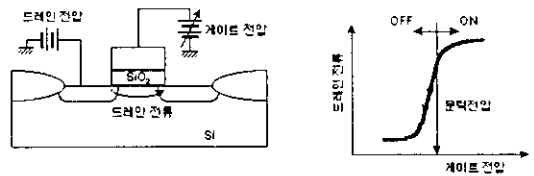


그림 2.12. MOSFET의 동작 특성

2.2 MFSFET 형 메모리

MFSFET 형 메모리 셀 구조는 통상의 MOSFET의 게이트 절연막을 실리콘 산화막으로부터 강유전체 막으로 치환한 구조이다 (그림 2.11 참조).

우선, 통상의 MOSFET의 동작 특성을 간단히 설명하기로 한다 (그림 2.12 참조). MOSFET는 게이트, 소오스, 드레인 영역에 의하여 성립된다. 소오스, 드레인은 실리콘 기판중에 불순물을 확산시킨 저저항 영역이다. 게이트 전극은 다결정실리콘으로 가능하고, 실리콘 기판과는 실리콘 산화막에 의하여 전기적으로 절연되어 있다. 소오스, 드레인 사이에 전압을 인가하여 게이트 전압을 조금씩 증가하면, 어떤 게이트 전압에서 소오스, 드레인 사이에 전류가 흐르기 시작한다. 이 게이트 전압을 문턱전압이라 한다. 이 전압을 경계로 트랜지스터가 ON·OFF한다. 상유전체인 실리콘 산화막을 게이트 절연막으로 한 MOSFET에서는, 이 문턱치가 게이트 전압의 인가 방향에 의해서 변화하지 않는다.

MFSFET 형 메모리 셀에서는, 게이트 절연막을 구성하는 강유전체 막의 분극 상태가 트랜지스터의 문턱전압을 변화시켜, 어떤 게이트 전압의 드레인 전류(채널 저항)의 크기를 기억정보로 이용한다. 즉, 이 셀에서는 게이트 전극과 기판 사이에 전압을 인가함으로써, 게이트 절연막인 강유전체가 분극반전한다(그림 2.11 참조). 그 분극 방향에 의하여, 트랜지스터의 채널 영역에 전자 또는 정공이 유가되어,

트랜지스터의 문턱전압이 변화한다. 이 때의 MFSFET의 전류-전압 특성은 그림 2.12와 같이 되어, 어떤 게이트 전압에서의 드레인 전류값(채널 저항치)의 대소로서 정보를 읽어낸다. 이 메모리 셀의 특징은 셀 크기가 1T/1C 메모리 셀보다 작게 할 수 있는 것, 아울러 정보를 읽어내는 순간 써놓았던 정보를 파괴하지 않고서 읽어내는 점이다. 그렇지만, 이 메모리 셀 구조에서는, 실리콘 기판과 강유전체 막이 직접 접촉하기 때문에, 실리콘 기판 표면에서의 트랩 준위 등의 채어가 가능하지 않아 트랜지스터의 안정 동작 상 많은 어려움이 예상된다. 이것을 해결하기 위하여, 게이트 전극과 채널 사이에 부유 게이트를 삽입한 MFMS-FET(Metal Ferroelectric Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor)형 셀도 제안되고 있다.

3. FRAM의 특징

그러면, 소자의 동작원리 상, 또는 제조 공정에서 본 FRAM의 특징을 정리하면서, 다른 메모리 소자와 비교를 해보자. FRAM은 메모리 셀 구조로서, 2 트랜지스터/2 커패시터 형(2T/2C), 1 트랜지스터/1 커패시터 형(1T/1C) 및 1 트랜지스터 형(MFS FET)의 구조를 취할 수 있다(그림 3.1). 1 트랜지스터 형을 제외하면 기본적으로는 DRAM의 콘덴서 용량 부분에 강유전체를 적용한 것이라고 말할 수 있다. 대표적인 메모리 셀로서 1T/1C 형 FRAM의 메모리 공정 단면도를(그림 3.2)에 나타내었다. CMOS 트랜지스터 층의

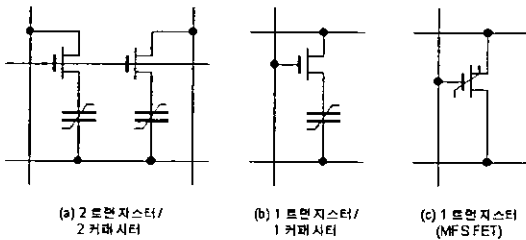


그림 3.1. FRAM의 셀 구조

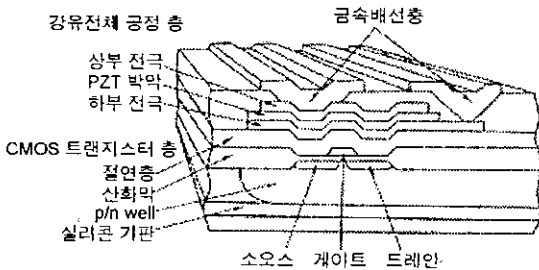


그림 3.2. FRAM 공정

표 3.1. FRAM의 특징 — 비휘발성—

항목 명칭	백업 전원	데이터 유지 시간	비 고
SRAM/DRAM	필요	백업 전원에 의존함	온도에 따라 배터리 방전 조건이 변화함
EEPROM/플래시	불필요	10년	Access의 유무에 관계없이 데이터 보유 시간이 일정함
FRAM	불필요	10년	

상부에 형성된 콘덴서의 용량 부분에, 강유전체가 적용된 모양으로 이해할 수 있다. FRAM의 비휘발성 메모리로서 동작은 강유전체 막의 분극을 이용하는 것이나 기본적인 구성은 DRAM과 유사하며, 실제 FRAM의 내부 구성을 변경하여 DRAM으로 사용하는 것은 가능하다.

3.1 비휘발성

FRAM은 전원없이 비휘발성을 갖는다. EEPROM 등 다른 비휘발성 메모리와는 동작원리가 달라서 FRAM에서는 read/write 동작시 모두 데이터의 다시써넣기 동작을 실행하고 있다. 그러나, 그 데이터 보유 특성은, 각 address access 후 10년간 데이터 유지를 보증한다. 실제의 응용에서는, 10년간 전혀 access하지 않는 것은 생각하기 어렵다. 이상으로부터, FRAM의 데이터 보유 특성을 고려할 때, 써넣기 때로부터 10년간 보증인 EEPROM, 플래시 메모리보다 유리하다 할 수 있다. 또한 DRAM에서는 필요한 리플래시 동작이 FRAM에서는 전혀 필요가 없다(표 3.1)).

3.2 읽어내기 및 써넣기가 대칭이면서 고속임

동작원리상, 읽어내기/써넣기는 완전히 같은 동작(분극 반전)이며, 따라서 강유전체의 분극반전 시간이, 그 스파드(access 시간)를 결정한다. 그런데, 분극반전 속도는 커패시터 면적 강유전체 박막의 막두께 인가전압 등에 의하여 결정되는데 측정 불가능할 정도로 빠르다.

표 3.2. FRAM의 특징 — read/write 대칭 및 고속—

항목 명칭	Read	Write	비 고
SRAM	◎	◎	고속 = 10~30ns
DRAM	○	○	범용 DRAM = 70ns
EEPROM/플래시	○	×	플로팅 게이트에 전하주입을 사용하기 때문에 바꾸어쓰기 스피드의 한계가 있음
FRAM	○	○	공정의 미세화에 의하여, DRAM과 같은 정도의 read, write access 가능

표 3.3. FRAM의 특징 — 써넣기 내구성 및 신뢰성 —

명칭 \ 항목	Read	Write	Soft Error	비고
SRAM	∞	∞	없음	
DRAM	∞ (10 ¹⁶)	∞ (10 ¹⁵) _L	문제있음	커패시터 누설의 문제가 있음
EEPROM/플래시	∞	10 ⁶	문제있음	데이터 유지 기간 증은 ∞
FRAM	10 ¹²	10 ¹²	없음	현재의 값, 장래에는 ∞ (10 ¹⁵ 이상)

이것은, 플로팅 게이트(floating gate)에 전하주입 및 빼내기를 써넣기/소거(μs order)에 이용하는 EEPROM 또는 플래시 메모리와는 비교가 되지 않는다.

현재의 제품은 디자인 룰 그외의 제약에 의하여 액세스 시간이 150ns 정도로 정해져 고속인 것은 아니나, 이후의 개발에 따라 DRAM과 같은 정도의 액세스 시간(60~70ns)은 비교적 용이하게 달성될 것이라고 생각된다. 또한, 회로 등의 연구에 의하여 SRAM의 영역(access 시간 = 30ns 정도)에 이를 가능성을 갖고 있다. 동작속도는 예를 들면 퍼스컴의 메인 메모리 등의 응용을 고려할 때 중요하다(표 3.2)).

3.3 써넣기 내구성 및 높은 신뢰성

자발분극이라는 분자 수준의 기억보유 메커니즘을 이용한 FRAM은, 현재의 제품 수준에서조차 약 10¹⁰ 회라는 높은 써넣기/읽어내기 내구성을 갖고 있다. 따라서, 써넣기에 내부 고전계를 이용하여 산화막을 통하여 전하를 주입하는 EEPROM이나 플래시 메모리(10⁵ 정도)와 비교하여 훨씬 높은 신뢰성을 갖고 있다. 현재도, FRAM은 사용 중 DRAM 모양의 동작을 하는 DRAM mode, 전원 단락 시에 비휘발성이라는 FRAM mode의 dual mode를 채용하면, 실사용 상 무한대의 read/write 특성을 가질 수 있다. 아울러, 스윙칭의 반복에 의한 잔류분극의 감소 등 강유전체 박막의 피로에 대한 연구가 활발히 수행되고 있으며 가까운 장래에 dual mode를 사용하지 않고서 10¹⁵ 회 이상이라는 실용상 무한의 내구성을 얻을 수가 있을 것으로 기대된다.

또한, 강유전체의 분자 구조는 α 선과 방사선 등에 대하여 안정하기 때문에 소프트 에러 등에 대해서도 높은 신뢰성을 가지고 있다(표 3.3)).

3.4 단일 전원/저소비전력

강유전체의 분극반전에 필요한 전계는 사용하는 강유전체

표 3.4. FRAM의 특징 — 전원전압 —

명칭 \ 항목	Read	Write	비고
SRAM	3~5 V	3~5 V	
DRAM	3~5 V	3~5 V	
EEPROM/플래시	5 V	12 V	플로팅 게이트에 전하주입을 사용하기 때문에, 바꾸어쓰기에 고전계가 필요
FRAM	3~5 V	3~5 V	장래에는 1.5V화도 가능

표 3.5. FRAM의 특징 — 소비전력 —

명칭 \ 항목	Read	Write	비고
SRAM	⊙	⊙	고속품은 소비전력이 큼
DRAM	○	○	리플래시의 필요가 있음
EEPROM/플래시	○	12 V	
FRAM	○	○	대기 시는 0

재료 및 막두께에도 좌우되나 현재의 제품에서 약 50kV/cm 정도로서 내부승압없이 단일 5V 전원으로 동작가능하다(EEPROM/플래시는 107 kV 정도). 아울러, 써넣기/읽어내기가 같을 뿐 아니라 고속인 외에 DRAM과 같은 리플래시 동작이 필요가 없고 소비전력은 아주 작다.

이후, 박막 제조 기술의 진보와 항전계가 낮은 강유전체 재료의 채용 등에 의하여 단일 전원에 의한 저전압화(3V 이하)도 가능하다(표 3.4), (표 3.5)).

3.5 비트 단위로 읽어내기/써넣기

FRAM은 메모리 셀의 구성 상 어떤 I/O 구성을 하더라도 제약이 없다. 그러므로, 1 비트, 4 비트, 8 비트 또는 16 비트 등 I/O를 임의로 구성할 수 있다.

플래시, EEPROM, NOVRAM 등은 I/O가 임의의 구성을 갖는 반면에, 내부 동작은 블록 단위, 모든 메모리 어레이에 미치는 소거 또는 써넣기를 이용하고 있다.

3.6 대용량화

점점 더 비대화하는 컴퓨터 시스템의 메인 메모리의 응용을 고려해볼 때 대용량화가 쉬운 것이 불가피한 요소라 할 수 있다. FRAM은 기본적으로는 현재의 DRAM과 꼭 같은 메모리 셀 구조, 즉 1 트랜지스터/1 커패시터 메모리 셀을 갖기 때문에 대용량화가 가능하다. 또한, 강유전체를 게이트에 적용한 1 트랜지스터 메모리 셀인 MFSFET의 연구도 활발히 되고 있어 장래가 기대된다(표 3.6)).

표 3.6. FRAM의 특징 - 대용량화/embedded화 -

명칭	항목	대용량화	Embedded	비고
SRAM		△	○	Embedded로서도 외부부착 전지의 필요가 있음
DRAM		⊙	×	공정이 다르기 때문에 embedded는 곤란함
EEPROM/플래시	△(EEPROM) ⊙(Flash)		×	플로팅 게이트의 공정에 의하여 embedded는 곤란함
FRAM		○	○	

3.7 다른 공정과의 정합성

마이크로컨트롤러 또는 ASIC 등에 on-chip의 비휘발 메모리를 집적하는 것은 시스템 설계자의 요망으로서 대단히 큰 것이 있다. 그러나, EEPROM/플래시의 경우 공정이 차이가 큰 것 DRAM/SRAM을 이용하면 백업이 필요한 등 난점이 많다.

FRAM의 경우, 트랜지스터 층은 ASIC과 같은 CMOS 트랜지스터 어레이이고 1 칩의 모놀리딕 LSI로서 로직 아날로그 또는 마이크로컨트롤러에 혼재하는 것이 가능하다(표 3.6)).

이상에서 알 수 있는 바와 같이 FRAM은 여러가지 특징, 특히 랜덤 액세스 성능과 비휘발성으로부터 어느쪽의 카테고리에도 들어가지 않고, 분류적으로는 ROM과 RAM의 중간에 위치하여 완전히 새로운 카테고리를 형성한다(그림 3.7).

종래의 반도체 메모리의 범주에 들어가지 않는 이 랜덤 액세스 성능과 비휘발성의 양립이 종래의 시스템에 미칠 것이라는 가능성은 헤아릴 수 없을 정도로 많고, 기존의 메모리에서는 오랜 동안 받아들여 제약이 FRAM에 의하여 일거에 해결되어 그 응용 분야가 새로운 차원을 여는 것이라 생각된다.

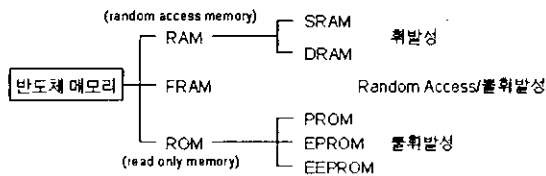
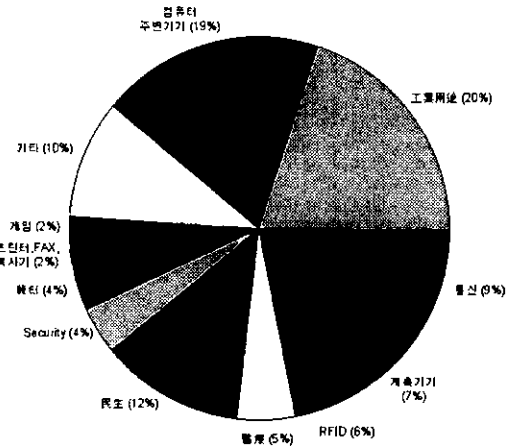


그림 3.7. 반도체 메모리의 분류

4. 멀티미디어의 응용(4-5)

반도체 뿐만 아니라 우리 주변에서 사용되는 기기들의 기술도 급격히 진보하고 있다. 특히 멀티미디어의 분야에서는 어지러울 정도로 발전, 변화하고 있다. 예를 들면 인터넷을 중심으로 하는 정보통신의 세계에서는 통신기술의 진보로 세계규모의 통신 인프라가 구축되고, 홈페이지에 의한 정보발



Design win 합계 = 500건

그림 4.1. 소용량 FRAM의 응용 성공 제품

신·정보판매와 네트워크 서비스업등의 새로운 비즈니스가 싸이 트고 세계를 서로 주야를 불문하고 정보교신이 가능해지면서 새로운 생활관습이 생겨서 국경을 초월한 문화가 열리게 되었다.

인터넷 이외에도, 일본·미국·유럽의 HDTV 규격 논쟁, 미국의 NII (National Information Infrastructure) 구상에 발단된 정보 인프라 구축 경쟁, 케이블 TV의 전 세계적 번성, 일본 내에서의 통신 가라오케 등장, 슬롯 머신의 전자화, 멀티미디어화에 따른 PC의 가전제품으로의 보급, 통신 가능한 전자수첩으로부터 진화하고 있는 휴대단말기, 기능이 향상되어 멀티미디어화가 예상되는 휴대전화, 고기능 저가격 게임기의 보급 등 멀티미디어에 관계하여 세계의 중심이 크게 움직이고 있는 것을 볼 수 있다.

이러한 멀티미디어화 바람은 영상, 음성을 포함한 각종의 데이터의 디지털화로부터 비롯되었다. 디지털화에 의하여 데이터의 기억, 가공, 전송 처리를 간단하게 또는 고속으로 손에 들어오도록 할 수 있었기 때문이다.

그 중에서 반도체 메모리와 하드 디스크 등의 기억장치의 역할이 크다. 디지털화된 데이터를 처리하기 위해 쌓아 놓는 작업장이 바로 반도체 메모리이고 이의 보관 창고가 바로 하드 디스크와 같은 기억장치로서 멀티미디어와는 짝을 이루 수 없는 사이이다. 또한 컴퓨터에 있어서도 반도체 메모리는 필수불가결한데 컴퓨터의 성능은 CPU의 성능과 더불어 반도체 메모리의 성능에도 크게 의존한다. 컴퓨터의 발전은 반도체 메모리의 대용량화, 고속화의 역사이기도 하다.

반도체 메모리에는 저장된 프로그램과 데이터를 바꿀 수 없는 ROM, 바꾸어 쓰기 가능한 RAM, 고속 동작을 위한 일시적 기억 장치인 캐시 메모리, 데이터를 화면에 표시를 하기 위

해 잠깐 보관하는 비디오 RAM 등이 있고, 용도에 따라서 각종 사양의 반도체 메모리로 나뉘어 사용되고 있다.

현재 제품의 특성을 보더라도, 기존의 제품을 치환하는 것을 포함하여, FRAM의 응용 범위가 넓은 것이라는 것을 쉽게 상상할 수 있다. FRAM의 응용에 관하여 생각할 때, 우선은 현재의 제품의 응용에 관하여 FRAM이 사용된 배경을 고려한 후에, 다음으로 장래의 전망에 관하여 생각해보기로 하자.

현재의 FRAM 제품은, 기존의 제품을 치환하는 것을 고려하여, 가능한 한 종래 제품과의 호환성을 가지고 있다. 판매 시작으로부터 약 4년이 지난 현재에 FRAM의 제품으로서의 역사는 짧기 때문에, FRAM은 기존 제품의 치환을 포함하여 약 500선에 이르는 디자인에서 성공하여 여러 가지 응용을 개척하였다 (그림 4.1 참조). 여기서는 대표적인 응용가능한 것을 살펴보기로 하자.

4.1 AV(Audio-Visual) PC

최근의 PC는 CD-ROM의 탑재, TV 화면 시청 기능, 전자 통신의 지원 등 각종 미디어 기능을 장착한 소위 멀티미디어 PC가 주류이다. 멀티미디어 PC의 기능 중에서 음성 및 영상을 처리하는 AV(Audio Visual) 처리기능이 특히 중요하다. TV를 정보의 중심 또는 생활의 중심으로 새롭게 변신시켜 가정에 보급하려는 움직임을 포함하여 멀티미디어 정보 즉, 음성·영상이 혼재한 정보를 취급하도록 AV 처리기능이 강화된 것이 AV PC이다.

AV PC란 특별한 것은 아니고 AV를 취급하는 기능이 강화된 PC라면 AV PC라고 말할 수 있다. 그 중에서도 음성과 화상을 포함한 미디어로서 CDP와 CD-ROM을 사용하며 TV 시청이 가능한 것. 따라서 각 미디어가 혼재하여 탑재된 것이 AV PC 또는 멀티미디어 PC이라고 말하고 있다. 특히 CD를 포함한 AV처리 관계의 기능을 강화하였다. 각종 CD에 대응하여, 정지 화면이나 동영상으로 서비스되고 있고 음악 CD, Photo CD, 비디오 CD, CD-ROM, CD-ROM

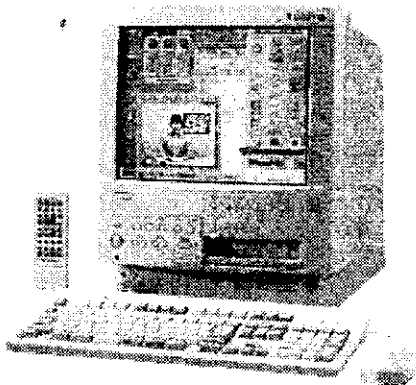


그림 4.2. WOODY PD (미쓰비시 전기)를 탑재한 AV PC

Title 등의 이용이 가능하다.

AV 기능 강화 추세에 따라 기억장치에 대한 요구 사양도 변화하고 있다. 즉, AV 데이터의 기억에는 엄청난 용량이 필요하기 때문에 하드 디스크 이외에 VTR의 테이프와 같이 별도의 대용량의 미디어가 요구되고 있다. 대용량 MD(광자기 디스크)도 그 하나이지만, 마쓰시다 전기(株)가 개발한 PD(광 디스크)도 AV 데이터 저장에 활용 가능성이 높다. 동일 드라이브로 CD 미디어를 읽을 수도 있고 640MByte의 대용량 데이터를 read/write 가능하기 때문에 큰 매력 있다.

PD를 제일 먼저 표준 탑재한 PC으로는 미쓰비시 전기의 WOODY PD가 있다. 개인과 가정의 동화상 앨범 및 원하는 동화상 파일을 저장하는, 그리고 문장 데이터, 도표 데이터 등도 대량으로 작성하여 기억시킨 뒤 미디어를 꺼내어 보관할 수 있는 편리한 PC로 특히 AV 처리에 적합한 기종이다 (그림 4.2).

그러면 FRAM에 의하여 AV PC가 어떻게 변화하고 개선되는지 알아보기로 하자. AV PC의 장래의 용도를 현실화하고, 편리하며 가까운 존재로 하는 데는 FRAM이 불가피하다는 것을 알 수 있을 것이다.

우선 FRAM 채용에 따라 PC의 전원을 넣으면 곧 사용하는 TV 감각의 PC를 실현할 수 있다. PC를 사용할 때 전원 ON 후의 set-up에 소요되는 시간 때문에 많은 사람이 초조함을 느껴져 되며 이 것이 PC를 사용할 때의 최초의 감정적 장벽이다. 예를 들자면, PC를 백과사전을 대신하여 사용하려고 하더라도 이점이 성가신 문제가 되어 사용에 제약이 된다.

사용자가 말로 명령을 하면 PC가 바로 답해준다면 사용이 한층 편리한데 그렇지 않다면 보급에 장애 요인이 된다. 현재 사용되고 있는 이러한 PC를 멀티미디어 전화기에 적용하면 전화가 걸려올 때에 얼굴이 화면에 비치기 전에 대화가 끝나버리게 될 것이다. 따라서, AV PC에는 TV 감각의 조작성이 기대된다. 이를 위해서는 전원을 넣으면, 또는 AV PC 자신이 자동으로 응답하여 즉시 목적인 동작을 시작하는 것이 필요하다. 여기에 비휘발성인 FRAM을 주기억 메모리로 사용한다면 시간대기가 필요없게 되어 전자도서관과 전자사서, TV 전화 등 실시간 응답이 필요한 용도를 중심으로, 특히 홈 뉴스에 크게 공헌하여 AV PC가 친근한 존재로 된다.

기능이 한정된 PC에서는 상주 프로그램을 변경할 필요가 없으므로 프로그램을 ROM에 저장하고 있다. 이 경우 전원 ON 후의 메모리 설정이 필요 없으며 바로 사용할 수 있는 상태가 된다. 또한 ROM은 RAM에 비하여 싸기 때문에 제조업체는 가능한한 ROM을 사용하려 한다.

일반 PC에서도 boot ROM으로서 최소한으로 필요한 ROM이 탑재되고 있다. ROM을 사용할 때의 문제점은 프로그램의 개선 또는 버전-업에 대응하기 매우 어렵다는 것과, ROM의 저장 프로그램에서 치명적인 bug가 발견된 경

우에도 ROM 교환이 매우 어렵다는 것이다. 이 점에 있어서도 FRAM에 의하여 해결될 수 있다. 즉 ROM대신에 FRAM을 채용함으로써 쓰기가 가능하게 되고 버전-업과 bug 대응이 용이하게 가능하기 때문이다.

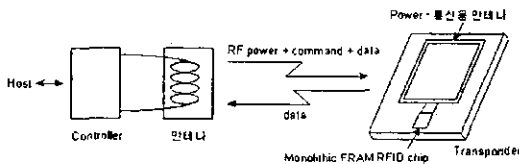
또한 TV에 PC 기능을 내장한 영상 수신형 상품을 실현할 수 있다. FRAM을 CPU 와 집적하면 프로그램과 데이터를 저장할 수 있기 때문에 회로가 간단하여 기판도 작아질 수 있고 가격이 저렴하게 되며 저소비전력이 되어 저가의 AV PC가 실현될 수 있다. 이 경우 CPU 회로가 극단적으로 간소화되기 때문에 시스템 자체도 간소하게 되며 영상 수신형 용도의 PC 기능내장 TV의 실현이 된다.

4.2 RF IC 카드

크레디트 카드와 은행의 캐시 카드 등의 플라스틱 카드에 IC 칩과 IC 메모리를 내장한 카드를 총칭하여 IC 메모리 카드라 한다. IC 카드는 프랑스의 로랑 모레노씨가 국제 특허를 보유하고 있으며 유럽을 중심으로 실용화되어 가고 있다. 그런데 여기에 비접촉 기능을 가능하게 한 RF 기술을 도입한 것이 RF IC 카드이다. FRAM의 특징을 유효하게 활용하기 위하여 지금까지 기존의 메모리에서는 불가능이라고 생각하여 온 응용도 시작하고 있다. RF IC 카드에는 다양한 응용이 기대되고 있는데 그 한 예로서, RFID 시스템에 관하여 알아보기로 하자.

RFID 시스템(Radio Frequency IDentification)이라는 것은 전파를 사용한 비접촉 tag 시스템으로써, 일반적으로는 비접촉 데이터 운반 시스템 등으로도 부르고 있다. 전체의 시스템 구성을 그림 4.3에 나타내었다.

시스템은 퍼스컴, 콘트롤러, 안테나 등으로 구성된 host 측과, transponder라 부르는 데이터 캐리어로 구성된다.



주요 RFID 시스템의 특징 비교

	SRAM	EEPROM	FRAM
데이터의 보존	×(전지필요)	○(비휘발)	○(비휘발)
빠꾸어쓰기 횟수	○(실용무한)	×(~10 ⁵ 회)	○(~10 ¹⁰ 회)
통신거리 (읽기)	○	○	○
통신거리 (쓰기)	○	×	○
통신 속도	○	×	○

그림 4.3. RFID(Radio Frequency Identification): 비접촉 데이터 운반

Transponder에는 데이터 수신/송신을 겸하는 안테나와 데이터용 FRAM과 송/수신 및 논리회로가 단일 칩 또는 복수 칩으로 구성되어 조립되어 있다.

Host 측으로부터는 필요에 의하여 명령어 및 데이터를 반송파인 전파에 실어 송신하며 transponder 측에서는 그 반송파에 의하여 필요한 전력을 발생시켜 FRAM에 데이터의 써넣기 및 읽어내기에 이용한다. 또한, 읽어내기를 할 경우는 데이터를 변조하여 전파를 통해서 host 측에 되돌려준다. 이런 시스템은 SRAM, EEPROM 등을 사용하여 일부 실용화되고 있으나 FRAM을 이용함에 의하여 다음과 같은 특징이 나오고 있다.

○전지가 불필요

○동등이면서 고속인 읽어내기/써넣기 스피드

Read/write 동작이 모두 같은 원리를 이용하는 FRAM을 사용함에 의하여, transponder의 read/write access의 스피드를 동등하게 할 수 있다. 이것은 transponder에 바꾸어 쓰기의 필요가 있는 경우 등(예를 들면 회수권과 같은 응용)에는 이상적이다. 즉, 이와 같은 동작은 써넣기에 큰 소비전력을 필요로 하는 EEPROM에서는 불가능하다.

○읽어내기/써넣기의 통신거리가 대등

FRAM은 read/write 동작시에 소비전력이 동일하기 때문에 transponder의 read시와 write시의 통신가능거리가 같게 된다. 이것은, 써넣기에 큰 소비전력을 필요로 하는 EEPROM에서는 불가능하다.

○거의 무한(현재 10¹⁰회 이상, 미래에는 10¹⁵ 이상)의 바꾸어 쓰기 횟수

EEPROM에서는 10⁵회 정도이다.

이 시스템은 다음과 같은 넓은 응용분야를 갖고 있다.

- 보안 보유 시스템
- 철도/버스 등 승차권(정기권, 회수권) 시스템
- 금융기관 이용관리 시스템(은행 카드, 크레디트 카드 등)
- 고속도로 요금자동징수 시스템
- 바코드를 대신한 상품관리 시스템 (도난방지 포함)
- FA용 공장 제조라인 제어 시스템
- 의료관리 시스템 (Carte 등)

위에서 설명한 특징은 FRAM이 가진 장점을 잘 사용하여 가능한 것이므로 FRAM의 응용분야의 개발 방향성에 큰 시사점을 주고 있다고 말할 수 있겠다. 기존의 메모리를 사용한 경우에 발생하는 문제를 해결하기 위한 하나의 해결 방법으로서 FRAM의 응용분야를 개척할 수 있겠다.

이와 같이, FRAM을 이용하여 기존의 메모리를 대체하는 것은 시작한지 얼마되지 않았음에도 불구하고 그 특징인 고속 동작과 동일한 읽어내기/써넣기 속도, 고쳐 쓰기 횟수에

대한 높은 신뢰성 및 저소비 전력 등. 현재의 제품군에 있어서도 응용제품의 품질 향상 또는 생산성 향상에 기여하고 있다. 아울러, 기존의 메모리에서는 실현이 어려웠던 기능을 FRAM의 이상적인 특성을 가지고 개발해나가려는 움직임이 본격적으로 시작되고 있는 중이다.

FRAM의 출현에 의하여 메모리 IC 카드의 성능이 비약적으로 향상될 것으로 기대된다. IC 카드의 보급에 관한 제반 시스템의 정비 등 과제가 산적해 있으며, FRAM이 급속히 시장에 받아들여져 많은 응용으로 실제로 눈에 띄거나 또는 사용되는 날이 곧 닥쳐오고 있다.

4.3 휴대단말기

이동체통신이라고 한마디로 하더라도, 그 안에는 삐삐(호출기), 아날로그/디지털 코드리스 전화, 아날로그/디지털 휴대 전화 등 여러 종류가 있다. ROM, RAM이 혼재하는 현행 휴대 전화 시스템이 FRAM에 적합한 응용이다. 그림 4.4에 디지털 휴대 전화에 있어서 FRAM 응용의 예를 나타내었다. 우선 제1 단계로서, work 메모리 부와 데이터 메모리 부를 FRAM으로 구성하는 것이 고려될 수 있을 것이다.

용량으로서는 256k 비트급 정도의 FRAM으로 충분히 대응할 수 있다고 생각한다. 현행 시스템의 SRAM+EEPROM 구성의 총 비트 수를 고려하면 단순한 계산으로서는 1M 비트 정도의 메모리가 필요하다고 생각되는데 데이터 ROM에 저장 해야만 하는 데이터는 ID 코드 관련으로 20 바이트 정도, 시스템 기능 설정으로 100 바이트 정도이며 전화부 기능도 100인분의 전화부를 가진다 하더라도 10k 바이트가 되어 필요한 데이터 메모리로서는 약 10k 바이트(80k 비트)가 되어 실제로는 작은 용량으로도 충분하다는 것을 알 수 있다. 거기에 사용되는 CPU를 선정하고 외부 work 메모리 용량을 작게 억제하는 것이 가능하다면 work 메모리+데이터 메모리를 256k 비트 FRAM 하나로 구성하는 것도 가능하게 된다.

휴대 정보 단말기라 하더라도 실제의 제품으로서는 전자수첩, PDA(Personal Digital Assistant), organizer, 팜탑 PC 등 부르는 이름이 여러가지가 있다. 시스템의 메모리 부를 중심으로 한 구성 예는 그림 4.5에 나타내었다. 기본적인 메모리 구성은 이동체통신과 변함이 없으나 본 예에서는 시스템의 소프트웨어 업그레이드를 고려하지 않았기 때문에 프로그램 및 Font 데이터를 마스크 ROM에 격납하고 있다. 바꾸어 쓸 필요가 있는 데이터 다시 말하면 사용자가 입력한 스케줄, 메모 및 주소록 등의 정보는 저소비 전력을 위한 플래시 메모리에 격납하는 방법이다. 이때 플래시 메모리는 work 메모리상에 백업이 필요한 데이터를 전원 off시에 대피시키는 백업 메모리로서의 기능도 갖고 있다.

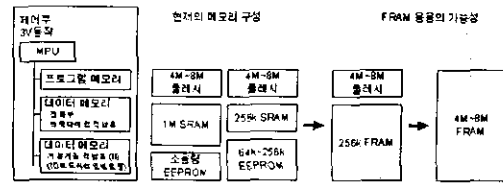


그림 4.4. 디지털 휴대 전화의 FRAM 응용 및 장점

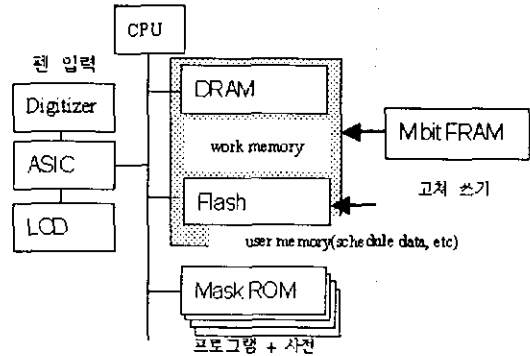


그림 4.5. 휴대정보기기의 시스템 구성도

이러한 시스템에 대하여 FRAM은 work 메모리 및 데이터 메모리를 1개의 FRAM으로 치환하는 것이 가능하며 이 점으로서 다음과 같은 점이 있다.

- (1) 전원 off시의 데이터의 백업 동작이 불필요하게 되며 데이터의 쓰기가 읽기와 동일 사이클로 실현 가능한 것으로 소프트웨어 부하의 저감이 기대된다.
- (2) 메인 메모리가 비휘발성이 되기 때문에 전원 on시 앞의 전원 off시의 상태로부터 down load 없이 동작이 재개된다.

4.4 대용량 work 메모리

FRAM을 한 마디로 표현하면 RAM의 고속 랜덤 액세스라는 특성과 ROM의 비휘발성, 저소비전력성이라는 특성을 겸비한 새로운 메모리라고 할 수 있다. 새로운 메모리의 출현에 의하여 새로운 응용제품이 돌연히 출현할지도 모른다도 기대하는 쪽도 있으나, 현실적으로는 제1단계로서 종래의 메모리를 FRAM으로 치환하여 성능 향상 및 소형화를 도모하고, 제2단계로서 이러한 움직임에 따라 새로운 사용자가 발생하고 새로운 응용제품으로 발전하리라고 생각하는 것이 타당할 것이다.

FRAM은 새로운 메모리이기 때문에 그림 4.6에 나타낸 바와 같이 작은 용량으로부터 큰 용량의 제품이 개발되고 있으므로 그 응용 범위가 넓어지고 있고 새로운 시장 창출형의 메모리이다.

제품의 용량으로서는, 지금까지는 4k 비트, 16k 비트 등

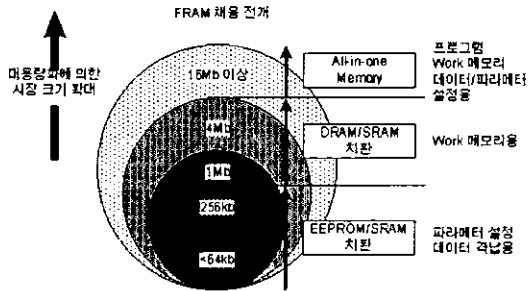


그림 4.6. FRAM 제품 로드맵

소용량 제품이 주였으나, 이후는 256k 비트 및 메가 비트 이상의 제품이 시장에 등장할 것이다. 쓰기 횟수는 $10^4 \sim 10^5$ 회 정도인 플래시 메모리 등에 비하여 FRAM은 종래의 제품에서도 읽기/쓰기 횟수가 10^{10} 회 이상이기 때문에 쓰기를 빈번하게 행하는 시스템의 데이터 메모리로서 사용하는 것이 가능하다. 이후에는 이 값이 $10^{12} \sim 10^{13}$ 회 정도로 향상됨으로써 비휘 메모리 및 실제 가동시간이 한정된 휴대단말의 작업(work) 메모리로서 응용분야를 확대할 것이 예상된다.

또한 장래는 메가 비트급으로 용량이 증대하여 강유전체 자신의 특성개선에 의하여 읽기/쓰기 횟수가 $10^{14} \sim 10^{15}$ 회 수준으로 더욱 향상할 가능성이 있다. 이것이 실현된다면 프로그램 메모리 분야에도 응용이 가능하게 되고 시스템 내의 모든 메모리를 1개의 FRAM으로 구성하는 all-in-one 메모리도 사용될 가능성이 있다.

상기의 관점으로부터 가까운 시일에 제품화가 예상되는 256k 비트 정도의 용량의 FRAM에서는 종래 SRAM, EEPROM의 주 응용 분야였던 데이터 메모리 및 작업 메모리의 일부를 대상으로 한 응용일 것으로 예상된다. 아울러 고집적화 및 성능향상이 도모됨으로써 프로그램 영역도 포함한 메인 메모리 전체를 대체하는 것도 가능하게 될 것이다.

5. 결론

FRAM 기술이 지금까지가 유년기라고 한다면 256k 비트 제품의 개발에 상정된 바와 같이 지금은 바로 소년기에 다다랐다고 이야기할 수 있다. 이미 기술한 바와 같이 제1세대 소/중용량 FRAM 제품군은 기존의 메모리 특히 EEPROM 및 배터리 백업 SRAM을 치환하고 있다. 256k 비트 제품도 그와 같이 주로 EEPROM의 치환을 중심으로 시장의 요구에 맞추어 나가게 될 것이다.

FRAM의 최대의 특징은 종래의 어떤 메모리라도 실현해 낼 수 없었던 성능 즉, 랜덤 액세스 read/write 성능과 비휘

발성의 양립에 있다고 해도 과언은 아니며 결과로서 FRAM은 RAM과 ROM이라는 기존의 범주에는 넣을 수 없는 전혀 새로운 메모리를 형성하였다. 이미 소/중용량용 FRAM은 기존의 메모리인 소/중용량 EEPROM, 배터리 내장/외장 SRAM, NVRAM 등을 이용한 응용에서의 몇개의 문제점을 해결 제품의 가치를 높이는 데 공헌하면서 시장에서 새로운 위치를 구축하는 중이다.

일반적으로 메모리 소자의 제조 코스트는 메모리 셀 구조, 제조 공정, 수율 등에 의하여 결정된다. FRAM은 현재 2T/2C 형의 메모리 셀을 채택하고 있으나 DRAM과 같은 구조 즉, 1T/1C 형의 메모리 셀을 사용함으로써 대용량화를 추구할 수 있게 될 것이고, 그 향후에는 더 고집적화 및 저전력화에는 1T_r FET 형도 등장할 것으로 전망된다.

제조 공정에 주목하면 FRAM의 마스크 매수도 DRAM과 거의 동등하게 되고 제조기술도 DRAM에 준한 설비가 사용될 것으로 생각되기 때문에 수율 및 비트당 단가도 양호할 것이라고 기대된다. 그러므로 공정개발이 가속되면, 앞으로는 과거의 DRAM의 세대교체를 상회하는 속도로 대용량화가 달성될 수 있을 것이라 예상할 수 있다. 물론 많은 반도체 제조업체의 참여에 의하여 활성화된 현재의 개발 수준은 이룰 더욱 앞당길 것이다.

또한 RF-ID 시스템과 같이 기존의 메모리에서는 실현되기 곤란한 과제를 FRAM을 이용하여 해결하려는 시도는 custom 또는 embedded FRAM의 기술개발의 가속으로 이어질 것이다.

대용량 메모리에 있어서는 256k 비트 제품이 현재 개발 중인대 최초의 응용분야는 휴대전화 등의 휴대용 통신기기 또는 PDA(개인용 휴대 정보 단말기, Personal Digital Assitant) 등이라고 예상하고 있다. 또 메가비트급의 용량을 달성하고 read/write 사이클이 10^{15} 회를 넘으면 제조 원가의 저감과 함께 컴퓨터의 기존의 메모리를 치환하는 것이 가능하리라고 생각된다. 그렇게 됨으로써 한층 더 질 높은 멀티미디어 사회가 실현 될 것으로 기대된다. 물론 멀티미디어의 채용에 있어서 액세스 스피드, 대용량화, 가격 인하 등 이후 노력하여야 할 것이 많이 남아 있다는 것도 사실이다. 계속 이러한 과제들이 해결되어 각종의 멀티미디어를 실현하고 보급하는데 FRAM이 크게 공헌해나가게 될 것을 기대한다.

참고 문헌

- [1] '미래의 메모리' FRAM, 유희준, 김시호, 유병곤, 시그마프레스, 2000.
- [2] '강유전체 박막 메모리', Shiozaki 외 3명, SCIENCE FORUM, 1995.

- [3] '강유전체 막막 집적화 기술', Abe 외 1명, SCIENCE FORUM, 1992.
- [4] '멀티미디어 신세기', 한국전자통신연구소, 정보화시리즈-32, 1996.
- [5] '멀티미디어', 那野北吉, NTT, 1994.

저 자 약 령

성명 : 유 병 곤

◆학력

1978년 3월~1984년 2월 : 경북대학교 물리학 학사
 1985년 4월~1987년 3월 : 동경공업대학(TIT) 물리학 석사
 1987년 4월~1990년 3월 : 동경공업대학(TIT) 물리학 박사

◆경력

1990년 4월~1991년 2월 : 일본 히다찌 중앙연구소 객원연구원
 1991년 3월~2000년 현재 : 한국전자통신연구원 회로소자기술연구소 강유전체소자팀장

✧ E-mail: bgyu@mail.etri.re.kr