



## MRAM의 기술동향



김창경

한양대학교 신소재공학부 교수  
ckkim@hanyang.ac.kr

### 서론

인류 문명이 지구상에 출현한 이래, 도구의 사용과 더불어 자신의 의사표현을 위한 언어와 문자도 함께 발전하여 왔다. 기원전 3000여년 전 작성된 것으로 알려진 진흙판에 새겨진 세계 최초의 문자가 이집트 남부에서 발견된 이후, 종이의 발명과 목판, 금형판등의 인쇄 기술의 개발은 인류 문명의 비약적인 발전에 큰 밑거름이 되었다. 그리고 1948년 정보저장이라는 매체가 종이라는 눈에 보이는 활자의 표현을 넘어서 트랜지스터의 개발로 20세기 획기적인 전환을 맞게 되었다.

그리고 21세기 현재 개인별 정보 이용량은 불과 10여년 전과 비교하여 약 100배 이상의 발전을 가져왔다. 여기에는 개인용 HDD의 용량의 증가를 통해서도 알 수 있고, mobile을 이용한 이동통신의 발전은 현재도 지속적으로 이루어지고 있다.

이러한 정보 사용량의 증가를 가능하게 하였던 기술 중에서 빼놓을 수 없는 부분은 개인용 PC의 도입과 더불어 메모리의 발전이라 할 수 있다. 현

재 세계 메이저 업체는 꾸준한 기술 개발을 통해 0.13 $\mu$ m공정을 통한 DRAM을 양산하고 있다. 그러나 DRAM은 읽기, 쓰기 속도가 빠르다는 장점에 비하여 전원공급이 중단되면 기록되어 있는 내용이 지워진다는 단점이 있다.

전원 공급이 중단됨에 따른 정보의 소멸 현상을 극복하기 위해 현재 사용되고 있는 Flash 메모리는 기술적인 측면은 배제하더라도, write 속도가 기존 DRAM에 비하여 1000배 이상 느리기 때문에, 사용 목적에 따라 적용 할 수 없는 경우가 발생하게 된다. 또한 현재 핸드폰 제조사들의 경우, Flash 메모리에 제어 프로그램을 write하는 과정이 bottle neck 현상을 일으키고 있어, 생산성 증대에 커다란 걸림돌이 되고 있다.

이러한 단점을 가지고 있음에도 불구하고, 지금까지 메모리 분야에 계속 사용되고 있었던 이유는 이를 대체할 만한 수준의 메모리 소자의 개발이 그 동안 이루어지지 못했기 때문이다. 이를 극복하기 위하여 세계 선진국들의 메이저 업체와 학교 연구소에서는 여러 가지 type의 메모리 개발을 위

해 노력을 기울이고 있으며, 이곳에 설명할 내용은 그 중에서 가장 유력한 차세대 메모리로 주목 받고 있는 MRAM(Magnetic Random Access Memory)에 대하여 이야기 하고자 한다.

**본론**

앞에서 언급한 DRAM과 플래쉬 메모리의 장점 즉, 읽고 쓰는 속도가 빠르고 소비전력이 적으면 서도 전원이 끊어져도 정보를 그대로 유지하면서도 그들의 단점을 극복할 수 있는 메모리가 바로 IBM에서 '74년부터 줄기차게 개발해 오던 MRAM이다. 이 메모리는 하드디스크와 메모리의 중간 형태로서 그 이유는 이 메모리가 하드디스크의 정보를 기록하는 소재인 마그네틱 재료를 사용하고 있기 때문이다.

MRAM의 아이디어 자체는 오래 전부터 나와 있던 것이지만, 지금에서야 실현 가능해진 이유는 미세한 자기를 제어해야만 하는 TMR (Tunneling Magnetoresistance) 현상을 적용하기 때문이다. 이 메모리가 실현된다면 노트북의 sleep mode와 하이버네이션 간의 구분은 의미가

없어질 것으로 생각된다. 하이버네이션이란 메모리에 있는 정보를 보존하기 위해 하드디스크로 옮겨놓는 방법이다. MRAM은 속도가 빨라 메인 메모리로 사용되기에 무리가 없고 전원이 차단되어도 데이터가 소실되지 않기 때문에 하이버네이션 상태로 진입할 경우 메인 메모리의 데이터를 옮겨올 필요가 없다.

표 1은 MRAM과 기존 시장에 나와 있는 몇 가지 메모리와의 성능 및 특성을 비교한 것이다.

MRAM 구현의 핵심 기술은 우수하고 안정적인 자기저항 특성을 나타내는 자기박막의 제조 기술과 기존의 반도체 회로와 공정을 이용한 집적 공정기술이라 할 수 있다. 터널링 자기 저항 (TMR : Tunneling Magnetoresistance) 현상을 이용한 자기 터널링 접합소자(MTJ : Magnetic Tunneling Junction)는 우수한 특성의 비휘발성 MRAM 개발에 가장 적합한 박막 소재로 각광받고 있다.

MRAM에 이용되고 있는 자기 터널링 접합소자 (MTJ)의 구조는 터널링 장벽(Tunneling Barrier)으로서 절연층(일반적으로 Al2O3)을 사이에 둔 두 자성층(Ferromagnetic Layer)의 샌

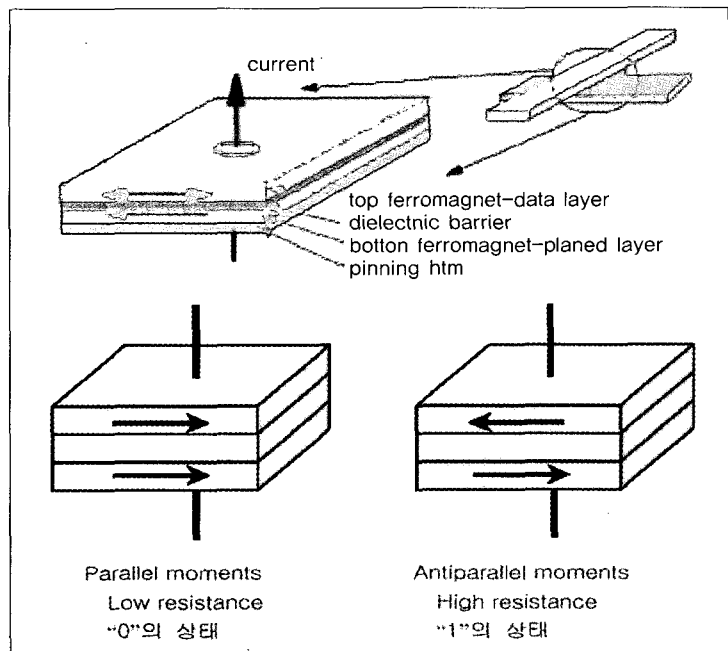
표 1. 여러 가지 메모리 소자의 비교

	MRAM	DRAM	SRAM	FLASH	FeRAM
Cell Structure	1TR, + 1TMR	1TR, +1Capacitor	6(4) TR.	1TR.	1TR
Density	High	High	Low	High	High
Power for Data	None	Required	Required	None	None
Refresh	None	Required	None	None	None
Read Speed	Very Fast(~3ns)	Fast (~60ns)	Very Fast(~2ns)	Fast (10ns)	Fast (60ns)
Write Speed	Very Fast(~3ns)	Fast (~60ns)	Very Fast(~2ns)	Very Slow (0.2s~200ms)	Fast (60ns)
Power Dissipation	Small	Small	Large	Very Large	Small
Non-volatility	○	×	×	○	○
Application	Main Memory	Main Memory	Cache Memory	BIOS Memory	BIOS Memory



드워치 구조로 되어 있고 전류는 각 층에 수직하게 흐른다. 두 자성층의 스핀 방향이 같으면

(Parallel), 전류의 터널링 확률이 크며 저항이 작다. 하지만 두 자성층의 스핀 방향이 정반대이면



(Antiparallel), 터널 링 확률이 작으며 저항이 크다. 즉, 자기 터널링 접합소자에서 터널링 전류는 두 자성층의 상대적 자화방향에 의존한다.

이와 같이 전류가 스핀의 방향에 따라 소자의 저항이 달라지는 성질을 이용해서 시스템은 해당 비트가 '0' (Parallel할 때)과 '1' (Antiparallel할 때)인 지를 판별하고, 외부로부터 자기장을 걸어 정보를 입력한다.

그림 1은 MTJ에 대한 모식도이다.

그림 1의 각 FM(ferromagnetic) layer의 spin은, word line과 bit line이 MTJ의 아래 위로 위치하여 있고, 이들의 전류에 의한 자기장의 유도로 자화의 방향이 바뀌게 된다. 두개의 line에 동시에 전류가 흐를 때 선택된 MTJ의 spin의 방향을 인식하거나 (read) 동작이 바뀌는데(write), 한 개의 line만이 선택되어 있을 경우가 매우 많이 발생되기 때문에, 오동작의 우려가 발생한다. 이들의 오동작을 제어하기 위해 여러층의 박막 증착이 요구되고 있다.

그림 2는 한양대학교에서 연구하는 MTJ 다층 박막의 모식도이다. AF(Antiferromagnetic)

그림 1. 자기터널링 접합의 모식도

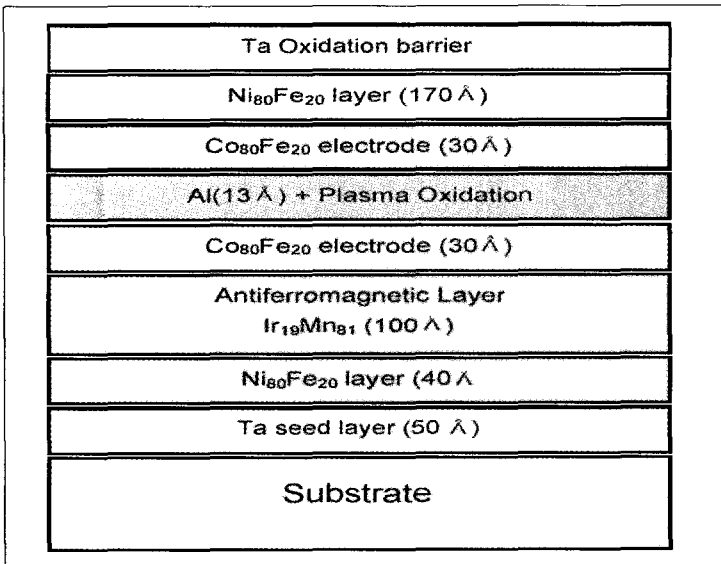


그림 2. 교환 바이어스 결합을 이용한 자기 터널링 접합(한양대 연구중)

layer에 의한 하부 FM layer의 고정, permalloy에 의한 FM layer의 spin회전의 도움, 각 layer의 기계적 보호를 위한 Ta layer등으로 구성되어 있다. 이들 각 층의 두께 및 layer의 상태는 MR(Magnet-resistance)등의 MTJ특성을 결정하는데 매우 중요한 역할을 수행한다.

DRAM과 비교하여 비슷한 구조(표 1 참조)와 빠른 응답속도를 가지고 있고, 상온에서의 높은 MR 비(~40%)와 MTJ의 절연층의 저항값과 오차 범위를 조정할 수 있는 기술이 도입되는 등 많은 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 메모리 실용에 아직 적용되지 않은 이유는 다음의 몇 가지의 문제점을 가지고 있기 때문이다.

MR비와 저항값이 비교적 양호한 특성을 보이고 있지만, 자화 반전이 일어나는 자기장은 아직 불균일 하다. 이에 따른 FM layer spin의 오작동과 자기적 creep에 의한 고장 문제, 그리고, CMOS 공정에서 실행하는 열처리에 따른 MTJ의 파괴 및 확산등이 그것이다.

자기장의 불균일은 MRAM의 기억 용량을 크게 하기 위하여 소자의 크기를 작게 하면 더욱 크게 발생하는데, 이는 자구(magnetic domain)에 의한 복잡한 자화반전 거동 및 식각공정에 의해 제조된 패턴된 소자 형상의 불균일성을 주요한 요인으로 추정하고 있다.

또한 400°C이상의 열처리 공정에 의한 MTJ 내부의 확산으로 인한 MR 비의 저하 또한 개선해야 할 문제이다. 절연층의 산화 방법 및 확산 방지막을 형성하는 등의 연구를 통해 고온에서의 열적 안정성 문제 해결을 위해 노력하고 있다.

그러나, 앞서 말한 문제점들은 많은 연구를 통해서 많이 개선되어 지고 있고, 2004년 IBM에서는 256Mbit급 MRAM을 출시할 것이라고 발표

하기에 이르렀다.

현재 자기저항 소자 및 이를 이용한 메모리 디바이스 연구를 주로 수행하고 있는 기관은 IBM, Motorola, Honeywell 및 Carnegie Mellon University(CMU) 등이 있다.

이들 기관 중에서 자기 터널링 접합소자를 이용한 MRAM의 개발은 Parkin 연구 그룹이 이끄는 IBM이 선두를 유지하고 있으며 다량의 특허를 보유/신청 중에 있다. Motorola도 GMR 및 TMR을 이용한 MRAM을 개발하고 있다.

Honeywell은 GMR을 이용한 MRAM을 연구 개발하고 있다. 이외에 미국 해군 연구소는 반도체 홀 소자를 이용하여 MRAM을 개발하였으며 이 방법은 Honeywell사로 기술이전 되었다. 그 밖에도 유수의 기업들이 MRAM의 개발에 전력을 다하고 있으나, 각 사의 개발수준 및 방향을 알아내기는 매우 어렵다. 이는 MRAM의 상용화가 머지 않았음을 반증하는 것이다. 상용화 직전의 기술은 외부에 공개하기 힘든 노하우이기 때문이다.

선진 각국의 MRAM의 선두는 미국이라고 볼 수 있고, 특히 MRAM이 우주항공분야에 필수적이라는 상황이 있었다. 독일과 일본을 중심으로 기초연구가 진행되고 있는데, 모두 거액의 국가 과제로 지원이 되고 있으며 '99년 말부터 진행되고 있다

국내의 연구동향은 디바이스의 종합적인 설계 보다는 부분적인 성능 평가에 중점을 두고 연구를 하고 있다. KAIST, KIST, 한양대, 고려대, 숭실대 등에서 MTJ에 대한 연구를 진행하고 있다.

MRAM의 기본 구조에 관한 설계 및 공정에서 한국은 뒤늦게 출발하였으나, 테라급 나노소자개



발 프론티어 사업의 일환으로 KIST와 현대전자, 삼성전자 및 다수의 대학 연구팀이 연구개발에 참여하는 등 점점 관심이 집중되고 있는 상황이다. 국내의 반도체 기업, 학교 및 연구소는 MRAM의 기억 소자에 해당하는 자기 터널링 접합소자 연구와 반도체 공정의 기반 기술이 확보되어 있으므로 조속한 MRAM 기술 개발의 가능성을 시사하고 있다.

### 결론(시장 전망)

정보저장기기는 현재 컴퓨터를 비롯하여 비디오, 오디오, 캠코더 등에 매우 광범위하게 사용되고 있으며, 향후에는 디지털 TV 등의 가전용 AV 시스템, 홈 멀티미디어 서버, 의료용 영상을 비롯하여 개인 휴대 통신기기에 이르기까지 정보산업 전 분야로 그 응용범위가 크게 확장될 것으로 전망되고 있다. 이들 정보산업이 발달할수록 급격하게 증대되는 정보량에 대응하기 위해서는 대용량 초고속의 정보저장기기에 대한 요구는 더욱 확대될 것으로 판단된다.

특히 마이크로 PDA(Personal Digital Assistant), 휴대폰, 디지털 카메라 등과 같은 휴대 정보기기에 내장될 수 있는 초소형의 정보저장 기기에 대한 수요는 급증할 것으로 전망됨에 따라 이들 정보저장기기의 소형화 및 저가격화의 필요성이 크게 대두되고 있으며 향후 이러한 휴대기기에는 MRAM과 같은 칩형의 비휘발성 메모리소자가 이용될 것으로 예상된다.

이와 같이 소형의 정보저장기기가 정보산업 전반에 미치는 경제적 및 산업적 파급효과가 매우 크기 때문에 선진 각국이 앞 다투어 이 분야에 대한 기술경쟁에 범 국가적으로 총력을 기울이고

있다.

정보저장기기의 세계시장은 1998년에 약 740억불 규모로 연 17% 정도로 시장규모가 성장하여 2003년경에는 약 1,300억불 정도가 될 것으로 전망되고 있다. 이중에서 HDD가 현재 약 400억불 규모의 시장을 형성하고 있고 소형 정보기에 사용되는 플래시 메모리는 약 30억불 규모이다. 이들 정보저장기기 시장 중에서 현재 주요 정보저장기기로 사용되고 있는 드라이브형의 HDD를 비롯하여 플래시 메모리 등 대부분의 정보저장기기가 향후 MRAM으로 대체될 것으로 예상되며, 따라서 MRAM의 기술개발은 현재 국내의 반도체 산업이 수행해 온 역할을 대신할 수 있는 유일한 대안이 될 것으로 판단된다.

MRAM 구현을 위하여 향후 개발되어야 할 핵심기술로는 자기 소자 제조 기술, 자기 소자의 자화반전 제어기술 및 기존의 반도체와 자기 소자를 효율적으로 집적화 하는 공정기술을 들 수 있을 것이다. 이와 같이 MRAM은 가장 유망한 차세대 칩형 비휘발성 메모리소자로서 향후 각종 휴대기기를 포함한 거의 모든 정보기기의 정보저장 소자로서 사용될 것으로 전망된다.

따라서 현재 기술적 우위를 확보하고 있는 국내 반도체 공정기술과 MRAM의 핵심 소자인 MR 소재, 소자 및 공정의 핵심 원천기술의 국내 개발을 통해 차세대 비휘발성 메모리 소자인 MRAM을 개발함으로써 국내 정보기기 산업의 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

윤종승 편집위원 csyoon@hanyang.ac.kr