

## 강유전체 메모리 기술 현황 및 전망

유 병 곤, 유 종 선, 이 원 재, 김 보 우  
한국전자통신연구원 회로소자기술연구소

### I. 서 론

멀티미디어 시장의 점차적인 확대와 생활패턴들을 원점으로부터 새롭게 고쳐야 될지 모르는 시대에 정보통신기반과 각종 infra structure-electronics 산업과 관련한 급격한 환경변화는 필연적으로 LSI 전자부품의 비즈니스 전략의 전환을 가져와 소자 개발 개념에 극적인 변화를 가져오고 있다. 소자에 있어서 단적인 변화의 표출은 '미세화'로부터 다양한 '기능 메모리'의 추구하고 더불어 지금까지의 DRAM으로 '사람의 두뇌 실현'하는 것으로부터 '감성 증폭 장치'로서의 개념 전환이다. 21세기를 목전에 두고 기존의 패러다임의 붕괴와 새로운 창조의 시대를 맞이하여 멀티미디어 사회를 실현하는 전략 소자로서 강유전체 메모리가 급격히 대두되고 있다[1].

특히, 반도체 기술이 발전함에 따라 휴대형 정보 기기의 확산이 급진적으로 이루어지고 있다. 일상 생활에서 쉽게 눈에 띄게 된 휴대형 전자 기기의 하나가 바로 스마트 카드이다. 현재까지 일반에게 널리 보급된 것은 磁氣 띠 (magnetic stripe)를 부착한 전화 카드와 신용 카드이다. 그러나, 보다 많은 정보를 저장하고, 보다 빠르게 정보를 바꾸며, 보다 향상된 보안성을 가지고 사용하게 되기 위해서는 현재의 磁氣 카드로는 한계가 있으며, 따라서 IC를 내장한 스마트 카드가 필연적으로 대두하게 된다. 이 IC에 사용될 내장 메모리로서 강유전체 메모리 (FRAM: Ferroelectric Random Access Memory 또는 FeRAM)가 부상하고 있다.

본 논문에서는 강유전체 메모리 기술 현황, 강유

전체 메모리의 용도, 시장, 기술 개발 및 생산 현황, 향후 전망에 대하여 다루기로 한다.

### II. 강유전체 메모리 기술 현황

#### 1. 개 요

롯셀염이 강유전성, 즉 '전장에 의하여 분극을 일으키고, 전계를 제거한 후에도 그 분극 상태를 유지하는' 성질이 발견된 것은 각국이 라디오 방송을 시작할 무렵인 1921년으로 지금으로부터 77년 전의 일이다<sup>[1]</sup>. 이후 수많은 강유전 물질이 발견되었으나 실제 응용에 가능성을 보인 것은 반도체 기술이 성숙기에 접어든 80년대 말 경이다.

1970년대 초에 스탠포드 대학과 웨스팅하우스에서 강유전체를 메모리 소자에 적용하는 연구를 하였고<sup>[2,3]</sup> 이후 몇몇 연구 기관에서 간헐적으로 강유전체 메모리 소자에 대한 연구 결과를 발표하였으나, 실제 메모리 칩에 적용하지는 못하였다. 그 주된 이유로는 강유전 물질을 실리콘 반도체 표면에 형성하였을 때 계면과 양호하고 안정된 강유전 성질을 유지할 수가 없었기 때문이다. 특히, 트랜지스터의 소오스와 드레인을 형성하기 위하여 900°C 이상의 고온 열처리를 하면 구성 물질의 휘발이나 실리콘과의 반응으로 인하여 강유전성이 심하게 열화하고, 또한 게이트 패턴을 형성할 때 식각 손상에 의해서도 열화한다. 아울러 기존 반도체 공정과 양립성이 떨어져 제품 수율이 낮은 것도 한 이유이다.

그러나, 재료 기술과 박막 기술의 향상과 더불어

DRAM의 제조 기술이 완숙기에 접어든 1980년대 말에 기존의 DRAM 셀 구조를 이용한 강유전체 메모리가 발표된 것과<sup>[4]</sup>, 1992년 미국 심메트릭 (symmetric)사에 의해 발명된 읽기/쓰기 횟수를 획기적으로 향상시킨 강유전체 재료 Y1[SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>]의 발표에 의하여 전기가 마련되었다. 1994년 마쯔시다(Matsushita)가 256k메모리를 Y1재료를 도입하여 실현하면서 고집적화의 길을 개척하였다. 더욱이 1995년에는 NEC로 부터 1M의 강유전체가 발표되어 미래의 메모리를 염두에 둔 개발에 박차를 가하고 있다.

또한, 최근에 강유전체 메모리의 새로운 응용분야가 열리고 있다. 즉 IC카드에의 강유전체 메모리의 탑재이다. 이러한 움직임은 credit card, private card, security card등의 각종의 카드가 범람하고 있는 카드회사의 변혁과 관계가 깊다.

지금까지의 카드는 상호 금융시스템과 결제방식의 차이, 데이터와 인식 코드의 물리적 상호성이 없는 등의 편의성의 문제, 더욱이 불법 복사 및 변조, 개조 등의 보안상의 면에서 심각한 문제를 안고 있다. 이 해결책으로써 현재 가장 기대되고 있는 것이 IC 카드를 사용한 전자 화폐이고, 보안 관리이다. IC 카드에는 내장의 micro controller로부터 access가 부여되지 않으면 외부로부터 데이터 메모리에 access하는 것은 불가능하다. 이 때문에 높은 보안성 확보가 가능하다. 또 복잡한 정보를 취급하기 때문에 credit card와 전자 화폐 등, 복수의 데이터 처리 기능을 한 장의 카드에 통합할 수 있다.

FRAM 기술은 한 단계 발전하여 1990년대 중반에 소/중용량 FRAM 제품이 시장에 선을 보였다.

2. 강유전체 메모리 특성

강유전체 메모리는 휘발성 메모리인 RAM과 불휘발성 메모리인 ROM의 양면성을 갖고 있다 (<표 1> 참조). FRAM 공정의 미세화의 수준이 DRAM에 미치지 못하여 동작 속도는 상대적으로 떨어지나, 정보를 다시 써넣기까지 지워지지 않기 때문에 refresh해줄 필요가 없다. 한편 EEPROM

에 비해서는 저전력이며, 반복 쓰기 횟수가 월등한 점이 FRAM의 장점이다.

강유전체 메모리 소자의 기본 구조는 크게, 단일 트랜지스터-형 (FET-type), 부유 게이트 삽입-형

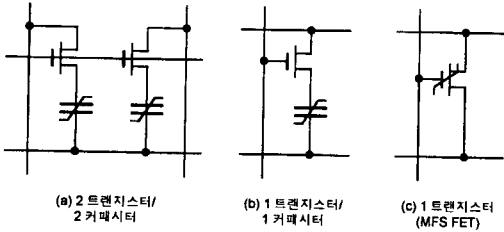
<표 1> FRAM의 특징

항목 명칭	백업 전원	데이터 유지 시간	Read · Write 시간	Write 횟수	전원 전압	소비 전력
SRAM	要	-	10 ~ 20ns	∞	2.5 ~ 3.3V	가 장 적음
DRAM	要	-	30 ~ 50ns	∞	2.5 ~ 3.3V	Refresh 필요
EEPROM /플래시	無	10년	100μs ~ 1ms	10 <sup>5</sup>	3 ~ 12V	Write 시 12V
FRAM (Capacitor)	無	10년	~ 100ns	10 <sup>12</sup>	3.3 ~ 5V	Refresh 필요
FRAM (FET)	無	10년	~ 100ns	10 <sup>12</sup>	2.5 ~ 3.3V	Refresh 불필요

(MFMISFET-type), DRAM-형의 3가지로 나눌 수 있다. 앞서 설명한 대로, 실리콘과의 정합성이 좋은 강유전 물질이 개발된다면 단일 트랜지스터-형은 가장 공정이 간단하고, 또한 정보 읽기가 비파괴적이어서 소자의 장기적인 신뢰성이 향상되는 장점이 있다. 그러나, 아직 강유전 재료와 메모리 셀 어레이 기술이 제품화 수준에는 이르지 못하였다<sup>[5,6]</sup>. DRAM-형은 기존의 반도체 기술을 활용한다는 점에서 가장 상업성이 높은 제품으로서 256K FRAM이 상품화되었다. 기존의 DRAM 구조 기술, 공정 기술, 메모리 셀 어레이 기술을 활용할 수 있으므로 주요 FRAM 제조업자들은 이 구조를 채택하고 있다. 초기부터 현재까지는 정보 감지가 쉬운 2T/2C-형을 취하였으나, 앞으로는 집적도 측면에서 유리한 1T/1C-형이 주류를 이룰 것이다. 이 구조의 단점으로는 MFMI-와 FET-형에 비하여 셀 면적이 크고, 정보를 읽은 뒤 커패시터에 저장된 전하가 소실되어 재충전(refresh)

해주어야 하는 단점이 있다. 한편, 부유 게이트 삽입-형은 단일 트랜지스터-형과 DRAM-형의 장점을 절충한 것으로 실용화 단계에 진입한 구조 기술이다(그림 1).

소자의 구조에 따라서 강유전체 재료는 특성을 달리한다. 먼저, DRAM-형 구조의 커패시터에 적



〈그림 1〉 강유전체 메모리 셀의 기본 구조

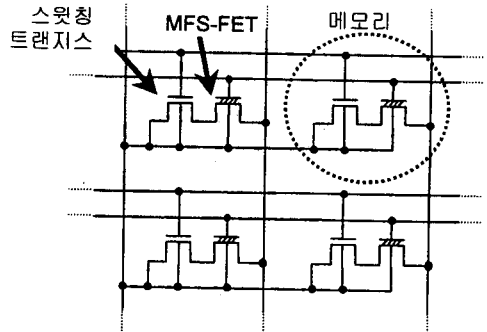
용하기 위해서는 메모리 셀에 요구되는 최소한의 저장 용량 값인 25 fF 이상이 필요하다. 재료로는 우선 강유전성이  $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$  이상으로 커야 하고 상유전성은 높더라도 적용에 문제가 없다. 그러나 MFMS와 MFS 트랜지스터에 적용하기 위해서는 강유전성이  $0.1\mu\text{C}/\text{cm}^2$  보다 크면 되는 반면에, 상유전성, 즉 비유전율은 작을 수록 유리하다. 따라서 커패시터용 강유전체로는 잔류분극이  $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$  이상인  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  (PZT) 또는  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT) 등을 적용하고, MFMS-FET에는  $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$  (SNO),  $\text{Sr}_2(\text{Ta}_{1-x}\text{Nb}_x)_2\text{O}_7$  (STNO) 등이 이용된다<sup>[7]</sup>.

### 3. 메모리 어레이의 구성

강유전체 메모리 셀의 구조가 DRAM-형이라면 기본적으로 기존의 DRAM 셀 어레이와 유사한 아키텍처를 이용할 수 있다<sup>[8]</sup>. 그러나 MFMS와 MFIS 트랜지스터-형 메모리 어레이에는 써닝기/읽기 시에 발생하는 셀 간의 전기적 간섭을 방지하기 위하여 셀 어레이에 부가적으로 스윙칭 트랜지스터를 사용하여야 한다<sup>[9]</sup>. 특히, 단일 트랜지스터-형 강유전체 메모리 소자는 단자가 3개 밖에 없기 때문에, 메모리 셀에 적용하기 위해서는 (그림 2)에서 보인 바와 같이 메모리 셀마다 추가적인 스윙칭 소자가 필요하며, 따라서 셀당 소요 면

적이 커질 수밖에 없다.

이를 해결하기 위한 방법으로, 읽기/쓰기의 전원 전압을 달리하고<sup>[10]</sup>, 쓰기 시에 선택되지 않은 셀의 소오스와 드레인 전압을 상승시켜, 비의도적인 쓰기가 일어나지 않도록 하는 것도 생각해볼 수도

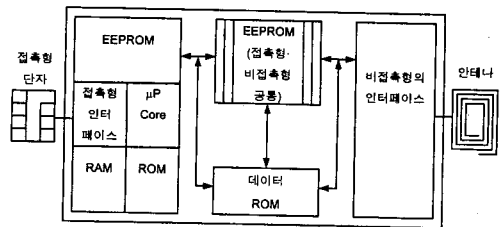


〈그림 2〉 FET-형 메모리 셀 어레이의 한 예

있으나, 회로를 제어하기가 쉽지 않다.

### 4. IC 카드의 구조

현재의 전화 카드와 현금 카드는 거의 자기 띠를 카드의 표면에 포장하여 접촉식으로 읽기/쓰기를 수행하고 있다. 따라서 기존의 카드 시스템을 활용하면서 신시장을 개척하기 위해서는 자기 띠와 IC 칩을 함께 내장하는 하이브리드 IC 카드를 시장에 출하한 다음 점차적으로 IC 카드화를 추진해나가야 한다. 스마트 카드는 회사마다 설계와 구조가 다르기는 하나 대개 IC 칩 내부에 마이크로프로세서, ROM, RAM과 EEPROM (또는 FRAM)을 포함하고 있다. (그림 3)에 독일 지멘



〈그림 3〉 독일 지멘스가 개발한 스마트 카드용 IC 칩의 구조<sup>[11]</sup>



〈그림 4〉 여러가지 스마트 카드

스가 97년 7월에 양산화한 스마트 카드의 내부 구조를 나타내었다. 데이터 읽기/쓰기를 위하여 접촉형과 비접촉형의 인터페이스 회로를 내장하였다. 향후 강유전체 메모리의 비용이 낮아지면 EEPROM을 대체할 것이다. IC 칩을 얇게 가공하여 기존의 카드 두께에 삽입하기 위해서는 패키지 기술이 요구되는데, 경쟁력을 확보하려면 아주 싼 비용으로 포장할 수 있는 제조 기술이 필요하다<sup>[11]</sup>.

### III. 강유전체 메모리 용도 및 시장

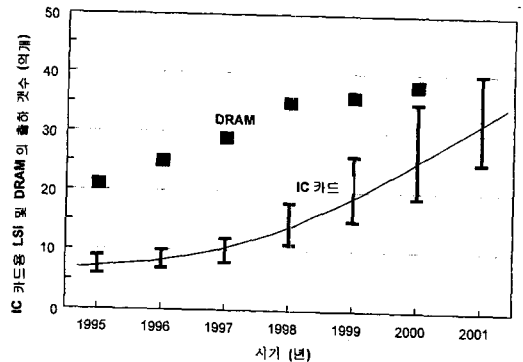
#### 1. 용 도

강유전체 소자는 불휘발성 메모리의 특성이 강하므로 기본적으로 현재의 불휘발성 메모리인 EEPROM과 플래쉬 메모리 (또는 Flash EEPROM)을 대체할 수 있으며, 아울러 고속 접속성에 의하여 SRAM이나 DRAM까지도 대체할 수 있다. 따라서, 스위치를 켜면 바로 사용이 가능

한 퍼스컴, IC 카드의 내장 메모리, 대용량의 메모리가 필요 없고 전지 사용등이 가능한 휴대정보기기용 메모리 즉, 휴대전화기용 또는 디지털 카메라의 메모리등에 응용이 가능하다<sup>[11-14]</sup>. 그러나, 아직 대용량화에 필요한 재료와 공정 기술이 성숙 단계에 접어들지 못하였기 때문에 대용량이 요구되지 않는 IC 카드 (또는 스마트 카드)에 응용이 집중되고 있다(그림 4).

#### 2. 시장 현황

IC 카드의 시장은 2001년에 갓수 면에서 DRAM에 육박하여 30억개에 이를 것으로 보인다(그림 5)<sup>[11-13]</sup>. 유럽, 일본, 동남아 등지에서는 이 시장이 크게 부상하고 있으나, 미국은 상대적으로 싼 통신 요금 정책 때문에 IC 카드의 보급이 늦어지고 있다<sup>[14,15]</sup>. FRAM은 카드 내부의 IC 칩의 내장 메모리이기 때문에 단일 제품으로서 금액으로 환산하기 어렵다. 칩 한 개의 단가를 3불 정도로 볼 때, 불휘발성 메모리는 0.5불 정도로 추산되며,



〈그림 5〉 스마트 카드의 시장 규모

따라서 총 수요액은 15억불 정도의 가치가 된다. 이 불휘발성 메모리 중에서 강유전체 메모리가 얼마나 차지하느냐에 따라 FRAM의 시장 규모가 달라진다. 또한, 강유전체 메모리 단독으로서 제품은 2001년 경 50억불 이상에 달하는 EEPROM (플래쉬 메모리 포함)의 시장을 어떻게 잠식하느냐에 달려 있다. 저전력과 고속의 기술적 측면에서는 FRAM이 EEPROM을 능가하나 아직 EEPROM

제품의 수출에 미치지 못한다.

### 3. 기술 개발 및 생산 현황

강유전체 메모리 개발은 주로 일본 회사들이 미국업체와 기술 제휴관계를 가지고 여러가지 형태의 공동개발 형태를 가지고 있다<sup>[16,17]</sup>. 우선 일본 롬(Rohm)사는 일찍부터 강유전체 메모리의 장래성을 보고 미국 램트론(Ramtron)사와 [FRAM(램트론사의 미국 등록상표)]의 개발, 제조, 판매에 관한 업무 제휴를 하여 강유전체 메모리를 개발하였다. 강유전체 메모리 FRAM양산 체제를 확립하여 16k 메모리 샘플 출하를 개시하였다. 플래시 메모리등과 같이 불휘발성이면서 읽기/쓰기 속도, 동작, 전압, 쓰기, 횡수 등에서 크게 우수한 FRAM은 '꿈의 메모리'로서 기대되고 있다. 금번의 롬 독자 기술을 구사하는 양산체제의 확립에 의하여 시장 요구에 의한 보충체제, 리드타임의 단축, 제조단가의 감소 등이 실현되었다. 또 롬사에 있어서의 FRAM은 보다 높은 부가가치를 가진 시스템 LSI을 생산하게 될 소재이기도 하여 IC카드 개발회사와 공동 개발한 IC카드용 칩은 이 FRAM을 내장하고 있다. 비접촉 IC카드의 실현을 가능하게 하여 정기관, 전화 카드, 전자화폐, 크레디트 카드 등에도 넓혀가고 있다.

롬사는 독자적으로 고집적화에 적당한 1트랜지스터형인, 보다 우수한 특징을 가진 차세대 강유전체 메모리 '궁극의 메모리' FFRAM의 개발에도 이미 성공하였다. FFRAM의 개발에 가장 큰 벽으로 된 것이 강유전체 박막형성의 어려움이다. 롬사는 강유전체 연구에 우수한 실적을 가진 경도대학에 연구원을 파견하여 개발에 걸림돌이 되고 있던 전극 문제를 직접 해결할 수 있는 이리듐(Iridium)전극을 개발한 것이다. 메모리 셀은 강유전체(PZT[Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>])을 이용한 불휘발성 강유전체 메모리[BR63F64F(메모리용량64kbit)와 [BR63F256F(메모리용량 256k)의 개발을 완료하였다. 이 제품은 97년 5월부터 샘플 출하를 개시하고 수주활동을 개시하여, 8월부터 양산을 시작하였다. 또한 증설 메모리 모듈을 위한 Windows95의 Plug & Play 기능 대응용 인터페

이스 IC로써 [BU9877FV]의 개발을 완료하였다. 이 제품은 이미 97년1월부터 샘플 출하(200엔/개)가 개시되었고 월 200만개 규모로 양산을 계획하고 있다. 또 INTAG사와 공동으로 FRAM을 내장한 항공 수화물 비접촉 Tag용 1 chip custom LSI의 개발로 0.5초 이내에 48장의 카드를 동시에 판독 가능하게 하였다.

일본 NEC사는 미국 심메트릭사와 장래의 고성능 메모리로서 기대되고 있는 메가비트급 강유전체 메모리(FRAM)기술의 공동연구, 개발에 관한 계약을 1996년에 체결하였다. 본 계약은 NEC사가 보유하고 있는 FRAM기술과 심메트릭사가 보유하고 있는 강유전체 재료 기술의 성과를 융합하고 공동으로 연구개발을 진행시켜 메가비트급FRAM 양산을 위한 실용화상의 문제점 해결과 대용량화를 위한 연구개발을 촉진하기 위한 것이다. 양사는 각각 FRAM의 멀티미디어 디바이스로서 장래성에 주목하여 독자적으로 기초연구를 행하고 있다. 지금까지 NEC사는 메가비트급 FRAM을 세계에서 처음으로 성공하였고, 또 심메트릭사는 강유전체의 재료의 최대의 과제인 히스테리시스 열화(피로 열화)를 해결한 재료[Y1]의 개발에 성공하였다. 그리하여 NEC사의 FRAM에 관한 「고밀도 메모리 LSI기술」과 심메트릭사의 Y1 재료기술을 조합하여 휴대용 멀티미디어 기기에 필수불가결한 고집적 고밀도의 FRAM조기 실현이 가능하다는 인식하에 공동개발을 추진하고 있다.

강유전체 IC카드 개발에 박차를 가하고 있는 또 하나의 회사는 마쯔시다(Matushita)사 이다. 마쯔시다사는 미국 모토롤라사(motorola)와 공동으로 전자화폐의 용도를 위한 세계 최초의 획기적인 강유전체 IC카드 개발에 성공하였다. 이것은 종래의 IC카드가 쓰기 횡수에 제한이 있고, 정보 통신 속도가 늦기 때문에 이동상태에서의 읽기 쓰기 등의 문제가 있는 성능을 비약적으로 향상시키는 데 성공하였다. 금번에 확립한 기술은 장래의 각종 용도에 적합한 IC카드의 기본으로 될 전망이다. 개발된 [ID256C]는 다용도에 사용될 수 있는 카드 사이즈의 비접촉 IC 카드이다. 256bit 강유전체 불휘발성 메모리 및 아날로그회로, 로직회로 등을 집적하

〈표 2〉 1Mbit 불휘발성 강유전체 메모리 칩제원

항목	제원
Process	1.0 $\mu$ m rule, 1stlayer aluminum CMOS
Cell size	6.2x5.6 = 34.72 $\mu$ m <sup>2</sup>
Chip size	15.7x5.79 = 90.9mm <sup>2</sup>
Voltage	3.3V
Access time	60ns
Cycle time	100ns
Drive current	50mA

고 있어, 칩 하나로 이동하면서 필요한 모든 기능을 내장하고 있다. 이 FRAM은 극히 저전력일 뿐만 아니라 읽기/쓰기 가능횟수가 EEPROM과 비교하여 크게 많아질 수 있다. 이 기술도 양산화에 박차를 가하고 있다. 그외에도 히다찌(Hitachi), 미쯔비시(Mitsubishi)도 연구 개발에 몰두하고 있는 것으로 나타나고 있다.

국내에서는 삼성을 중심으로 LG, 현대 등도 연구개발을 추진 중에 있는데, 97년에 삼성에서 커패시터형의 64k bit 강유전체 메모리 시작품을 출시해 놓은 상태이다.

#### IV. 장래 전망 및 결론

강유전체 소자는 소재의 개발이 MOS의 규소 산화막에 비하여 지연되어 제품화도 지연되었다. 따라서, 97년에 64M DRAM이 반도체 시장에 나온 데 비하여, 강유전체 메모리는 64K FRAM이 시장에 나왔다. 소재 개발이 늦어진 만큼 공정이나 메모리 아키텍처 기술도 그만큼 지연된 결과이다. 2000년대 초반까지는 FRAM이 메인 메모리로서 DRAM이나 SRAM을 대체하는 것은 불가능하며, 따라서 IC 카드의 내장 메모리에 주력하여야 한다. 기존의 IC 카드에 적용하기 위해서, 즉, 내장 메모리로서 EEPROM을 대체하기 위해서는, 강유전체 박막의 신뢰성을 높이고 제조 공정을 단순화하여 비용을 줄여야 강유전체 메모리의 우수한 성능을 활용할 수 있다. 따라서, 강유전체 소자의 시장을

확대하기 위한 향후 과제는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ◇ 박막화하였을 때 충분한 강유전성을 보이는 강유전 재료의 개발
- ◇ 식각, 고온 열처리와 습기등에 대하여 장기 신뢰성의 유지
- ◇ 기존 공정과의 정합성이 뛰어난 소자 구조 및 공정 기술의 개발
- ◇ 메모리 어레이와 주변회로의 배치 아키텍처 기술
- ◇ MOS 공정과 강유전체 소자의 공정 종합 시 제조 단계를 줄이고, 패키지 기술의 개발로써 IC 카드의 제조 비용 인하

이상과 같이 강유전체 메모리의 기술 현황, 강유전체 메모리의 용도, 시장, 동작 원리, 기술 개발 동향과 향후 전망에 대하여 살펴보았다. 강유전체 메모리는 경기의 부침이 심한 DRAM을 보완하여 반도체 시장을 창출하고 기존 반도체 제조 시설을 활용할 수 있는 장점이 있다. 아직은 소재와 공정 기술이 성숙 단계에 접어들지 못하여 1M비트 이하의 저용량 메모리로서 응용이 가능한 IC 카드에 용도가 집중되고 있으나, 스윗치를 켜면 바로 사용이 가능한 퍼스컴, 대용량의 메모리가 필요 없고 전지 사용등이 가능한 휴대정보기기용 메모리 즉, 휴대전화기용 또는 디지털 카메라의 메모리 등의 응용도 가능하므로 향후 DRAM, EEPROM과 플래쉬 메모리등을 대체할 잠재력을 갖고 있어 적극적인 연구와 개발이 필요하다고 본다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 川合 知二 著, 지워지지 않는 메모리- FRAM에 관하여-, 工業調査會(日本), 1996.
- [2] J. L. Moll and Y. Tarui, "A new solid state memory resistor," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 10, no. 9, pp. 338-339, 1963.

[3] S. Y. Wu, "A new ferroelectric memory device, metal-ferroelectric-semiconductor transistor," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 21, no. 8, pp. 499-504, 1974.

[4] W. I. Kinny, W. Shepherd, W. Miller, J. Evans, and R. Womack, "A non-volatile memory cell based on ferroelectric storage capacitors," IEDM Tech. Dig., pp. 850-551, 1987.

[5] E. Tokumitsu, R. Nakamura, and H. Ishiwara, "Nonvolatile memory operation of metal-ferroelectric-insulator-semiconductor(MFIS) FET's using PLZT/STO/Si (100) structures," IEEE Electron Device Lett., vol. 18, no. 4, pp. 160-162, 1997.

[6] J.-S. Lyu, B.-W. Kim, K.-H. Kim, J.-Y. Cha, and H. J. Yoo, "Metal-ferroelectric-semiconductor field-effect transistor for single transistor memory by using poly-Si source/drain and BaMgF4 dielectric," IEDM Tech. Dig., pp. 503-506, 1996.

[7] Y. Fujimori, N. Izumi, T. Nakamura, A. Kamisawa, and Y. Shigematsu, "Development of low dielectric constant ferroelectric materials for the ferroelectric memory field effect transistor," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 36, part 1, no. 9B, pp. 5935-5938, 1997.

[8] US patent 5,592,409.

[9] US patent 5,412,596.

[10] US patent 5,515,311.

[11] Nikkei Microdevices, 1997年 8月號, pp. 42-51.

[12] 月刊 Semiconductor World, 1998年 3月號, pp. 22-42.

[13] Nikkei Microdevices, 1997年 8月號, pp. 52-57.

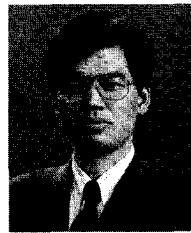
[14] C. H. Fancher, "Smart Cards," Scientific American, pp. 40-45, Aug. 1996.

[15] Card Technology, Mar. 1998, pp. 8-10.

[16] K. Sugibuchi, Y. Kurogi, and N. Endo, "Ferroelectric field-effect memory device using Bi4Ti3O12 film," J. Appl. Phys., vol. 46, no. 7, pp. 2877-2881, 1975.

[17] Private communication.

저 자 소 개



俞炳坤

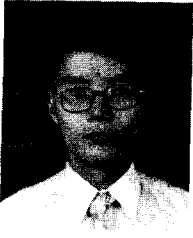
1957年 4月 18日生, 1984年 慶北大 物理學 學士, 1987年 東工大 核物理學 碩士, 1990年 東工大 核物理學 博士, 1991年 日立(HITACHI) 中央研究所 客員研究員, 1991年 3月~1995年 5月 韓國電子通信研究所 半導體研究團 前任研究員, 1998年 6月~현재 韓國電子通信研究院 回路素子研究所 強誘電體素子팀 장, <주관심분야: 강유전체 소자 및 공정 기술, 유전체 박막 형성 기술>



柳鍾善

1957年 1月 9日生, 1979年 2月 경북대학교 물리학과 이학사, 1981年 2月 KAIST 물리학과 이학석사, 1993年 2月 KAIST 물리학과 이학박사, 1981年 3月~현재 한국전자통신연구원 책임연구원, <주관심분야: 실리콘 반도체 소자 및 공정, SOI 소자 및 모델링, 강유전체 소자 및 응용, III-V족·II-VI족 표면 결정 성장 및 광소자>

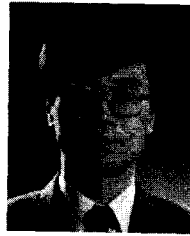
## 저자 소개



李元在

1967年 7月 30日生, 1990年 한국 과학기술대학 전자재료 學士, 1995年 한국과학기술원 재료공학 博士, 1995年~1997년 한국과학기술원 ECMRC/EMDEC 연구원, 1996年 미국 NCSU Post-Dr.,

1997年~현재 한국전자통신연구원 회로소자연구소 선임 연구원, <주관심분야: 강유전체 소자 및 박막 공정 기술>



金輔佑

1952年 8月 7日生, 1975年 부산 대학교 물리학과 졸업(학사), 1978年 부산대학교 대학원 물리학과 졸업(석사), 1978年~1981年 삼성반도체(주) 기술개발실, 1981年~1998年 현재 한국전자기술연구

소 모스기술연구실장, 한국전자통신연구원 반도체연구단 실장/부장, 1986年~1987年 동경대학 전자공학과 객원 연구원, <주관심분야: 단일 트랜지스터형 강유전체 소자 및 나노 소자 기술 분야 차세대반도체 노광장비 기술 분야>