FRAM소자의 제조 기술 현황

강 남 수
(현대전자 메모리 연구소 수석연구원)

1. 서 론

강유전체 물질은 이제까지 메모리 제조공정에 사용된 SiO_2, Si_3N_4, Ta_2O_5와는 달리 분극의 특성을 갖고 있어 확연히 다른 물질이다. 이 특성은 메모리소자 측면에서 많은 잇점을 갖고 있는 동시에 메모리 외에도 적용분야가 광범위하여 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

메모리에 적용하기 위한 연구는 1980년 말경 미국의 회사인 Ramtron Corp. 중심으로 시작되었으며 1990년대부터 FRAM개발이 성공되면서 일부 분야에서는 상품을 출시하고 있는 한편, 고집적 메모리의 기술개발이 진행되고 있는 상태이다. 그 동안, 여러 종류의 물질이 제안되어 왔으나, 최근에는 Lead계열의 PZT(=$PbZrxTi_{1-x}O_3$)와 Bismuth 계열의 SBT(=$SrBi_2Ta_2O_9$)가 가장 안정적인 특성을 보여, 현재는 이 물질들을 중심으로 메모리를 구현하고자 하는 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 반면에 특성의 한계 또한 있어 이 물질들을 대체하고자 하는 연구도 진행되고 있으며, 최근에는 서울대에서 Bismuth계열의 BLT(=$(Bi_{1-x}La_x)_4Ti_3O_{12}$) 물질을 개발하여 주목을 받고 있다.[1] 그러나, BLT 물질이 제품에 적용될 수 있기 위해서는 많은 연구와 시간이 요구되므로, 일단은 PZT와 SBT물질을 중심으로 메모리제품의 연구가 진행되고 있는 실정이다.

PZT계열의 제품개발은 Hitachi Corp.와 Ramtron Corp.을 중심으로 개발을 시작한 이래로 현재 국내에서는 삼성전자가 PZT 계열의 제품을 개발하고 있는 반면에, SBT계열의 제품개발은 Matsushita Corp.와 Symetrix Corp.이 공동으로 개발을 시작한 이래로 국내에서는 현대전자가 SBT계열의 제품을 개발하고 있는 중이다. 그리고, 강유전체 메모리를 칭할 경우 FRAM과 FeRAM이 동시에 사용되고 있는데, 전자는 Ramtron Corp.의 등록상표로서 PZT 계열의 강유전체 메모리를 칭하는 명칭이며, 후자는 Symetrix Corp.의 등록상표로서 SBT계열의 강유전체 메모리를 칭하는 명칭으로 통한다. 그리고, 우리나라의 기술 수준은 제품의 특성면에서나 고집적 기술면에서 FRAM기술 분야에서 세계적으로 선도적인 위치에 있다고 볼 수 있다. 이 분야에 대한 연구는 ISIF, IMF, ISAF, VLSI, IEDM, FMA...등의 국제학회에서 매 년 연구결과가 발표, 논의되고 있으며, 제품화에서 가장 주목을 받고 있는 학회는 ISIF(=International Symposium and Integrated Ferroelectrics)라고 할 수 있다.

이 논문에서는 강유전체 메모리의 특징, 구조 및 동작원리, 공정 기술의 현황 및 문제점, 개발 road-map, 제품기술의 수준 및 응용 분야, 제품개발현황 및 계획, 남은 기술적 과제...등에 대하여 간단히 언급하고자 한다

2. 본 론

첫째로, FRAM은, 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이, DRAM, SRAM, Flash, EEPROM의 특징상 취약점을 고루 보완하는 장점을 갖고 있다. 즉, 현재 반도체 기술개발의 견인차이자 메모리 시장에서 가장 큰 시장을 형성하고 있는 DRAM의 구조처럼 메모리 array에서 각각의 Cell에 random-access가 가능하다. 그리고, 읽어내는 기능에서도 각각의 Cell로부터 저장된 각각의 Data를 개별적으로 읽어 낼 수 있는 장점 또한 갖고 있어 메모리의 용도를 다양하게 사용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 한편, Flash 나 EEPROM과 같이 일단 저장된 data를 전력의 공급원이 끊어져도 보존할 수 있는 nonvolatile 특성을 갖고 있어 전력소모를 최소화 할 수 있다는 장점을 동시에 갖고 있다. 이러한 장점 외에도 DRAM이나 SRAM처럼 고속동작이 가능한 것이 특징이다. 이렇듯 메모리로서 이상적인 특성을 갖고 있어 꿈의 메모리라 일컬어 지고 각 국에서 개발에 박차를 가하고 있는 것이다. FRAM은 인해 현재 급팽창하고 있는 통신기기에 적용될 큰 장점을 갖고 있어, 향후, 경량화, 저전력화, 고기능을 요하는 multi-media기기에 응용이 가능하다.

둘째로, FRAM의 구조와 및 동작의 원리를 알아 보도록 하자.

먼저, 그림 1과 같이 강유전체 메모리는 메모리의 기본 단위인 셀의 구조면에서 DRAM의 구조인 1 transistor 과 1 capacitor(= 1T/1C)와 같은 형태를 구성하고 있다. 이러한 단위를 기본으로 하여 셀이 종으로 횡으로 array형태로 구성이 되어 data의 저장을 감당하는 메모리 block을 형성하고 있다. 그리고, 이러한 array중에서 어느 특정한 셀에 data를 기록하거나, 읽어내기 위한 기능을 수행하는 주변의 회로로 구성되어 있다.

이러한 구조를 기본으로 1개의 셀로 구성된 구조와 2개의 짝이 한 개의 셀을 형성하는 2T/2C의 구조 등이 있다. 반대로, 1 transistor 와 1 capacitor의 구조에서 지금은 직렬로

표 1. 강유전체 메모리의 특성 비교

평가항목	FRAM	EEPROM	SRAM	Flash	DRAM
Non Volatile	0	0	X	0	X
Power	0	Δ	Δ	Δ	X
Write Speed	0	X	0	X	0
Write Voltage	0	X	0	X	0
Write Endurance	0	X	0	X	0

서로간에 연결되어 있으나, capacitor가 transistor의 gate 위에 위치하는 Flash 구조와 같이 1 transistor구조로서 1개의 셀을 구성하는 1 Tr. 셀이 있다. 현재의 기술적 수준은 2T/2C가 제품화되어 있는 단계라 할 수 있다. 한편, 현대전자, 삼성전자...등에서 1T/1C구조의 제품을 개발중이다.

메모리의 동작은, 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 기본적 셀을 구성하는 capacitor의 물질과 특성면에서 DRAM과는 다른 특징을 보여준다. 기존 DRAM은 비 분극성의 (=nonpolarized) 물질을 사용하여 capacitor를 형성하므로, 위의 그림. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 외부에서 전원을 줄 경우 인가된 전원과 발생되는 전하간에 선형적인 상관관계를 갖고 있다. 이러한, DRAM에 data를 저장할 경우 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 plate에 일정 전압 (=1/2Vcc)을 항상 인가하고, 반대 전극에 0 V 혹은 Vcc전압을 인가하여 양단간에 전압차에 상응하는 전하를 유기시키게 된다. 이 유기된 전하(=Q)의 양이 각각 data 1 혹은 0에 해당된다. 저장된 data를 읽고자 할 경우 직렬로 연결되어 있는 transistor를 on시켜 저장되어 잇는 전하를 읽어내게 된다. 반면에, 강유전체 메모리에서는 분극특성을 갖는 물질이 Capacitor형성에 사용되기 때문에 발생되는 전하와 인가되는 전압과의 관계는 hysterisis curve의 관계를 갖게 된다. 이때 저장하고자 하는 data는 물질자체의 분극상태에 따라 D0혹은 D1으로 구분된다. 이때 분극특성은 물질 자체의 특성이며, 그 물질에 별도의 자극을 주지 않는 한 그대로

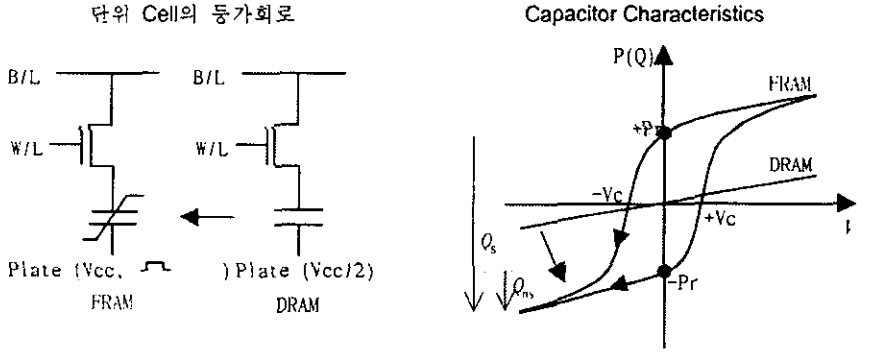


그림 1. 강유전체 메모리의 기본 구조의 등가회로 및 cap. 특성

보존되어 있는 속성을 갖고 있어, capacitor에 외부에서 전원을 인가해주지 않아도 입력된 data는 그대로 보존되어 있게 된다. 그래서, 메모리의 동작상 특징은 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이, plate전극에 고정전압을 인가해주는 DRAM과는 달리 plate전극에 pulse 신호를 인가하여 분극상태를 조절함으로써 저장된 data의 상태를 조절하게 된다. 그러므로, 강유전체 메모리는 기존의 DRAM과 달리 capacitor의 특성과 plate전극에 pulse 신호를 인가하여 구동 시킨다는 점이 특징이다.

셋째로, FRAM의 공정에 사용되는 기술현황 및 문제점을 간단하게 정리하겠다.

FRAM 제조 공정은 기존의 반도체 제품의 공정과 유사한 점이 많다. 즉, 반도체 제조공정을 전반공정(=Front)과 후공정(=Backend)으로 구분할 때, 전반 공정인 CMOS제조 공정은 기존의 반도체 제조 공정과 동일한 반면, CMOS제조 이후인 후 공정에서 다소 차이점을 갖고 있다. 이 차이점은 capacitor제조에 사용된 물질이 다르다는 점에서 비롯되는 것이다. 후 공정(=Backend)이라면 capacitor를 형성하는 공정, capacitor의 주변공정, wiring을 위한 metallization 공정, passivation 공정, package공정으로 이루어져 있다. 이러한, 각 공정은 물질의 적용으로부터 비롯되는 문제점을 극복할 수 있도록 구성되어져야 하므로 기존의 기술과는 근본적으로 다른 방향으로 형성되어 져야 한다. 다시 말하면, cap.형성이후의 공정에서 package까지 강유전체 cap.의 특성이 잘 보존될 수 있도록 필요한 기술적인 조치가 필요하다.

그리고, FRAM제작에 사용되는 기술은 일반적으로 다음과 같다. 즉, 반도체 제조기술은 크게는 박막형성, 식각 공정, cleaning공정, 열처리 공정으로 크게 나누어 볼 수 있다. 첫째로, 막질 형성에는 준비된 물질을 coating하는 Sol-Gel 공정이 일반적으로 적용되고 있다. 그 외, sputtering 방법도 일부 사용하고 있다. 그러나, 이러한 방법들은 고집적 반도체를 제조하기위한 박막형성에 기술적인 한계를 갖고 있으므로 대안으로 MOCVD기술이 연구되고 있으며 일부에서는 부분적으로 강유전체 *cap.*을 제작하여 특성을 발표하고 있다. 현재는 PZT, SBT모두 MOCVD의 가능성을 확인한 상태이며 다음단계로 기술을 성숙시켜야 하는 단계에 와 있다.[2, 3] 둘째로, 공정 중에 외부의 해로운 gas의 영향과 이물질로부터 capacitor의 특성을 보호할 수 있도록 TiO_2, Al_2O_3 보호막들이 개발되어 적용되고 있으며 형성방법으로는 sputtering이나 ALD(=atomic layer deposition)등이 사용되고 있다.[4] 셋째로, 강유전체 capacitor의 전극으로 백금이 주로 사용되고 있으며 sputter방법으로 형성되고 있다. 백금도 강유전체 cap.의 특성확보와 공정상에 문제점을 갖고있어 Ir(=Iridium), IrO_2(=Iridium oxide)와 같은 대체물질이 강유전체 메모리 제조에 채용되고있는 실정이다.[5, 6] 넷째로, 전극이 주변의 물질과 잘 접합되도록 Ti(=titanium)나 TiO_2(=titanium oxide)와 같은 적절한 접합물질(=adhesion layer)을 sputtering과 열 공정을 배합하여 형성되고 있으나, 공정 과정에서 취약점을 갖고 있어 대체물질에 대한 연구가 진행되고 있다. 마지막으로, 제조된 반도체 소자를 보호하기 위한 encapsulation layer로서 passivation layer에 통상의 구조인 SiO_2와 Si_3N_4의 복합구조가 사용되고 있다.

위에서 언급한 공정 개발 중에 고려해야 할 몇 가지 사항들이 있다. 첫째로, 식각과 같은 형성공정 중에 강유전체 막질의 조성에 손상을 입게되는 process damage, 둘째로, 제조공정 중 발생하는 이온화된 수소에 의한 강유전체 capacitor의 열화, 셋째, 주변의 막질의 과도한 stress에 의한 강유전체 특성의 변화...등이다. 그러면, 몇 가지 공정상 문제점을 알아 보자.

먼저, 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 이온화 된 수소에 의한 열화이다.[7] 이 영향을 최대한 배제할 수 있는 공정을 개발하는 것이 필요하다. 즉, 수소 중에서도 이온화된 수소가 강유전체 물질 속에 침투하여 화학적으로 불안정한 상태

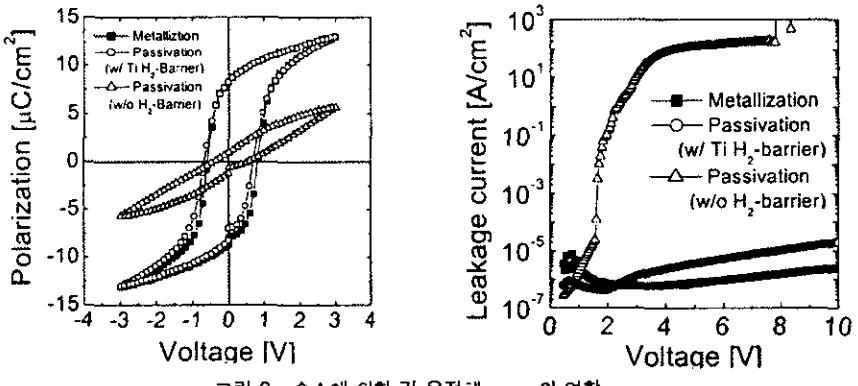


그림 2. 수소에 의한 강 유전체 cap.의 영향

에 있는 산소와 화학적인 결합을 이루어 강유전체 특성이 취약하게 되는 문제가 발생한다. 특히, 수소 분자가 백금과 같은 촉매체를 만나면 쉽게 이온화 되어 강유전체 특성을 더욱 약화시키는 문제가 있으며 특히 전극과 강유전체 물질의 계면 특성을 약화시킨다. 그리고, 공정 중 발생한 전하 및 plasma 영향도 적지 않다. 즉, 강유전체와 전극의 계면에 흡착되어 potential barrier의 높이를 낮추는 역할을 하게 된다. 즉, schottky barrier의 특성을 이루어야 할 계면의 특성을 ohmic성으로 시켜 분극활동을 약화시킴은 물론 누설전류가 증가하는 문제가 발생된다. 특히 기존의 반도체 제조 공정에서 즐겨 사용되고 있는 SiN막질 형성공정에서는 이온화된 수소가 다량으로 발생하고 있어 특성을 심각하게 열화시키는 문제를 갖고 있다. 그래서, 강유전체 기술 개발에 특히 주의 할 점은 이러한 이온화된 수소 및 공정중 발생된 전하가 강유전체에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 공정을 개발해야 하는 것이다.

그 외에도 식각 공정에서 발생하는 강유전체 물질의 조성에 변화를 일으켜, 손상을 입은 부위에서 강유전 물질의 특성을 잃어 버림은 물론 절연성인 막질이 전도성으로 변화되어 강유전체의 고유한 특성을 잃어버리는 결과가 초래된다. 강유전체 물질에 따라 다소의 차이는 보이지만 이러한 손상된 막질에 의한 특성의 열화는 공통적으로 발생하고 있다. 마지막으로, 강유전체 막질이 주변의 막질에서 느끼게 되는 stress에도 민감한 반응을 보이므로 공정의 최적화할 때에 stress의 조합 및 강유전체 cap.이 느끼게 되는 stress를 최적화할 수 있도록 조건을 맞추어야 가야 한다.

이러한 문제들로 인해 강유전체 특성이 열화되거나, 특성의 uniformity가 훼손되어 제품화에 어려움을 겪고 있다. 현대전자에서는 이러한 문제들이 거의 해결되어 제품화수준의 기술을 확보하고 있다.

넷째로, FRAM의 전반적인 개발 road-map은 다음과 같다.

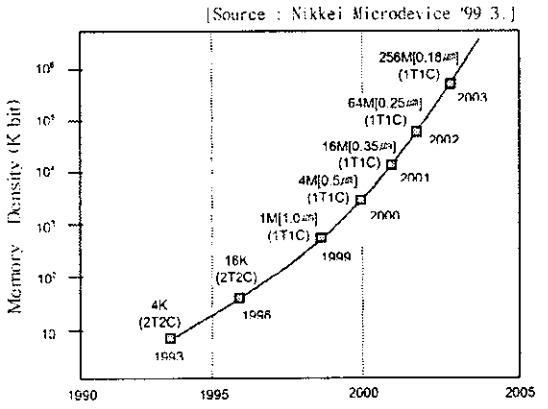


그림 3. 강유전체 메모리의 개발 진척도

표 2. 강유전체 메모리의 기술 현황

11/ 99 현재

비교항목	경 쟁 Device			
	EEPROM	Slow SRAM	Flash	DRAM
Design	0	0	X	0
Integration	0	Δ	X	X
Reliability	0	Δ	0	Δ
Cost	0	Δ	X	X

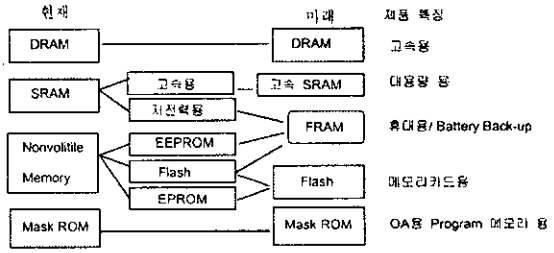


그림 4. FRAM의 메모리 분야의 응용 예상도

FRAM의 개발 현황은 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같다. 즉, 90년 초부터 FRAM 기술에 급진전을 보여 세계 각국에서 제품개발에 박차를 가해 오고 있다. 지난 96년 삼성전자에서 64k FRAM working sample[8]을 확보한 이래로, 98년 현대전자에서도 256k working sample을 발표하는 등 세계적으로 메모리 개발에 박차를 가하고 있는 상황이다. 최근에는 mega급 강유전체 메모리의 개발을 각 사별로 진행하고 있어 2000년인 올 해는 mega급 강유전체 메모리 기술도 확보될 것으로 예상된다. 현대전자에서도 기 확보된 신뢰성 특성을 기반으로 mega급 기술을 올해 내로 확보할 예정이며, 일본에서도 NEC, Hitachi, Matsushita, Fujitsu...등에서 활발하게 개발을 진행하고 있다.

다섯째로, FRAM의 제품기술의 수준 및 적용방향 어느 정도일까 ?

현재 FRAM의 제품 기술 수준은, 위의 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이, EEPROM은 상품화가 가능하여 이미 256K FRAM은 일부 시장에 출시된 상황이다. 그리고, 개발진척 상황을 볼 때 올해는 mega급 제품이 출시될 것으로 기대가 된다. 이렇게 일단 시장이 형성되어 관심이 증대되면 더욱 많은 투자와 노력이 투입되어 지금의 상황과는 달리 기술 개발에 급진전 보게 될 것이고 멀지 않은 시일에 Flash memory나 DRAM도 점차 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

또한, FRAM은 어떤 분야에 사용될 수 있을까?

FRAM을 적용할 수 있는 분야는, 그림 4, 5에서 볼 수 있는 것처럼, stand-alone memory와 logic분야인 2개 영역으로 나누어 볼 수 있다. 먼저, stand-alone memory 분야

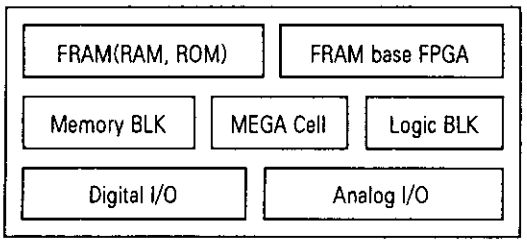
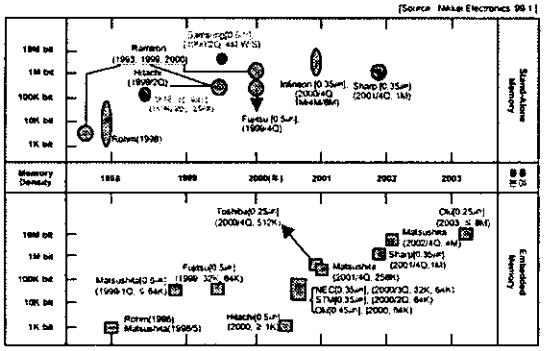


그림 5. FRAM Embedded Logic 제품의 설계 개념[9]

표 3. 각 사별 제품개발 현황 및 계획



에서의 적용범위는 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 광범위하다. 즉, 저전력, 고성능, 비휘발성의 장점을 살려 기존 system을 간소화, 경량화가 가능하고 소모전력도 적어 다양한 휴대용 통신기기에 광범위한 적용이 가능하다. 현재는 EEPROM을 대체할 수 있으며, 다음은 slow-SRAM 이나 초 절전형 Flash제품이다. 궁극적으로는 메모리의 모든 특성을 보완할 수 있는 장점으로 인해 FRAM한 개의 제품으로서 모든 메모리 시장에 대응할 수 있을 것으로 예상된다. 단지 남은 문제는 기술의 고도화와 응용분야의 개척이라 할 수 있다.

한편, FRAM embedded logic에서는, 그림 5와 같은 개념하에, FRAM이 logic회로와 동시에 사용된 제품을 가상할 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 Matsushita Corp.에서는 주유권이나 전자화폐...등에 현재 적용하기 위해 RF-ID card를 개발하여 상품화 하였으며 그 적용을 점차 다른 분야에 까지 확대해 나갈 예정이다. 그 외, 그림 5에서 볼 수 있는 것처럼, 현재 별도의 영역을 사용하고 있는 RAM기능과 ROM기능을 한 개의 FRAM으로 대체가 가능하여 간단하게 system을 구성할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한, 저전력, 비휘발성, 고속 동작도 가능하여 다기능으로 편리한 효율적인 logic 제품들의 적용이 가능하다.

여섯째로, FRAM의 개발 현황 및 향후 계획은 어떻게 전개되고 있을까 ?

전반적인 상황은 표 3과 같이 크게 2개 부분으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 즉, 메모리(=stand-alone memory)와 강유전체 메모리가 일부 적용된 logic제품(=FRAM embedded logic)으로 구분된다. 메모리제품으로는 PZT를 사용하여 특성면에서 다소 미흡한 점은 있으나 256k FRAM이 상품화 되어 시장에 나와 있는 상태이다. 한편, Embedded memory로서는 16k 미만의 용량을 제품화에 활용하고 있는 상태이며, 앞에서 언급한 Matsushita Corp.의 경우는 1k bit FRAM을 적용한 간단한 기능의 일예이다.

Logic제품으로는 기능에 따라 다양한 응용이 가능하다. 즉, RF-ID card, 다양한 MCU(=micro-controller unit), 휴대용 통신기기에 적용에 적절한 특성을 갖고 있다고 하겠다. 일례로, RF-ID card는 전자화폐, 각종 교통 Pass-card, 의료, 사회복지, 교육, 물류, 레저...등등에 응용이 가능할 것으로 예상된다. 특히, RF-ID의 일종인 교통용 passcard는 비 접촉형 교통 통행료 지불이 가능한 것이어서 고속도로의 tallgate비용 지불용을 사용한다면 빠른 속도에 비용이 처리가 가능하여 현재와 같은 tallgate주변에서의 교통 체증은 해소될 수 있을 것으로 판단된다. 그 외 용도는 참으로 다양하다.

마지막으로 FRAM기술에서 앞으로 극복되어져야 할 과제는 무엇일까.

크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫째는 고집적화를 위한 셀 구조 개발, 둘째는 고 신뢰성을 보장하기 위한 강유전체 형성 공정의 개선, 셋째, 고속의 data저장 및 판독을 위한 주변회로의 확보라고 할 수 있다. 먼저, 고집적화 셀의 구조개발에서는 현재 DRAM의 구조를 극복할 수 있는 셀 구조개발인데 궁극적으로는 1 Tr. cell을 확보해야 할 것으로 예상되며, 구동방식에 대한 기술 및 설계기술의 확보가 필요하다. 둘째로, 현재의 출시된 상품은 제품들은 특성면에서 기존에 메모리에 비해 다소 뒤진다. 그래서, 경쟁력있는 상품화을 위해서는 신뢰성에 결정적인 cap.구조 및 주변공정을 개선해야 할 것이다. 즉, stack-cell 구조, 3차원의 cap.구조...등 cap.의 구조와 균질한 막 형성 기술, 고 신뢰성의 전극 기술, PZT, SBT를 대체할 수 있는 물질 개발...등이 있다. 마지막으로, 현재, 메모리를 구동할 수 있는 기본적인 회로는 확보되어 있으나 신뢰성을 고려한 회로 기술이나, 고속으로 동작할 수 있는 회로 기술을 확보해야 한다.

3. 결 론

지난 80년 말부터 본격적으로 시작한 강유전체 메모리 개발은 256k FRAM을 상품화할 수 있는 수준까지 와 있다. 그러나, 시장에 출시된 제품들도 특성면에서 만족할 만한 수준은 못 되어 앞에서 언급한 문제들과 미흡한 점들을 보완하는 활동이 필요한 실정이다. 현재, 현대전자에서는 신뢰성

확보에 양호한 결과를 확보한 상태여서 특성면에서 좋은 제품이 가까운 장래에 시장에 출시될 것으로 예상된다. 그러나, 강유전체 메모리가 다른 메모리를 대체할 수 있으려면 고집적 메모리를 구현할 수 있는 기술들이 확보되어야 한다. 그러기 위해서는 보다 많은 관심과 투자가 병행되어야 할 것이며, 분야별로 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 지금도, 전 세계적으로 고집적용 셀기술, 주변회로 기술, MOCVD, Etch기술, 신뢰성 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되어 결과가 발표되고 있다. 독일에서 금년에 개최된 ISIF학회에서는 예년과 다르게 많은 연구원들이 참석하여 많은 연구 결과들을 발표하였으며 우리나라에서 현대, 삼성, 서울대...등 기업체와 대학연구소에서 좋은 논문들을 많이 발표하였다.

우리나라에서 95년 이후부터 기술 개발을 착수한 이래로 제품기술 확보에 많은 진전이 있어서, 제품 기술이나 강유전체 신뢰성기술 면에서 우리나라가 세계적으로 선도적인 위치에 있다고 할 수 있다. 이러한 기술을 기반으로 조만 간에 양호한 제품이 시장에 선 보일 수 있을 것으로 예상되며 앞으로 2-3년간 FRAM을 활용한 다양한 제품이 상용화되는 중요한 기간이 될 것으로 판단된다.

References

[1] B. H. Park, T. W. Noh, B. S. Kang and S. D. Bu, "Searching for New Materials for FRAM Application," p.26, Abstract of ISIF 2000.

[2] T. Y. Kim, D. S. Kim and C. W. Chung, "Effects of Electrode on PbZrxTi1-xO3 Thin Films Prepared by Metal organic Chemical Vapor Deposition," pp. 6494-6499, Vol.36, Jpn J. Appl. Phys., 1997

[3] S. Narayan, L. McMillan and C. Paz Araujo, F. Schienle, D. Burgess, J. Lindner, M. Schumacher and J. Juergensen, K. Uchiyama and T. Otsuki, "Metal-Organic Chemical Vapor Deposition and Characterization of Strontium Bismuth Tantalate (SBT) thin films," p.88, Abstract of ISIF 2000

[4] I. S. Park, Y. K. Kim, S. M. Lee, J. H. Chung, S. B. Kang, C. S. Park, C. Y. Yoo, S. I. Lee, M. Y. Lee, "Ultra-thin EBL(=Encapsulated Barrier Layer) for Ferroelectric Capacitor," p. 617, IEDM, 1997

[5] S.R. Gilbert, J. Amano, T. S. Moise, S.R. Summerfelt, G. Xing, L. Colombo, and T. Sakoda, "Reliability and Switching Characteristics of Sub-Micron IrOx/MOCVD Pb(Zr, Ti)O3/Ir Capacitor," p.30., Abtaract of ISIF 2000

[6] G. R. Fox, Shan Sun, and Tomohiro Takamatsu, "Properties of Reactively Sputtered IrOx for PZT Electrode," p. 116, Abstract of ISIF 2000.

[7] K. Kushida, H. Miki, K. Torii, and Y. Fujisaki, "Ultra-thin EBL(Encapsulated Barrier Layer)for Ferroelectric Capacitor)" Appl. Phys. Lett. 69, pp. 3188, 1996

[8] D. J. Jung, N. S. Kang, S. Y. Lee, B. J. Koo, J. W. Lee, J. H. Park, Y. S. Chun, M. H. Lee, B. G. Jeon, Chun, S. I. Lee , T. E. Shim and C. G. Hwang, "1T/1C Ferroelectric RAM using a Double-Level Metal Process for Highly Scalable Nonvolatile Memory." Sym. On VLSI Tech. Papers, pp.139-140, 1997

[9] FRAM IC Card 기술, 서론, p.20

저 자 약 력

성명 : 강 남 수

❖학력

1981년 : 서강대 졸업

1983년~1990년 : Arizona State University 석사 , 박사 취득

❖경력

1991년~1994년 7월 :삼성전자 반도체 연구소 선임연구원

1994년 8월~1998년 1월 :삼성전자 반도체 연구소 수석연구원

1998년 2월~1998년 8월 :Symetrix사(미국) Project Director

1998년 8월~현재 :현대전자 메모리 연구소 수석연구원

✙ E-mail: nskang@unitel.co.kr