

플래시 메모리의 응용과 향후 전망

서 강 덕

삼성전자 반도체 메모리본부

I. 서 론

1980년대말에 개발된 플래시 메모리(Flash Memory)는 가격과 기능에서 EPROM의 low cost, EEPROM의 on-board re-programmability의 편리성 등 기존의 불휘발성 반도체 메모리들의 주요 장점을 특화시킨 메모리이다. 특히 플래시 메모리는 메모리셀 구조가 DRAM 보다 간단하여 쉽게 고집적화를 이룰 수 있어 대량생산을 할 경우 DRAM 보다 가격을 낮출 수 있는 장점이 있다. 응용적인 면에서는 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있는데 첫째는 기존의 EPROM 응용의 대체로 on-board re-programmability의 장점으로 더욱 다양한 system solution을 제공할 수 있게 된다. 둘째는 수십, 수백 mega byte의 소형 하드디스크(HDD)응용이다. 플래시 메모리는 가격과 성능에서 기존의 반도체 메모리와 마그네틱메모리의 중간적 위치에 있다고 할 수 있다. 마그네틱테이프, 하드디스크, 플로피디스크 등으로 대표되는 마그네틱 메모리는 불휘발성, 대용량, 저가격으로 특징 지워지며 영상매체, 음성매체, 컴퓨터 보조기억장치 등에 광범위하게 이용되고 있다. 반면 DRAM, SRAM으로 대표되는 반도체메모리는 고속동작, 높은 신뢰성, 輕薄短小 등의 장점으로 컴퓨터를 비롯한 각종 정보기기들의 핵심부품으로 사용된다. 플래시 메모리는 반도체메모리이면서도 데이터 변환속도가 빠른 불휘발성이라는 중요한 특징을 갖고 대용량, 저가격화가 기존의 반도체메모리보다 용이하다는 점에서 기존의 반도체메모리와 마그네틱메모리가 구현하기 어려운 새로운 기능 및 응용을 제공할 수 있게 된다. 가장 대표적인 예로는 Palm-Top computer에서 보조기억장치를 HDD대신 고집적 플래시 메모리로 만든 silicon-disk로 사용하는 것으로 輕薄短小 구현은 물론 전지 사용시간 증가, 부팅시간 감소 등의 여러 가지 장점들을 갖게 된다.

플래시 메모리의 시장형성은 90년대 초반에는 1M, 2M 등 저용량 제품 위주로 이루어졌으며 주 응용은 PC BIOS 격납용 등의 EPROM 대체용이

었다. 90년대 후반에는 인터넷, 휴대전화 등의 유무선통신의 급속한 보급으로 8M, 16M 수요가 급증하였다. 이와같이 90년대의 플래시 메모리시장은 시스템 유틸리티를 위한 시스템코드 저장용을 위주로 성장을 지속하고 있다. 이에 따라 system solution능력을 보유한 미국의 Intel, AMD 두개의 CPU 제조업체가 플래시 메모리 시장을 주도하고 있는 실정이다.

한편 미국의 SanDisk, 일본의 Toshiba, NEC, Hitachi, 한국의 삼성 등은 PC의 외부 기억장치인 HDD를 silicon-disk로의 대체를 목표로 90년대 초부터 high density 플래시 메모리 기술개발을 가속화하여 현재에 이르러서는 64Mb 제품을 생산할 수 있는 수준에 도달하였다. 그러나 90년대 전반기에 PC의 고성능화로 인한 응용소프트웨어의 대형화, HDD의 대용량화로 당초 예상과는 달리 HDD와 플래시 메모리의 코스트차이가 좁혀지지 않았고, Apple의 Newton으로 대표되는 handheld PC인 1세대 PDA(Personal Digital Assistant)의 실패 등의 이유로 대용량 플래시 메모리의 시장은 크게 형성되지 않았다. 대신 낮은 bit-cost의 강점으로 디지털카메라, voice recoder 등의 신규 응용을 바탕으로 시장이 서서히 형성되기 시작하였으며 최근에는 PC와의 호환성이 있는 Window-CE를 OS로 하는 HPC의 개발 등으로 고용량 플래시 메모리의 응용범위도 점차 확대될 전망이다.

본 논문에서는 플래시 메모리의 다양한 응용을 소개하고 향후의 플래시 메모리의 기술동향, 시장 전망등에 대하여 고찰하고자 한다.

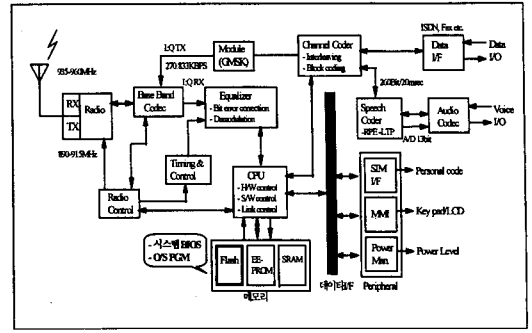
II. 플래시 메모리의 응용

플래시 메모리의 응용을 이해하는 데는 먼저 그 동작 방법과 특징에 대한 몇 가지 기초적인 이해가 필요하다. 먼저 플래시 메모리가 다른 메모리와 크게 다른 점은 메모리 데이터의 변경 방법이다. DRAM, SRAM등은 WRITE mode에서 입력번지

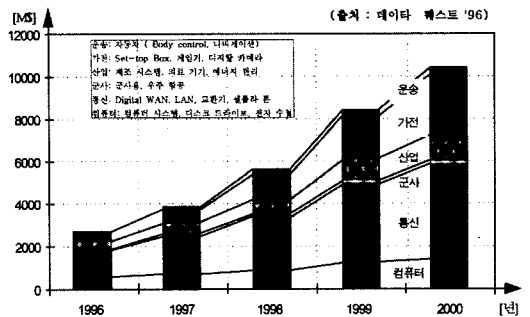
(address)를 지정하고 동시에 byte 또는 word 단위의 데이터를 입력(write)하는 간단한 동작으로 이루어지나 플래시 메모리의 메모리 데이터 변경은 ERASE동작과 PROGRAM동작으로 나누어 이루어진다. ERASE는 플래시 메모리 cell의 floating gate에 프로그램되어 저장된 전자(electron)를 Fowler-Nordheim (F-N) tunneling 방식으로 방출시키는 동작이며 ERASE된 cell들은 데이터 값이 모두 "1"으로 바뀌게 된다. ERASE는 BLOCK(또는 SECTOR)단위로 이루어지며 BLOCK 크기는 최소 512byte에서 최대 64Kbyte이며 각 회사의 cell 기술에 따라 다르다. ERASE동작은 짧게는 수 msec에서 수 sec로 매우 긴 시간을 필요로 하며 ERASE 된 cell은 READ 때 도통된 상태에 놓여 전류를 흘리게 된다. 반면에 PROGRAM 된 cell은 단락 상태가 되어 READ 때 전류를 흘리지 않는다. PROGRAM 동작은 hot carrier injection 방식과 F-N tunneling 방식의 두 가지 방법이 있으며 속도는 byte당 수 μ sec이다. 메모리 cell에 저장된 데이터를 읽어내는 read 속도도 사용되는 기술에 따라 다르다. 또 하나 플래시 메모리의 큰 특징은 메모리 데이터의 변경회수가 제한 받는 것이다. 이를 ENDURANCE라고 하는데 대략 BLOCK당 수십만 번 정도이다. 허용된 ENDURANCE 이상 사용하게 되면 PROGRAM 및 ERASE 속도가 급속하게 늘어나고 데이터 보존능력도 크게 저하될 수 있다. 플래시 메모리의 구동이 위와 같이 ERASE, PROGRAM 그리고 READ의 세가지 기본 mode로 이루어지고 데이터 protection 기능, interrupt 기능 등의 보조적인 기능이 필요하게 되어 COMMAND 입력으로 각각의 mode를 구별 동작시킨다. 사용하는 cell 기술에 따라 동작시간, BLOCK 크기, ENDURANCE 등이 다르기 때문에 사용자 사양(user specification)도 달라지며 응용도 그에 맞추어 시스템에 따라 구분되는 경향이 심화되고 있다. 주요 플래시 메모리 제조 회사는 메모리 직접도를 향상시키는 것 외에도 자사 제품의 차별화를 위해 새롭게 등장하는 응용에 보다 특화된 제품 개발을 속속 내놓고 있다.^[1,2]

응용 범위는 크게 code 저장용과 데이터 저장용의 두 가지로 나누어지며 현재는 code 저장 응용이 시장의 대부분을 차지하고 있다. code 저장 응용은 플래시 메모리가 system의 CPU에 직접 interface되어 system 운용에 필요한 OS 같은 핵심적인 정보를 저장하고 있으며 PC BIOS가 대표적인 응용이다. 일단 system에 탑재된 이후에는 upgrade 할 때를 제외하고는 code를 개서할 경우가 없으므로 endurance에 대한 요구 수준이 높지 않은 반면 데이터의 신뢰도가 매우 중요하다. 또 급격히 향상되는 CPU의 성능을 저하시키지 않기 위하여 READ 속도에 대한 고속화 요구가 강하며 CPU가 플래시 메모리 array를 random 하게 access하여도 READ 속도가 빨라야 한다. Intel, AMD가 채택하고 있는 NOR형 cell은 단위 cell 당 흐르는 전류가 커서 READ 속도가 빨라 NOR형 기술의 플래시 메모리가 이 시장을 장악하고 있다. 휴대 기기에 채택되는 경우 CPU와 같은 전원 전압으로 동작하는 것이 중요하며 사용 시간의 연장을 위하여 저 전력 소모가 요구된다. 현재는 3.3V 전원 전압에서 동작하고 있으나 곧 2V로 이행될 것으로 보인다. PC BIOS가 일반적으로 2Mb 이하의 code로 족한 반면 휴대 전화에서는 현재 8Mb이 주로 사용되고 있으나 통신 system의 digital화 및 부가 service를 지원하기 위하여 code 크기가 커지면서 16Mb로 이행하고 있다. 그림 1은 휴대 전화의 일반적인 구성도를 보인다. 휴대 전화같이 실장 면적이 매우 제한 받는 응용에서는 실장 면적을 줄이기 위하여 소형 package가 채택되기 시작하고 있으며 사용자가 사용하는 전화 번호를 저장하기 위하여 추가적으로 탑재되는 EEPROM의 기능을 플래시 메모리에 통합시켜 system 원가를 낮추기 위한 제품 사양도 발표되고 있다. 그림 2의 응용처별 시장 규모 전망에서 보여 주듯이 통신 응용 시장의 괄목한 성장이 전체 플래시 메모리 시장 성장을 주도하고 있다.^[3]

데이터 저장 응용은 일반적으로 CPU에 직접 interface 되지 않고 system 외부로부터 system의 I/O port를 거쳐 interface 되고 있다. 소형 HDD를 대체하는 silicon-disk가 대표적인 응용으로 휴



〈그림 1〉 휴대 전화 구성도

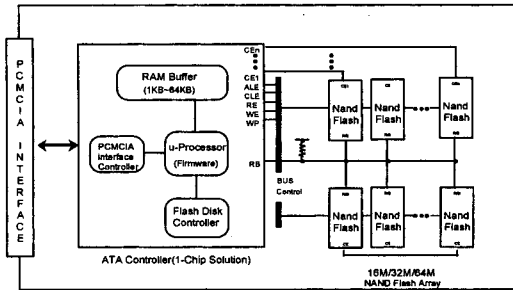


〈그림 2〉 응용처 별 시장규모 전망

대 기기의 데이터 입출력 수단으로 이용된다. 데이터 저장용이므로 개서 횟수가 많아 endurance 요구 수준이 높은 반면 CPU와 직접 interface 되지 않으므로 READ 속도는 NOR형 플래시 메모리처럼 빠르지 않다. host system에서 SECTOR 단위로 데이터를 읽으므로 SECTOR access의 속도는 느리지만 한 SECTOR내의 데이터는 50ns cycle까지의 빠른 속도로 읽으므로 전체적으로 HDD 대비해서는 2 order 가까이 빠르다. 무엇보다도 bit cost를 낮추어 용량을 늘리는 것이 가장 중요하므로 고집적화에 적합한 cell 기술이 사용된다. SanDisk의 triple poly cell^[4]과 Toshiba, Samsung의 NAND형 cell이 이에 해당되며 고집적화를 위한 제조기술의 scaling 및 한 cell에 2 bit 이상의 정보를 저장하는 multi-level cell개발이 활발히 진행되고 있다.^[5]

package 측면에서는 HDD 대비 플래시 메모리의 장점인 소형화를 위하여 크레디트 카드 크기인

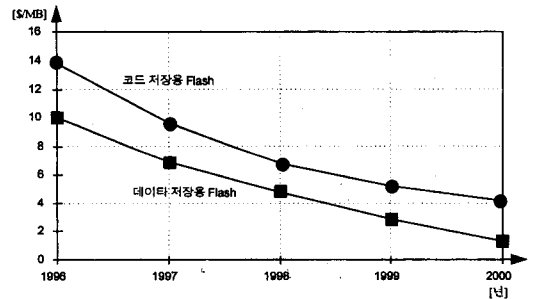
PCMCIA 카드 형태로 플래시 메모리를 실장시키는 방법이 보편화 되어 있으며 외부 HDD에 많이 사용되는 ATA (AT attachment) interface 와 호환되도록 하여 HDD와 구별없이 사용할 수 있는 ATA 방식의 protocol이 사용상의 편리성 때문에 널리 이용된다. 이처럼 사용되는 I/O interface protocol에 따라 구동 방법이 달라지므로 이를 지원하기 위한 별도의 controller나 software driver 가 필요하게 된다. 그림 3의 PCMCIA ATA 플래시



(그림 3) PCMCIA ATA 플래시 메모리 카드 구성도

시 메모리 카드 구성도에서 보듯이 controller는 카드에 플래시 메모리와 같이 탑재되며 host system과 플래시 메모리를 interface하여 host system이 silicon-disk를 HDD로 인식하게 하고 명령이 전달되면 이를 플래시 메모리 사양에 맞추어 변환 동작시킨다. software driver는 PC booting시에 램 상주되어 HDD emulator로서 동작한다. 또 controller는 플래시 메모리의 ENDURANCE를 향상시키기 위하여 ECC (Error Checking and Correction) algorithm을 내장하여 신뢰도를 더욱 향상시킨다. software emulation이 물론 저렴한 방법이나 CPU overhead를 초래하여 성능이 떨어지며 완전한 plug & play가 되지 않으므로 사용상 불편함이 따른다. 이러한 silicon-disk는 HDD 대비하여 동작 속도 및 전력 소모, 신뢰도, 소형화 측면에서 월등히 앞선다. 즉 motor 등의 mechanical 구동 part와 head와 cylinder 간 μm 수준의 간극을 유지함으로써 초래되는 소형화의 제약 및 약한 내충격성의 문제가 근본적으로 개선되는 것이다. 그러나 HDD 대비 bit cost가

아직 월등히 높다는 것이 HDD 대체의 걸림돌로 작용하고 있다. HDD의 기록 밀도의 향상 속도는 플래시 메모리의 집적속도보다 빠르게 이루어지고 있어서 bit cost 격차는 오히려 더 벌어지고 있다. 그러나 용량과 관계없이 차지하는 mechanical part로 인하여 HDD의 원가는 저용량에서도 고용량과 별반 차이가 없다. 오늘날 생산되는 HDD중 가장 적은 용량은 1.2 GB로 그 이하의 용량은 1.2 GB와 원가 차이가 없으므로 생산되지 않는다. cost를 비교해보면 상용화된 가장 큰 density인 64Mb로 silicon-disk를 만들 경우 mega byte당 cost는 7 \$로 예상된다. HDD의 가격을 150 \$로 본다면 약 20MB미만의 용량에서는 silicon-disk가 더 낮은 가격이 된다. 문제는 어느 정도의 용량이 되어야 사용 가치가 있는냐 하는 것이다. 휴대용 PC에서 널리 사용되는 기본적인 software를 실행하면서 사용자에게도 적절한 크기의 공간을 할당하려면 100MB 이상의 용량이 필요할 것으로 보인다. 따라서 현재의 mega byte당 cost를 1/5 미만으로 줄이게 되면 휴대 PC에서의 HDD 대체가 가능해지리라 본다. 그림 4에 mega byte당 cost 추이를 나타냈다.^[6] 256Mb를 생산하는 1999년 경에 mega byte당 cost를 1.5 \$로 맞출 수 있다면



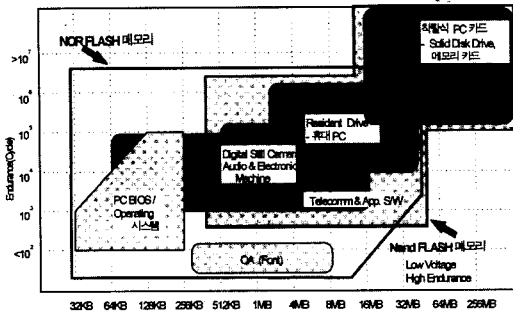
(그림 4) Mega Byte당 Cost 추이

100Mb silicon-disk의 HDD에 대한 가격 cross가 이루어진다. 그러나 플래시 메모리가 갖는 다른 장점을 감안할 때 그 시기는 더 빨라질 수 있다. 플로피 디스크가 5 inch에서 3.5 inch로 판매수량이 역전된 것은 가격비가 약 2.5배일 때였다.^[7] silicon-disk외의 또 다른 데이터 저장 응용은 CPU와 직접 interface되지만 code가 아닌 데이터

를 보관하는 응용으로 대표적인 것이 디지털카메라와 voice recorder이다. 화상 데이터나 음성 데이터를 저장하며 system board에 내장된 형태로 탑재되거나 system 간의 데이터 전달을 용이하게 하기 위하여 기존의 PCMCIA 카드보다 훨씬 작은 Small 카드로 외장시키기도 한다. 외장 카드에 camera의 화상 데이터를 저장할 때는 필름의 용도로 이용된다. 플래시 메모리가 system board에 실장될 때는 사용자는 용량만큼 사진을 다 찍은 후에는 기존 사진을 지워야 한다. 찍은 사진을 바로 hard copy로 출력하거나 PC로 옮긴 후에야 새로 찍을 수 있는 부담이 덜어지는 것이다. 또 interface port를 통하지 않으므로 PC의 PCMCIA slot를 이용하면 데이터 download가 floppy disk 처럼 손쉽다. 디지털카메라 외에 PDA, Palm-Top computer등 새롭게 등장하는 각종 휴대 기기의 외부 데이터 입출력방법이 Small 카드로 통일된다면 카메라로 찍은 사진을 PDA로 옮겨 무선 통신 접속으로 Internet E-mail로 현장 송신이 가능해진다. Small Card에는 3 가지 사양이 주요 플래시 메모리 메이커로부터 제안되어 있으며 자사 방식을 표준화시키기 위하여 치열한 마케팅이 이루어지고 있다. voice recording은 자동응답전화기의 마그네틱테이프나 전지를 포함한 DRAM을 대체하는 것이다. 4Mb 용량으로 15분의 녹음이 가능하므로 최근 대량으로 채용되고 있다. 그림 5는 플래시 메모리 용량별 응용 현황 및 endurance 요구 수준을 나타내고 있다.

III. 플래시 메모리기술의 변화 방향

플래시 메모리기술의 발전은 크게 두 가지 방향으로 예측할 수 있다. 첫째, 코드저장용 플래시 메모리는 DRAM, SRAM등의 전례에 따라 고속화, 저전압화의 요구가 증대될 것이다. 데이터 독출속도에서 보면 현재 asynchronous 제품이 100ns에서 50ns까지 발전하고 2000년 이후에는 synchronous화 될 것으로 보인다. 저전압화는 휴대폰등의 hand-held 기기에서 강한 요구가 있어 현재 2.7V Vcc 제품에서 2000년에 1.0V Vcc 제품의 개발이 요구된다. 또한 플래시 메모리의 수요가 급증하고 공급업체가 많아지면서 플래시 메모리의 시장이 supplier's market에서 user's market으로 바뀌고 이에 따라 user의 요구에 따라 다양한 기능을 추가로 제공하는 것이 필요할 것이다. 예를 들어 DRAM과 동일한 pin-out을 갖는 DRAM interfaced 플래시 메모리를 생각할 수 있다. 반면에 코드저장용 플래시 메모리의 고집적화는 완만하게 진전될 것으로 보인다. 플래시 메모리 cell의 동작원리상 Fowler-Nordheim tunneling 방식의 source erase 기술, hot electron injection 방식의 cell program 기술을 고수하여야 하기 때문에 급격한 cell shrink가 어렵게 된다. 또한 고속동작을 요구하기 때문에 cell array 효율을 증가시키는 것도 제약을 받게 되어 고집적화 시키기가 어렵게 된다. 결국 코드저장용 플래시 메모리의 고집적화는 상품화 관점에서 보면 DRAM에 비하여 1세대 늦게 따라가는 수준으로 진전될 것으로 보인다. 아울러 bit cost도 DRAM의 1.5~2배 수준을 계속 유지할 것으로 예측된다. 둘째, 데이터저장용 플래시 메모리는 cost를 낮추기 위한 집적도 증가가 계속될 것으로 보인다. 기술적으로는 cell당 2 bit 데이터를 저장할 수 있는 multi-bit 기술의 채용이 확실히 된다. 이 경우 bit cost는 DRAM의 약 0.5배 수준을 달성할 수 있을 것이며 2001년에는 1 Giga bit 플래시 메모리가 상품화되어 mega byte 당 cost로 0.5\$ 를 달성할 것이다. 고속화, 저전압화의 요구는 크게 증대할 것으로 보이지 않으나

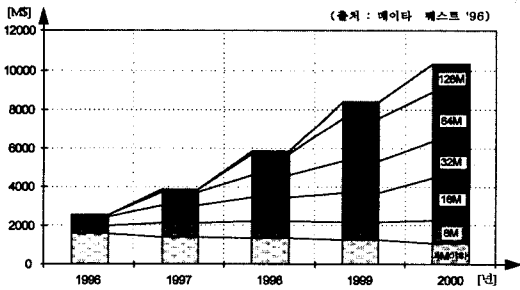


〈그림 5〉 플래시 메모리 용량별 응용 현황

수율향상 및 신뢰성확보를 위해 ECC(error correction circuit) 회로가 내장될 가능성도 매우 높다.

IV. 향후의 과제 및 결론

플래시 메모리 산업은 이제 태동기를 지나 도약 단계에 이르렀다. 금년 세계 시장 규모가 약 2조7천억 원이고 향후 매년 30% 이상의 고성장이 예상되어 2001년에는 약 8조원에 이를 전망이다. 그림 6는 플래시 메모리 시장 규모를 예측한 것이다. [3] 지금까지는 미국의 Intel, AMD 등 2개의 CPU



(그림 6) 플래시 메모리 성장 전망

제조업체에 의하여 플래시 메모리 산업이 주도되어 왔지만 향후는 다양한 플래시 메모리 응용의 개발에 따른 제품의 다양화 및 차별화, 256Mb 이상의 고집적 플래시 메모리 응용증대, 지속적인 cost down의 필요성으로 인하여 2000년 이후의 플래시 메모리산업은 메모리 제조업체가 주도할 것으로 예상된다. DRAM을 위주로 하는 메모리 산업이 일본과 한국의 양대 체제에서 현재의 반도체 제조라인의 투자상황으로 볼 때 앞으로는 한국과 대만의 주도체제로 변화될 것으로 예측된다. 이러한 상황에서 우리나라는 플래시 메모리 산업을 적극 육성하고 발전시킬 수 있는 유리한 위치에 있다고 할 수 있다. 특히 메모리에 편중된 우리나라의 반도체 산업구조에서 비메모리산업의 육성도 중요하나 메모리산업 자체의 다양화도 막대한 투자의 위험부담을 어느 정도 줄이는데 있어서 플래시

시 메모리 산업을 적극 육성할 필요가 있다. 또 다른 중요한 사실은 플래시 메모리를 장착한 응용제품들이 소비자에게 지금까지와 다른 유익하고 편리한 서비스를 제공함으로써 시스템산업에서도 새로운 시장을 창출할 수 있어 그 파급효과가 크다는 점이다.

우리나라가 플래시 메모리산업을 육성하기 위해서는 몇 가지 부족한 점을 극복하여야 한다. 첫째, 반도체업계의 지속적인 연구개발 및 지적재산권 확보가 필요하다. 미국, 일본 등의 선진업체들이 대형투자의 부담과 리스크를 줄이기 위하여 기술개발은 자체적으로 하여 핵심기술을 확보하고 생산은 위탁하는 체제를 취하기 때문이다. Intel과 Sharp, AMD와 Fusitzu의 협력관계가 대표적인 예이다. 둘째, controller 기술의 확보가 급선무이다. 고집적 플래시 메모리는 HDD emulation을 하는 silicon disk 용도로 사용되기 때문에 플래시 메모리 자체로서의 표준화보다는 total system solution을 제공할 수 있는 능력이 매우 중요한 요소가 된다. 셋째, 전자업계의 PDA, HPC 등과 같은 새로운 응용제품들의 개발능력을 갖추는 것이 필요하다. 특히 응용제품을 개발한다는 것은 그 자체로의 새로운 시장을 창출한다는 점에서 중요할 뿐 아니라 메모리제품의 사양결정, 표준화선도를 통하여 DRAM의 예에서와 같이 우리나라가 플래시 메모리 사업의 주도권을 확보할 수 있기 때문이다.

참고 문헌

- [1] Baker, A. et al., "A 3.3V 16Mb Flash Memory with Advanced Write Automation", ISSCC Digest of Technical Papers, pp.1575-1583, Feb, 1994.
- [2] R. Shirota et al., "A 2.3μm² cell structure for 16Mb NAND EEPROMS", in IEDM Digest of Technical Papers, pp.103-106, Dec, 1990.

- [3] DataQuest Japan, 플래시 메모리 성장 시나리오 조사보고서, 3월, 1995
- [4] R.Cernea et al., "A 34Mb 3.3V serial flash EEPROM for solid state disk applications", ISSCC Digest of Technical Papers, pp.126-127, Feb,1995.
- [5] T.S.Jung et al., "117 mm² 3.3V Only 128Mb Multilevel NAND Flash Memory for Mass Storage Applications, in IEEE J. Solid-State Circuits, vol.31, no.11, pp.1575-1583, 1996.
- [6] DataQuest, "Worldwide MOS Memory Forecast Update", Market Statistics, 11월, 1996.
- [7] 일경 Microdevices, 5월, 1996

저자 소개



徐 康 德

1956年 10月 2日生

1979年 1月 서울대학교 전기공학과 학사

1981年 8月 과학기술원 전기 및 전자 공학과 석사

1991年 1月 과학기술원 전기 및 전자 공학과 박사

1979年 1月~1997年 6月 삼성전자 반도체 메모리본부 연구위원

주관심 분야 : Memory Design, Device Modeling