

강유전체 메모리 소자의 IC 카드 응용



김 광 호

(청주대학교 전자정보통신반도체공학부)

1. 서 론

21세기를 맞이한 현재, 기존 패러다임의 붕괴와 정보통신으로 대표되는 새로운 시대를 맞아 멀티미디어 사회를 실현하는 새로운 디바이스로서 강유전체 박막의 분극반전과 그 히스테리시스 특성을 이용한 비휘발성 메모리(FRAM)가 주목을 받고 있다. 이 메모리는 고집적도, 고속구동, 고내구성, 저소비전력화를 실현할 수 있는 이상적인 메모리로서 기대가 급격히 높아져 세계 각국에서 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. FRAM에는 강유전체 커패시터를 이용한 커패시터 형태¹⁻²⁾와 강유전체 박막을 게이트 절연막으로 사용한 단일 트랜지스터 형태³⁻⁴⁾가 있으며, 현재, 실용화되고 있는 것은 DRAM과 동일한 구조를 갖고 있는 커패시터 형태의 FRAM이다. 이와 같은 구성에서는 정보를 read-out 할 때에는 강유전체의 분극반전에 의한 파괴형의 read-out 방식으로 된다. 이에 반하여, 트랜지스터 형태의 FRAM에서는 비파괴형의 read-out 방식이 가능하고 고집적화(단일 트랜지스터 셀 형태인 기본 구성이므로)에도 적합하기 때문에 장래의 비휘발성 메모리로서 주목을 받고 있다. 이들 메모리의 응용은⁵⁾ 기존의 전자 디바이스를 대체할 뿐 아니라 휴대전화, 멀티미디어 단말기기, 오락기기, 화상메모리용, IC 카드/TAG 시스템 등 새로운 제품으로의 응용가능성을 내포하고 있다.

본 논문에서는 FRAM의 여러 가지 가능한 응용 중에서 지면 관계상 주로 IC 카드 시스템에 적용하는 것을 논의하기로 한다.

2. IC 카드

2.1 카드의 종류 및 기본구성

IC 카드는 다음과 같은 이유 때문에 관심을 끌고 있다. 먼저, 기억 용량의 차이다. 통상, 자기 카드(magnetic card)의 stripe부분의 기억 용량은 72 byte이다. 이에 반하여 현재 보급되고 있는 IC 카드의 용량은 8 K byte이고, 자기 카드의 100배 이상의 용량을 갖고 있다. 앞으로의 정보화사회의 발전을 생각하면 미디어의 정보 격납 능력의 확대는 필수적이므로 자기 카드의 기억 용량으로서는 대응할 수 없는 용도가 대부분이다. 다음으로, security의 차이다. 매스컴의 보도로 알 수 있듯이 자기 카드에 관련된 범죄가 많다. 이것은 자기의 내용이 용이하게 해독되고 또한 그 data가 용이하게 변경되고 복제될 수 있다는 것을 의미한다. 이와 같이 IC 카드는 자기 카드의 100배 이상의 메모리를 보유하고 있고 더 중요한 것은 IC 카드가 각각 CPU(microprocessor)를 보유하고 있다는 것이다. IC 카드의 메모리는 CPU를 경유해서만 데이터를 읽고 쓰기가 가능하다. 요컨대, 메모리에 access하는 것을 CPU가 제어하고 있는 것이다. 이 때문에 메모리를 segment분할하여 segment마다 다른 access제한을 가하는 등의 복잡한 제어가 가능하다. 따라서 IC 카드의 메모리 부분의 데이터를 해독하거나 IC 카드 자체의 개조나 복제는 아주 곤란하다.

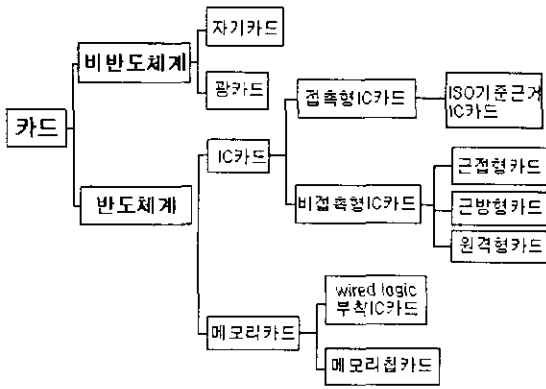


그림 1. 카드의 종류

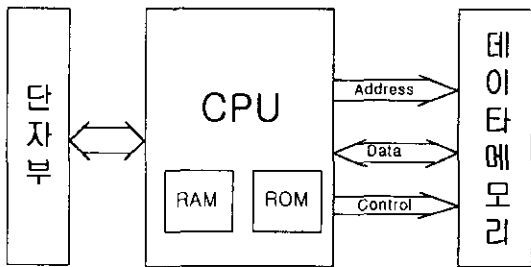


그림 2. IC 카드의 구성

카드는 그림 1에 보인 것처럼 “비반도체 카드”와 “반도체 카드”가 있다. 반도체 카드에는 IC를 사용한 “IC 카드”가 있다. 통상 “IC 카드”라고 부를 때에는 이 “접촉형 IC 카드”를 의미하는 경우가 많다. 최근에 와서는 IC 카드중에서 “비접촉형 IC 카드”가 주목을 받고 있다. 입실/퇴실 때의 허가 카드로서나 철도의 자동개찰카드에 응용된다. 통상, “무선 카드”로 부를 때에는 이 “비접촉형 IC 카드”를 의미한다. 수리등의 문제도 쉬우므로 이 “비접촉형 IC 카드”의 채용이 증가하고 있다.

IC 카드의 기본구성은 그림 2에 보인 것처럼 데이터를 격납하기 위한 메모리 IC, 외부와 접속하기 위한 인터페이스 부분 및 연산·제어를 위한 CPU(스마트 카드인 경우)로 구성된다. 더욱이 비접촉 카드에서는 외부와의 교신을 위한 통신제어 부분이 부가된다.

2.2 IC 카드용 메모리

IC 카드에는 그 용도에 따라 대부분 반도체 메모리가 각각 사용되고 있다. IC 카드내의 전지 내장유무에 따라 휘발성 메모리인 SRAM, DRAM이나 비휘발성 메모리인 MASKROM, PROM, E²PROM 및 FRAM이 사용된다. IC 카드측면에서 본 이상적인 메모리로서의 조건은 다음과 같다.

- (1) 전지내장이 필요없는 비휘발성 메모리일 것.

- (2) read/write가 고속으로 access 가능할 것.
- (3) 앞으로의 사용빈도 향상을 위해 최저 10⁸이상의 rewrite가 가능할 것.
- (4) 외부로부터의 공급전력이 작으므로 저소비전력일 것.
- (5) 카드 강도를 높이기 위해 집적도가 높은 메모리, 즉, chip size가 작을 것.
- (6) 가격이 저렴할 것.

3. 접촉형 IC 카드

IC 카드는 자기 카드 등에 비해 기억용량도 크고 정보의 보안성이 높기 때문에 은행카드나 높은 보안성이 요구되는 용도에 적합하다. 이 IC 카드에는 일반적인 플라스틱 카드에 외부장치와의 정보수수를 행하기 위한 외부접속단자가 설치되어 있다. 이 외부접속단자 아래에 IC가 있고 IC와 외부단자와는 bonding이나 bump로 접속되어 있다. 카드의 규격은 국제표준화기구(ISO)에서 적극적으로 작업이 진행되어 ISO7816-1, ISO7816-2, ISO7816-3 등이 합의되어 있다. 각 단자의 번호 및 명칭, 기능을 그림 3에 보인다. 그림에서 알 수 있는 바처럼 공급전원 V_{cc}와는 독립적으로 프로그램 공급전압단자 V_{pp}를 가지며, E²PROM을 전제로 하고 있다. 데이터는 I/O 단자를 통해 오가며 1 byte 단위로 전송, write 또는 read를 행한다. block 전송방식도 논의되고 있다. 메모리 용량으로는 64 kbit의 E²PROM이 주종이지만 용도에 따라서는 16 k~256 k 정도의 메모리도 있다.

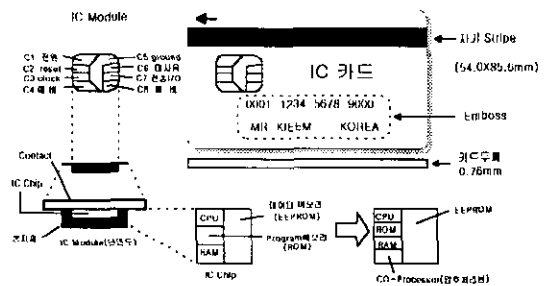


그림 3. 접촉형 IC 카드의 구조

3.1 각종 메모리와 카드 성능 및 앞으로의 과제

IC 카드의 최대 특징으로 rewrite 가능하며 데이터가 비휘발성이어야 한다. 이러한 관점에서 보면 E²PROM, battery back-up SRAM 및 FRAM이 후보로 등장하게 된다. 표 1에 이들의 메모리를 이용할 때의 IC 카드 성능을 보인다. 이 표에서 알 수 있듯이, 고속으로 기입이 필요로 할 때 또한 재기입 빈도가 높을 때에는 E²PROM이나 FLASH 메모리는 부적합하다. 단, 전지내장 SRAM을 쓴 카드에서는

표 1. IC 카드에 있어서의 메모리 성능

메모리	비휘발성	read 고속성	write 고속성	rewrite 회수
ROM	◎	◎	불가	—
OTPROM	◎	◎	1회	1회
E ² PROM	◎	◎	△	10 ⁴ -10 ⁵
SRAM+ 전지	○ 전지수명	◎	◎	◎
FRAM	◎	◎	◎	10 ⁸ -10 ¹⁰

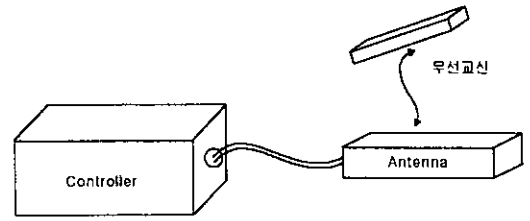


그림 4. 비접촉 IC 카드 시스템의 기본구성

전지수명문제와 환경문제가 있으므로 역시 적합치 않다고 본다. FRAM이 갖는 고속기입과 재기입 회수가 많은 점은 앞으로의 IC 카드 성능향상에 크게 공헌하게 될 것이다.

접촉 카드의 기본적인 과제는 접점이 있다는 점이다. 구체적으로는 물리적 마모 및 정전기에 의한 데이터 파괴, IC 파괴 문제이다. 또 다른 과제로는 표준화와 공급회사 문제이다. 현재 FRAM의 공급은 1~2 회사밖에 없으므로 아무리 해도 E²PROM중심의 표준화로 되게 된다. 또한 이 사실은 IC 카드 자체의 시장성 확대에 지장을 초래한다. FRAM의 안정된 공급회사가 확보되면 IC 카드의 메모리는 거의 FRAM으로 바뀌게 될 것이다.

4. 비접촉형 IC 카드

최근들어 비접촉 IC 카드가 급속히 주목을 받고 있다. 그 이유는 접촉형 IC 카드의 결점인 접촉 핀의 마모, 컨트롤러 접촉부의 빈번한 수리 및 위치결정 정확도 확보문제, 사용자의 사용시 카드 삽입 후 꺼내는 번거로움 등의 문제점이 있다. 비접촉 카드의 원형은 ID 시스템이라고 부르며 개체를 그 ID에 따라 인식, 식별하기 위해 등장했다. 유럽에서 가축 사육 관리용으로 도입한 것이 시초이며, 그 후 자동차 생산 라인이나 철도 화물차 식별 등에 적용되었다.

4.1 비접촉 카드의 기본구성

그림 4에 보인 비접촉 IC 카드 시스템의 기본은 질문기나 rewriter로 부르는 controller와 메모리 및 통신기능을 내장한 응답기나 transponder로 부르는 IC TAG나 IC 카드로 구성된다. controller부에서 신호가 IC 카드로 전송되어 그 command에 따라 IC 카드가 필요로 하는 정보를 controller로 반송한다. 통신거리는 1mm 전후부터 10m 전후까지 그 용도에 따라 각종 제품이 개발되어 있다. 형식은 IC 카드내에 전지를 내장하는 것과 내장하지 않는 것이 있다. 성능으로는 정보의 기입, 재기입 가능한 것, 한 번 기입 후에는 read만 가능한 것 등 여러 종류가 있다. 이들 성능은 주로 내부에 설치한 메모리 종류에 크게 좌우된다. 성능에 관

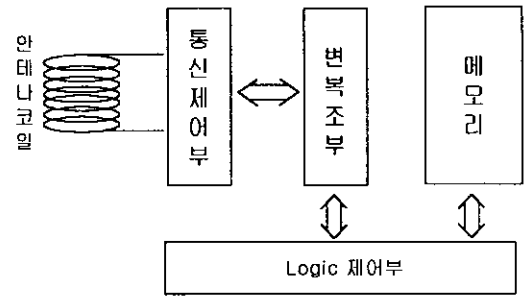


그림 5. 비접촉 IC 카드의 내부구성

하여 간단히 설명하면, 어떤 시스템에 종속된 IC 카드가 전부 같은 ID 번호를 갖고 그 그룹의 일원임을 인식하고자 할 목적이면 MASKROM을 사용하며 정보의 갱신 기입은 불가능하다. 또한, 어떤 시스템에 종속된 IC 카드가 각각 독립 ID번호를 갖고 정보의 rewrite가 불필요할 때에는 OTPROM이나 E²PROM 등을 사용한다.

다음으로 각종 메모리와 IC 카드의 성능을 고려할 때 중요한 요인인 통신거리, 통신속도, 처리시간, 데이터 유지 등에 대하여 생각해 본다. IC 카드 내부구성을 그림 5에 보인다. 내장부품으로는 통신 송수신을 위한 antenna coil, 송수신 회로, 제어회로 및 메모리 소자로 구성된다. 전지내장식 IC 카드는 외부 controller로부터 최초의 신호나 command를 antenna coil로 수신함과 동시에 내장회로가 내장전지에 의해 구동하기 시작한다. 또한, IC 카드로부터 controller로 반송도 내장전지의 전력을 써서 동작하므로 고출력 반송이 가능하며 장거리 통신거리가 확보된다. 메모리로서는 SRAM을 써도 비휘발성 메모리로 기능하므로 각종 응용에 대응성이 좋다. 그러나 전지를 내장하므로 생산기술, 생산단가, 전지수명, 산업폐기물 처리 등 여러 문제가 있다. 이것과는 달리 전지를 내장하지 않는 IC 카드에서는 앞서의 기본구성에 더하여 전원 정류회로가 추가된다. controller로부터 공급되는 command나 데이터 송신되는 전자파를 이용하여 정류하여 회로 구동용 전력을 공급한다. 내장전지를 가지지 않으므로 메모리로서 SRAM을 사용할 수 있다. 이 방식의 약점은 여기된 기전력이 미약하므로 반송되는 신호가 작고 거리가 전지 내장방

식에 비해 짧다. 또한, 회로구동전력도 작고 고속 통신속도를 확보하기 어렵다. 따라서 고속인 통신속도를 확보하기 위해서는 저소비전력 회로가 필요하고 또, 고속의 total 처리속도를 확보하기 위해 고속 메모리 기입 속도가 요구된다.

4.2 각종 메모리와 IC 카드 성능

IC 카드용 메모리 소자로서 MASKROM, EPROM, FUSEROM등의 OTPROM(One Time PROM)과 재기입 가능한 IC 카드용으로는 E²PROM, FRAM, 전지내장형 SRAM 등이 있다. 이들 메모리 각각의 IC 카드 성능 관점에서 비교한 것이 표 2이다. 또한, 재기입 가능한 전지 비내장식 메모리인 E²PROM과 FRAM의 성능을 비교한 것이 표 3이다. read에 관한 한 기본적으로 차이가 없지만 소비전력면에서는 FRAM이 약간 유리하다. 이것은 메모리 sense 방식에 따른 차이로 E²PROM에서는 메모리 소자에 전류를 흘려 floating gate에 의한 문턱전압값의 고저를 sense한다. 이에 반해 FRAM에서는 강유전체의 분극반전에 따른 용량변화를 sense하므로 소자를 직접 관통하는 전류는 없다. 소비전력에 관한 또 다른 중요점은 구동전압이다. 소비전력을 낮추기 위해서는 동작전압을 낮추어야 한다. CMOS 회로의 3V화가 이미 주류이므로 특별히 문제없이 3V의 E²PROM도 서서히 제품화되고 있다. 3V FRAM도 현재 연구개발중이므로 조만간 제품화되리라 본다. 다음으로 재기입시의 소비전력에 대하여 평가한 것을 그림 6에 보인다. 에너지측면에서 비교해 보면 6 order 이상의 차이가 있다. 이는 IC 카드의 성능 관점에서 보면 기입시간 및 기입거리면에서 큰 차가 발생하게 된다.

다음으로 메모리 소자를 비교함에 있어서 중요한 점인 기입속도이다. IC 카드 기입시의 처리시간은 카드내에서 각각의 교신시간의 적산값이다. 이 처리시간을 빠르게 하기 위해서는 통신의 데이터 전송속도를 올려야 한다. 비접촉 IC 카드는 접촉형 IC 카드와 달리 데이터 전송은 1 bit의 serial 전송이므로 특히 중요하다. 예를들면, 초당 100 kbit로 전송하였다면 10 μ s/bit로 된다. 여기에 통신데이터의 복합처리, 메모리로의 address 발생 등 회로동작에 필요한 시간을 고려하면 메모리 기입에 할당되는 시간은 거의 1 μ s이하로 된다. 이는 현재의 E²PROM 성능을 벗어나는 것으로 20~50 kbit/초 정도의 통신rate가 E²PROM의 한계이며, 처리시간의 향상은 거의 불가능하다. 이에 비해 FRAM의 기입속도는 강유전체 자체의 반전시간이 1 ns이하이므로 메모리 주변회로의 access 시간인 100 ns이하이다. 이 때문에 통신속도 및 처리시간 향상에 대하여 주변회로 및 controller의 성능향상에 주력하는 것만으로도 충분히 향상시킬 수 있어 메모리 소자에까지 고려할 필요조차 없다. 이와같은 우위성을 IC 카드의 성능으로서 보면 read/write가 등거리이고, 매우 고속의 데이터 전송이 가능하며, 기입시의 에러율이 아주 작은 등의 우수한 특성을 갖고 있다.

또 다른 점은 실제 응용에 있어서 아주 중요한 요소인 rewrite

표 2. 각 메모리와 IC 카드의 성능

메모리	비휘발성	통신 속도	rewrite 회수	소비 전력
MASKROM	○	◎ only read	불가	소
OTPROM	○	◎ only read	1회	소
E ² PROM	○	◎:read ○:write	10 ⁴ -10 ⁵	write시 대
SRAM+전지	◎ 전지수명	◎	◎	-
FRAM	○	◎	10 ⁸ -10 ¹⁰	◎

표 3. 64k E²PROM과 64k FRAM의 성능 비교

		E ² PROM	FRAM
소비 전력	stand-by 시	200 μ A	100 μ A
	동작시(read)	60 mA	25 mA
write 시간: 1 byte write		10 ms	340 ns
write 회수		10 ⁵	10 ⁸
write 전압		12V 또는 5V(승압회로내장)	5 V

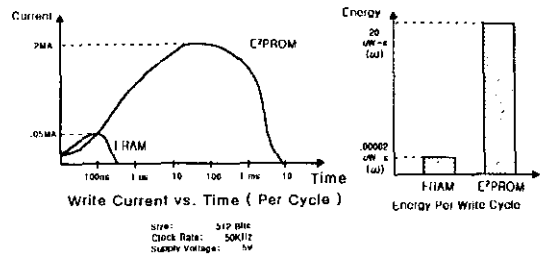


그림 6. E²PROM과 FRAM의 소비전력 비교

회수이다. E²PROM인 경우 최대 10⁵정도이므로 사용에 제한이 있다. 그러나 FRAM에 있어서는 10⁸정도의 능력을 가지고 있으므로 이러한 응용에는 E²PROM이 따라 올 수 없다.

4.3 강유전체 메모리를 이용한 IC 카드에

현재, FRAM을 이용한 IC 카드를 미국의 Racom사가 실용화하여 판매하고 있다. 이 시스템의 제성능, 특성을 표 4에 보인다. RF시리즈는 세계최초의 FRAM상품이다. 카드에 내장된 부품은 통신 및 powering을 위한 antenna coil,

표 4. Racom사 제품의 사양

	RF시리즈	LF시리즈	HF시리즈
data rate [kbps]	1.953	7.812	105.9375
FRAM용량 [bit]	256	256/1k/2k/4k	4k/8k/16k/64k
변조방식	FSK/PSK	FSK/PSK	FSK/PSK
교신거리 [cm]	15	15	15

tuning을 위한 condenser, 과전압방지용 Zener diode, FRAM내장 1chip IC로 구성되어 있다. RF시리즈는 버스 정지권이나 식당의 prepaid 카드 등으로 사용되고 있다. LF 시리즈나 HF시리즈는 철도관련 비접촉 정지권이나 FA 등에 응용이 검토되고 있다. 통신속도도 초기의 2 kbit/s에서 RF시리즈의 10⁶ kbit/s로 성능이 개선되었다. 이러한 10⁶ kbit/s의 통신속도 및 10¹⁰회 정도의 rewrite 능력, E²PROM처럼 rewrite하기 위해 준비하는 대기시간이 없으므로 총 처리시간이 짧게 되는(즉, 고속성) 특징 등은 현재의 어떤 다른 기술로도 불가능하다.

4.4 앞으로의 과제 및 전망

비접촉 IC 카드의 고성능화에 FRAM의 중요한 역할 이외에 PC용 메모리 카드도 중요한 응용이라고 생각된다. 현재, 4M, 8M, 16M byte의 Flash 메모리를 써서 상품화하고 있다. 이들 IC 메모리 카드는 palm computer나 hand terminal 등에 있어서의 자기 기록매체인 floppy disk를 대체할 가능성이 있다. 또한 현재의 PC에 쓰고 있는 메모리를 대체하게 되면 기존의 기능 이외에 고기능성, 비휘발성을 살린 새로운 응용이 기대된다.

IC 카드측에서의 요청으로는 저가격화가 최대 과제이다. 2T/2C로 구성된 FRAM은 E²PROM과 비교하여 약 2배 가격이 높다. IC 카드보급을 방해하는 요인으로 자기 stripe형 카드와의 가격차가 문제로 됨을 생각하면 이 저가격화를 어떻게 이루는가가 관건이며, 나아가 1T/1C형의 메모리의 생산, 1T 메모리의 개발이 요청되고 있다.

5. 결론

강유전체 메모리를 IC 카드에 응용하는 기술에 대하여 개관하였다. 앞으로 FRAM은 IC 카드에 적극적으로 널리 적용되기 위하여 고기능, 저전력, 고집적, 고속성의 특징을 살린 다양한 제품들이 지금보다 많은 회사에서 제조하여 안정적으로 공급되어야 할 것이다. 또한, IC 카드에 있어서의 인프라를 변혁

시켜 나가 널리 적용시킴과 동시에 저전압, 고속, 비휘발성인 FRAM의 특성을 살려 기존의 E²PROM과 같은 개별메모리로서의 전자다바이스를 대체할 뿐 아니라, system LSI, 휴대전화, 멀티미디어 단말기기, 오락기기, 화상메모리용 등 21세기 및 그 이후에도 점점 더 그 중요성이 더해 갈 뿐 아니라 없어서는 안될 존재로 그 위치를 차지하리라고 기대하고 있다.

참고 문헌

- [1] S. S. Eaton et al, "A Ferroelectric Nonvolatile Memory", 1988 IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Tech. Digest, p. 130.
- [2] T. Sumi et al, "An 256 Kb Nonvolatile Ferroelectric Memory at 3V and 100ns", 1994 IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Tech. Digest, p. 268.
- [3] S.-Y. Wu, "A New Ferroelectric Memory Devices, Metal-Ferroelectric-Semiconductor Transistor", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-21, no. 8, pp. 499-504, Aug. 1974.
- [4] Kwang-Ho Kim, "Metal-Ferroelectric-Semiconductor(MFS) FET's Using LiNbO₃/Si (100) Structures For Nonvolatile Memory Operation", IEEE Electron Device Letters, 19(06), pp. 204-206, 1998.
- [5] 김 광호, "강유전체를 이용한 MFSFET의 실현 및 그 응용", 전기전자재료학회지, vol. 11, no. 2, pp. 140-144, 1998.
- [6] 高須秀祝, 宅間俊則, "FRAM IC card 技術", Science Forum, 1999.
- [7] 崎忠, 阿部東彦, 武田英次, 津屋英樹, "強誘電體 薄膜 Memory", Science Forum, 1995.

저 자 약 력

성명 : 김 광 호

◆ 학 력

- ~1982년 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- ~1987년 : (일본)동경공업대학 대학원(공학석사)
- ~1990년 : (일본)동경공업대학 대학원(공학박사)

◆ 경 력

- 1994년 1월~1994년 2월 : (일본)학술진흥재단초청 동경공업대학 객원연구원
- 1990년~ 현재 : 청주대학교 전자정보통신반도체공학부 교수