

국내 반도체 산업의 발전 전망

千 東 宇

(正 會 員)

現代電子産業(株) 專務理事(工博)

I. 序 言

20세기 최대의 발명품이라고 하는 반도체가 출현한 후, 반도체 산업이 갖는特徵으로 해서, 전체 산업의 구조 및 양태가 크게 변하기 시작했다. 가전제품, 컴퓨터, 사무용기기, 광통신등의 전자산업 뿐만 아니라, 항공기, 자동차, 공작기계등의 모든 산업에 응용 범위가 확대 되었다. 各種 機器에 소형화, 경량화, 자동화, 다 기능화, 고급화 등의 파급 효과를 나타냈고, 현재는 파급 효과의 차원을 넘어 모든 산업을 선도 하기에 이르렀다.

반도체는 「산업의 기름(oil)」이라고 일컬어질 정도로 사회, 경제 各分野에 크게 영향을 미치고 있어, 各國에서는 반도체 기술 수준이 곧 그 나라의 산업, 경제력을 가늠하는 척도가 될 것임을 예상하여 반도체 연구개발에 전력을 기울이기 시작했다. 수 년전부터 우리나라도 반도체 산업을 앞으로 우리 산업이 나아가야 할 중점 방향으로 설정하고 많은 자본과 인력을 투자하기 시작했다. 그러나 반도체 산업은 技術 개발 속도가 빠르며 넘어야 할 기술적인 과제가 많은 반면, 반도체 산업의 역사가 일천함으로 해서 기초 연구의 부족, 기술 인력의 부족, 관련 산업의 미숙성, 에너지 제약등의 많은 악조건을 갖고 있으면서도 先進國인 일본, 미국등과 경쟁하지 않으면 안될 입장에 놓여 있다. 그러나 한편으로는 그들이犯했던 잘못을 비켜 나가면서 發展을 成就할 수 있는 利點도 지니고 있다.

그러므로 반도체 기술의 발전 추세를 점검해 보고, 우리의 문제점을 지적하면서 우리가 나아가야 할 방향을 설정해 봄이 필요하다.

II. 半導體 産業의 趨勢 및 展望

1. 集積度의 증가와 素子 크기의 소형화

1947년 Bell Lab에 의해서 게르마늄(Ge)을 이용한

최초의 트랜지스터가 만들어 졌고, 1945년 실리콘(Si)을 이용한 트랜지스터 T.I(Texas Instrument)社에 의해 만들어진 이래 1960년대에 들어서 플래나(Planar) 기술에 의해 IC(integrated circuit)시대를 열기 시작했다. 1960년대 후반 MOS 素子の 상업화가 이루어지면서 많은 기업이 반도체 산업에 참여하게 되었고 IC 분야의 기술개발 속도는 가일층 빨라지게 되면서 칩(chip) 하나에 더욱 많은 소자가 집적된 LSI(1970년대 초반), VLSI(1970년대 후반) 시대를 거쳐 1980년대에는 ULSI(ultra large scale integrated circuits) 칩당 10만개 이상 소자집적) 시대를 불리게 되었다. 집적도의 증가에 따라 素子の 최소선폭은 줄어들게 되었는데 그 추세가 표 1에 나타나 있다.

현재는 1M DRAM의 개발완료와 4M DRAM의 개발 시작 단계이므로 최소선폭이 줄어들면서 物性面에서 많은 문제점이 나타났는데, 이 문제점은 junction punch-through 현상, short channel 현상, thermal noise 현상, 저항의 증가 등이다. 동경의 한 연구팀은 SOI(silicon on insulator) 기술을 이용했을 때 V_{DD} 를 5.0V에서 2.0V로 내리면 素子の channel length가 0.1 μm 까지 줄어도 效果的으로 작동하는 素子の 제작이 가능하다는 것을 理論적으로 증명하였는데 理論적으로 가능하다 하더라도 0.1 μm 의 해상력을 갖고 층(layer) 간을 정확하게 중첩시킬 수 있는 lithography tool의 개발이 가능한가가 실제적인 한계점이 된다.

현재의 光學的인 lithography tool로는 0.7~0.5 μm 까지는 개발이 가능하다고 볼 때, 1990년대 중반까지는 현재의 方法이 이용될 것이라는 豫測이 가능하다. 線幅 0.5 μm 이하에서는 E-Beam lithography와 X-ray lithography로 가능한데 E-Beam lithography의 경우는 throughput이 적고 back scattering에 의한 proximity effect 등의 문제가 있고 X-ray lithography는

mask 제작의 문제, 파장짧은 X-ray를 얻기위해 synchrotron 같은 거대한 장치의 필요등이 있다. 따라서 0.1~0.2 μ m 線幅이 이루어고 할 때 대두되는 기술이 focused ion beam을 이용한 技術인데, 마스크 교정에 실제 이용되기도 하나 안정된 ion beam 얻는 것이 중요한 과제로 등장했다.

Etch의 경우는 submicron pattern을 얻기 위해서 RIE가 이용될 것이지만, 線幅이 더욱 미세해질 경우는 패턴 트랜지스터의 한계점이 나타나게 된다. Ion beam을 이용한 lithography의 경우 이 ion beam으로 化學的 에치를 동시에 행할 수 있음으로 종래 공정개념의 혁신적인 변화를 갖고 오게 되었다. 또 線幅이 줄어듬에 따라 앞에서 언급한 物性面에서의 문제해결 노력은 LDD(lightly doped drains), silicide 등으로 개발되어 제조공정에 이미 적용되었다.

16M DRAM 이상의 집적도에서 silicide interconnection으로는 저항문제의 해결이 어려워 다시 Al이나 다른 금속의 사용이 검토되고 있고, 또 열 왜곡 문제, shallow junction문제 등으로 하여 공정온도 저온화는 필수적인 요소로 등장하였다. 공정온도 저온화는 박막 성질의 저하, 공정시간의 길어짐등의 많은 문제를 안고 있지만 16M DRAM의 개발을 전후하여 본격적으로 도입되리라 생각되며, 온도의 목표는 약 600 $^{\circ}$ C 정도일 것이다. 線幅이 줄어들어 따라 素子 특성에 치명적인 영향을 미치는 轉이나 적층 결함등의 microscopic defects의 근본적인 해결이 學者들 사이에서 활발히 토론되고 있다.

한편 집적도를 높이는 문제를 구조적인 면에서 해결

하려는 시도도 꾸준하여 트랜치(trench)를 이용한 isolation과 capacitor는 거의 적용 단계에 이르렀으며 SOI(silicon on insulator)를 이용하여 3次元 素子의 개발도 한창이다. 참고로 표 1에 DRAM 기술추세를 나타냈고 표 2에 4M DRAM 개발에 필요한 공정기술 등을 요약했다.

또 클린룸에 대한 개념도 새롭게 정립되고 있다. 가장 큰 먼지 출처인 人間이 공정라인으로 부터 완전히

표 1. DRAM Technology Trends

	1970	1975	1980	1985	1990	1995		
Products	1K	4K	16K	64K	256K	1M	4M	16M
Feature size	10-12 μ m	8	5	3	2	1.3	0.8	0.5
Technology	pMOS	nMOS		CMOS				
Device	3T	1T		Trench				
Memory cell								Gain cell
Voltage	-20V	12		5				-3
Transistor	(B)	Single drain (P)	(As)	Double-diffused D.		LDD		?
L_{eff}	-8 μ m	5	3	2	1.3	0.8	0.5	0.3
X_r	1-1.5 μ m	0.8	0.5	0.35	0.2	0.15	0.1	
Process Isolation	Planar	LOCOS		Recessed		Trench		
Gate material	Al	Poly-Si	Double-poly		Triple silicide		Refractory metal	
T_{α}	120nm	-100	-75	50	35	25	20	15
Access times	300ns	150ns	125ns	100ns	80ns	70ns		50ns

A 25 year view of DRAM technology (Source: Hitachi and ICE.).

표 2. Process technologies for 4M DRAMs

Technology field	Technology applicable at 4M level	Key technologies
Pattern exposure	Optical lithography or hybrid lithography	Shorter wavelength (i-line, deep uv, excimer laser) X-ray mask fabrication (higher accuracy, defect repair) Alignment technology
Resist processes	Multilevel resist processes	Multilevel resists Portable conformal mask (PCM) Anti-reflective coating (ARC) Contrast enhancing lithography (CEL) Double exposure method (DEM) Trilevel resists Inorganic resists X-ray resists

Process technologies for 4M DRAMs

Etching	Reactive ion etching	Low-damage, low-contamination Profile controlling Monitoring
Diffusion	Ion implantation and rapid thermal annealing	Low-temperature annealing Rapid thermal annealing
Dielectric thin films	Gate thin films Glass layer passivation films	Extremely thin gate oxide (thermal, plasma) Nitride (direct nitridation) High dielectric constant materials Low-temperature flow glass Silicon nitride with low H concentration Organic passivation film
Metal films	Gate electrode metal Aluminum interconnections	Refractory metal gate Contact resistance Migration study Via hole fill
CVD		Low-temperature CVD and applications (plasma, ECR, photo) New material (H-free nitride, selective CVD, metal etc.) Epitaxial growth
Isolation	Trench isolation	Deep trench formation Trench fill
Multilayer interconnections	Planarized multilayer interconnections	Via hole fill (lift-off, selective CVD) Planarizing insulator Etch-back Spin-on-glass Quartz sputtering Polyimide Lift-off
MOS FETs	MOS microstructures	Hot electron problem (LDD) Silicide source drain
Simulation		3-dimension device simulation Total simulator (process-device-circuit)
Measure and control		Measurement of small dimensions Defect inspection Process monitoring Diagnostics

Semiconductor processing, in general, will benefit from the advances being made for 4M DRAM production (Source: Oki Semiconductor.).

배제 되어야 한다. 즉 각 공정을 진공터널로 묶어 그 내부에서 완전 자동화된 시스템으로 반도체를 제조한다 이른바 클린룸 무용화 한 공정라인의 개념이 실현될 것이다.

2. 半導體 素子の 展望

지금까지 반도체 시장은 DRAM, SRAM, EPROM 등

메모리 素子에 의해 주도되어 왔다고 해도 과언이 아니다. 또 메모리 素子 자체도 비약적인 발전을 거듭해 왔다. 한 제품의 성장곡선을 S자 모양이라고 할 때, 현 위치가 어딘가 점검해 볼 필요가 있다. 메모리 소자의 주요 적용분야는 컴퓨터로 컴퓨터 시장변화가 곧 메모리 시장의 변화였다고 해도 과언이 아니다. 퍼스널 컴퓨터의 수요가 소프트웨어 등 이용상 문제로 재작년부

터 급격히 줄어 작년 반도체 산업은 전반적으로 저조했다고 볼 수 있다. 그러므로 컴퓨터의 질적인 변화를 모색함에 따라 발전 방향을 정해야 한다.

장래, 고도 정보화 사회를 추구하는데 가장 중요한 키 포인트로 정보의 영상화와 인공지능을 들 수 있다. 정보를 전달하는데 가장 효율적인 것이 視覺에 의한 것으로 정보의 영상화(visualization of information)인데 컴퓨터 그래픽스와 고품위 TV가 그것이다. 앞으로는 정보전달이 화상 그 자체가 될 것이므로 TV 자체가 구조적으로는 대용량의 메모리를 갖춘 컴퓨터와 닮게 된다. 화상정보 처리를 하기 위한 정보의 양은 문자에 의한 정보의 양보다 엄청나게 많게 된다. 보통 TV화면 1매를 기억하는데 4M bit 필요하다. 이 때문에 지금보다 훨씬 많은 양의 메모리가 필요로 하게 된다. 고도 정보화 사회를 추구하는 또하나 중요과제인 인공지능 개발은 제 5세대 컴퓨터라는 형태로 나타나고 있다. 약 20년 전에도 인공지능이라는 컴퓨터가 등장한 적이 있지만 메모리가 1K bit 정도 달성하는데 그쳐 실효를 거두수가 없었다.

인간의 뇌세포는 약 150억개로 그중 절반이 메모리 기능을 갖고 있다고 볼 때, 이것을 컴퓨터에 재현 시키자면, 1M DRAM으로 따져 약 1만개 정도의 칩(chip)이 요구된다. 인공지능을 개발하는데 가히 어느 정도의 광대한 메모리가 필요한 지를 상상하기 어렵지 않다. 메모리 용량과 더불어 access 시간의 단축도 필수적인 문제이다. 또한 가전제품도 반도체 산업 발전에 중요한 역할을 할 것이다. 가전제품의 자동화 즉 컴퓨터화 하여 다양한 기능 추가를 위해 많은 양의 정보 기억이 필요하게 될 것이다. 또 오디오, 비디오의 소프트웨어 기억시스템도 반도체가 담당할 가능성을 갖게 된다. 이렇게 볼 때 앞으로 메모리 소자의 중요성은 지금 보다는 더 중요하다고 생각하지 않을 수 없다. 대용량, 고속의 메모리 소자에 대한 연구 개발에 대한 투자가 집중될 것으로 생각된다.

한편, logic IC도 memory IC 기술개발에 힘입어 집적도를 높여 왔다. Gate array와 스탠더드셀(cell)을 시작으로 하는 ASIC(application specific IC) 분야에도 주목하지 않을 수 없다. 디지털 TV의 개발에 비추어 보듯이 급부하는 화상 처리용 IC와 그 주변 IC 분야가 특히 집중될 것인데, custom적인 요소를 다분히 함유한 다기능, 다양성화를 주요점으로 한 ASIC의 중요성이 높아져 오고 있다. 이 ASIC 연구 개발의 주요 관건은 회로설계 능력인데 CAD에 따른 자동화가 중심과제로 된다. 한 chip에 어떤 system을 실을 것인가?

어떻게 system을 정의하고 logic을 결정해 layout 할 것인가 하는 문제에는 CAD에 따른 자동화가 중요한 관건이 된다. 또 현재 IC는 평면적인 단계에 머물고 있지만, 인간 두뇌는 수억개의 세포가 입체적으로 구성되어 있듯이, 3차원 공간을 정보가 날고 얽혀 최종적으로는 한데 뭉쳐 동작하는, 즉, 학습능력을 갖춘 IC의 출현도 고대하고 있다.

Ⅲ. 化合物 반도체

'70년대부터 본격적으로 연구가 진행되어 온 化合物 반도체는 캐리어의 높은 이동도, 발광성, 내열성, 내방사능 등의 여러 장점으로 인해 세인의 주목을 받아 왔으며 또 실리콘으로는 해결하지 못하는 여러 형태의 소자를 만들어 내는데 기여하여 왔다. 대표적인 化合物 반도체로는 GaAs를 들 수 있다. GaAs의 주요한 응용분야는 발광소자, 극초단파 발진자, GaAs IC이다.

실리콘이 간접 천이형 금지대를 갖고 있는 반면 GaAs는 직접 천이형 금지대를 갖고 있어 전기 신호를 빛으로 변환시킬 수 있는 발광성을 갖고 있다. 이 특성을 이용하여 LD(laser diode), LED(light emitting diode) 제조하여 광통신과 광자기 disc 등의 분야에 응용되고 있다.

특히 光磁氣 메모리를 이용한 audio video 시스템의 시장이 확대되어 감에 따라 주목받고 있다. 캐리어의 높은 이용도를 이용하여 HEMT(high electron mobility transistor)와 high speed super computer의 main CPU로의 응용 또한 주목받는 분야가 되었다.

또한 스위칭 시간이 실리콘 보다 훨씬 빨라 10GHz 이상의 microwave의 발진素子로 응용되고 있는데 활발한 우주산업과 위성통신 산업에 발맞추어 그 활약이 기대되는 분야이다.

현재 GaAs의 기술수준을 실리콘에 비유해 보면, 실리콘의 발전단계 TR→IC→LSI→VLSI→ULSI 中 IC와 LSI의 중간정도 수준에 와 있다. '80년대 초반까지만 해도 GaAs가 실리콘을 완전히 대체할 수 있는 재료라고 까지 생각해 왔지만 그간의 실리콘 기술의 발달로 볼 때 실리콘을 代替한다기 보다는 각각 독자적인 고유의 수요 증가가 예상된다는 것이 전문가들의 견해이다.

한편 GaAs는 무결함 결정의 성장이 어려운점, 單價가 높은 점 등의 결점과 Epi층 성장 기술의 발달로 인해 실리콘과 GaAs의 장점을 결합하는 구조-실리콘 wafer 위에 GaAs Epi층을 길러 素子제조-로 하는 연구개발이 두드

러진다. 결국 化合物반도체 기술의 주된 방향이 될 것이다. 이의 특정 분야에 이용되고 있는 非晶質 반도체라든가 Bio-chip 같은 分野도 활발한 研究가 진행되고 있다.

IV. 國內 半導體의 문제점과 展望

국내 반도체 산업은 1965년 高美半導體가 처음 트랜지스터를 조립한 것을 효시로 하여 20여년이 경과하였지만 본격적으로 반도체 산업에 資本을 投資하고 개발에 착수한 것이 80년대를 들어서면서였다. '84년 64K DRAM, 16K SRAM 제조 성공을 필두로 '85년에 256K DRAM, 64K SRAM을 '86년에 1M DRAM, 256K SRAM 제조에 성공하였듯이 반도체 산업은 급성장하여 뒤늦었던 출발을 만회하려는 듯 美國, 日本을 바짝 뒤쫓고 있다. 그러나 반도체 산업의 짧은 역사 속에서 급성장한 이면에는 많은 문제점이 도사리고 있었고, 이 문제점들이 노출되었다.

또 한번의 도약을 위해서는 반드시 넘어야 할 문제들인 것이다. 우선 지금까지 반도체 산업의 문제점을 몇가지로 요약해 보면,

- (1) 回路設計 技術의 부족
- (2) 基礎研究와 전문 인력의 부족
- (3) 관련 산업의 미발달
- (4) 半導體 産業 戰略의 미흡

을 들 수 있겠다. 반도체 제조기술면에서는 1M DRAM을 제조할 수 있는 수준까지 도달하여 거의 세계 정상 수준까지 다달았다는게 전문가들의 공통적인 견해이나 회로 설계 기술면에서의 처짐은 시인하지 않을 수 없다. 바빠 동등한 제품으로 반도체 시장에서 경쟁하기 위해 어쩔 수 없었다는 것은 변명일 수 밖에 없다. 회로 설계 기술을 비싼 로열티를 주고 사와야 하기 때문에 발생하는 가격상승은 차치하고라도, 반도체 산업을 선도하기 위해서는 필수 불가결 하기 때문이다. 짧은 시간에 급격한 팽창을 시도 했으므로 반도체 기술인력이 모자람은 감수할 수 밖에 없는 문제인데 한 국전자기술연구소 등에서 단기 program을 개발하여

전문 인력의 공급에 노력하였지만 모자라는 수를 채우는 역부족이었다.

투자면에서의 중복도 극복해야 할 문제인데, 소규모의 투자로 기술 발전후 어느정도 경쟁 가능한 시점에서부터 지금과 같은 대규모의 투자가 이루어져야 했다는 아쉬움이 남는다.

반도체 산업은 기술 집약적인 산업이긴 하지만 일종의 장치산업이기도 하다. 모든 장비는 미국과 일본으로 부터 도입한다. 제조장비는 고가일 뿐 아니라 유지보수면에서도 어려움을 안고 있다. 또 웨이퍼 chemical 등 原副資材일체를 수입해야 하는 관계로 원가 상승 요인이 됨과 동시에 국내 반도체 산업이 外國의 次재 공급에 좌우되는 위험한 상태가 된다. 최근 들어서 원자재와 시설재의 국산화가 차츰 이루어지고 있기는 하나 미흡한 실정이며, 정부의 정책적인 배려가 필요하다고 하겠다.

위와 같은 어려움에도 불구하고 우리나라 반도체의 앞날은 그리 어렵지만은 않다. 높은 교육열과 양질의 풍부한 노동력이 발전의 원동력이 될 수 있기 때문이다. 정보 및 장비의 공동이용과 협력이 필요한데 4M DRAM의 연구 개발에서 그 구체적인 노력이 드러나고 있다.

V. 맺음말

반도체 기술의 방향 및 우리의 문제점을 나열해 보았다. 그동안 우리가 비싼 댓가를 지불하고 노력한 것이 헛되지 않도록 더 많은 생각과 노력이 필요로 된다. 금후 반도체 산업이 머무르는 곳이 곧 우리나라의 위치가 된다. 역사는 순환된다고 한다. 선조들이 도자기 문화를 세계 제일의 것으로 꽃피웠듯이 우리 반도체를 꽃피워야 한다. 외부의 어떤 어려움에도 생명의 불꽃을 사그리지 않았던 강인함이 우리 민족의 핏속에는 흐르고 있다. 많은 결실이 있었지만 아직 시작일 뿐이다. *

◆ 用語 解説 ◆

국제해사위성기구 (INMARSAT : International Maritime Satellite Organization)

해사 공중 통신, 조난 안전 통신등의 개선에 공헌하는 것을 목적으로 1979년에 설립되었으며 1982년부터 세계 연안 지역에 위성을 통한 각종 통신 서비스를 제공하고 있다. INMARSAT의 주요 통신 서비스는 전화, 텔렉스 및 데이터 전송등의 공중통신 서비스와 해상 조난에 대비하고 인명 안전을 위한 해상 안전 및 구조 목적의 통신 서비스가 있다.