

半導體 技術의 展望

朴 榮 俊
(金星半導體(研)責任研究員)

■ 차 례 ■

- 1. 머릿 글
- 2. 반도체 이야기
- 3. 반도체 기술의 역사
- 4. 한국의 반도체 기술
- 5. 맺는 말

① 머릿 글

요즈음 첨단기술 운운하며 반도체가 많은 사람들의 화제의 대상이 되고 있다. 또한 우리나라에서도 갑자기 믿어지지 않는 숫자의 기억 용량을 가진 메모리 칩을 개발해 냈다고 참으로 자랑스러웠던 것이 었그제 같은데 갑자기 일본이 덤핑을 해서 손해를 본다고 하는 듣기 거북한 뉴스가 들려온다. 그래서 반도체 산업에 종사하는 한사람으로서 반도체 기술의 세계적 경향과 우리의 좌표를 생각해 봄으로써 우리의 반도체 연구 개발의 방향을 잡는데 조금의 도움을 줄 수 있으면 하는 희망으로 이 글을 쓴다.

② 반도체 이야기

이 세상에 존재하는 물질은 얼마나 전기를 잘 통하는가에 따라 도체와 부도체로 대별할 수가 있다. 설명할 필요도 없이 도체란 전기를 잘 통하는 것이고 그렇지 못한 것이 부도체일 것이다. 예를 들어 금, 은, 구리 따위가 전자에 속하고 유리, 종이 등이 후자에 속한다. 그런데 반도체의 '半'은 중간 쪼뼛된다는 뜻이므로 반도체란 문자 그대로 전기를 반쯤 흘릴 수 있는 물질을 가리키는 말일 것이다. 그런데 어찌서 이 반밖에 안되는 물질이 기억도하고 계산도 해낼 수 있는지를 잠시 생각해 보자. 도체에 건전지를 가하면 전기(혹은 전류)가 통한다. 여기서 건전지

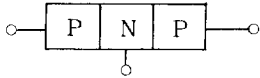
의 양극과 음극을 바꾸어 놓아도 마찬가지로 같은 양의 전기가 통하게 될 것이다. 이 점은 반도체의 경우도 마찬가지이다. 그런데 반도체에 있어서 특이한 점은 여기에 약간의 다른 물질(혹은 불순물이라 부른다)을 주입함으로써 이반도체의 성질을 용이하게 바꾸어 놓을 수 있다는 점이다. 예를 들어 반도체의 왼쪽에 P라는 불순물을 넣고 오른쪽에 N이라는 불순물을 넣으면 전기가 왼쪽에서 오른쪽으로 잘 흐르지만 오른쪽에서 왼쪽으로는 흐르기가 힘이 들게 된다.

기왕에 P와 N등의 전문적인 말이 나왔으니 이에 대해 잠시 생각해 보기로 하자. 반도체에다 원소 주 기유포에서의 5가의 원자를 주입하면 반도체내에 자유 전자가 많이 생겨 이 자유전자가 전류를 쉽게 흘리게 된다. 이러한 반도체를 N형 반도체라고 한다. 반대로 반도체에 3가의 물질을 주입하면 자유 전자대신 빈자리(이것을 '홀'이라 한다)가 많이 생기게 되는데 이러한 반도체를 P형 반도체라 한다. P형 반도체에 전압을 가했을 때, 빈자리 부근의 전자(자유 전자가 아닌 구속 전자)들이 이 빈자리를 메워 나감으로써 전류를 흘리게 된다. 이는 마치 목욕탕 물 아래에 어떤 이유에 기포가 생겼을 때 이 기포를 물이 메워 줌으로써 이 기포가 위로 떠오르는 것과 같다. 빗방울이 위에서 아래로 떨어지는 것을 N형 반도체의 자유 전자에 비유한다면 목욕탕의 물(구속 전자)에서의 기포는 '홀'에 해당된다고나 할까? 이러한 성질, 즉 약간의 불순물의 주입으로 전기적 성질을 쉽게 변화시킬 수 있다는 것이

오늘날의 반도체가 여러 응용분야를 가지게 된 근본 이유가 된 것이다. 서론이 약간 길어졌는데, 이러한 반도체의 기본 지식을 가지고 우리의 반도체 기술 및 방향에 대해서 같이 생각해 보기로 하자.

3 반도체 기술의 역사

반도체는 전체 시스템(작게는 TV나 탁상용 계산기로부터 크게는 범용 전자계산기나 통신 시스템에 이르기까지)의 부품이기 때문에 시스템의 필요성에 의해 창출되었다. 즉 1945년 미국 Bell 연구소 소장이었던 M.J. Kelly가 통신시스템이 기존의 진공관보다 더 신뢰성이 높은 전자 스위치나 증폭기를 필요로 한다고 예견하고, 이에 고체(즉 반도체)를 사용하기 위한 Project를 출범시켰다. 그로부터 3년 후, 앞에서 설명한 바와 같이 반도체에 불순물을 주입하는 아이디어가 Shockley에 의해서 고안되어 2년 후 최초의 소위 트랜지스터가 탄생되었다. 이는 아래 그림과 같이 P형 반도체 사이에 N형 반도체가 끼워져 있는 구조를 가진다. 여기서 P와 P사이에 전압을 걸면 왼쪽 P와 오른쪽 P



사이에 전류가 흐르는데 그 중의 극히 일부가 N에서 걸러져 그쪽의 단자로 흘러 나오게 된다. 따라서 역으로 N의 단자에서 약간의 전류를 변화시킴으로써 P와 P사이의 전류를 크게 변화시킬 수 있으며(이를 증폭작용이라 한다) 또는 N에 전류를 차단시킴으로써 P와 P사이에 전류를 못흐르게 할 수도 있게 되었다(이를 스위치작용이라고 한다).

그후 위의 원리와 다른 MOS라는 구조의 트랜지스터가 출현하였지만 현재의 반도체 제품의 거의 대부분이 이러한 성질을 가진 트랜지스터의 조합들이라 생각해도 큰 잘못이 없을 것이다. 반도체 제품이 하나의 부품인 만큼 보다 큰 시스템의 요구에 의해서 창출되었지만, 이 반도체의 출현 및 발전만큼이나 그 시스템 자체의 발전의 역사를 바꾼 예는 없을 것이다. 이는 철기시대의 출현이 인간의 생활을 바꾸어 놓은 것과 흡사하다고나 할까?

반도체 기술의 발전 역사는 처음 트랜지스터가 발명되고 난 10년 후, 각각의 트랜지스터를 반도체 기관위에 동시에 만들고 이를 반도체내에서 연결하여 회로를 만드는 소위 IC(직접회로)의 출현으로 새로운 전기를 맞이하게 되었다. 즉, 하나 하나의

트랜지스터를 만들어 나중에 납땜으로 선을 연결, 회로를 만드는 것보다도, 아예 처음부터 넣음으로써 가격의 저렴화 및 소형화, 그리고 신뢰도의 향상 등을 실현하게 되었다. 이에 비해 종래의 개개의 트랜지스터 群을 discrete 소자라고 부른다. 그로부터 세계의 과학기술자들은 주변기술의 발전에 힘입어 엄청난 집적도를 실현하게 되었는데, 집적도란 한개의 반도체 칩(새끼 손톱의 크기 정도)에 몇개의 소자를 집적할 수 있는냐의 척도를 말한다. 당시 미국 INTEL사의 Moore는 이 집적도가 1년에 2배정도는 증가하게 될 것이라고 예견하였다. 이를 흔히 Moore의 법칙이라고 하는데 그림1은 실제로 반도체의 집적도가 얼마나 급속히 발전되었는지를 보여주고 있다. 그림에서 SSI, MSI, LSI, VLSI

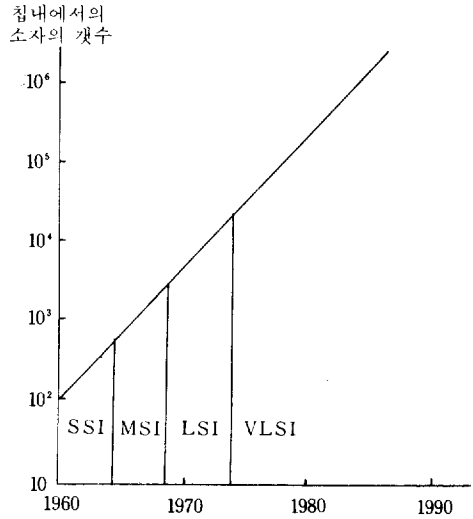


그림 1. 메모리 칩 집적도의 발전 속도

는 각각 Small, Medium, Large, Very Large Scale Integration의 약자이며 현대는 VLSI의 시대로서 한개의 칩에 만개 이상의 소자를 집적시키고 있다. 실제로 매년 개발되어 온 집적도를 각 회로의 종류별로 보면 메모리 칩은 비교적 규칙적인 회로의 형태를 가지기 때문에 계산이나 논리적 판단을 수행하는 논리 칩(마이크로 프로세서 등)에 비해 집적도가 높다는 것을 알 수가 있다. 그리고 전체적으로 보면 집적도가 Moore의 예측보다는 낮지만 그 발전 속도는 예측과 비슷한 경향을 보인다.

그러면 왜 세계의 과학기술자들이 집적도의 향상을 위해 노력해 왔는가? 물론 부품들의 연결 배선 등이 생략됨으로써 시스템의 신뢰성의 향상이나 시스템의 소형화 등의 이유도 있겠지만, 역시 중요한 것은

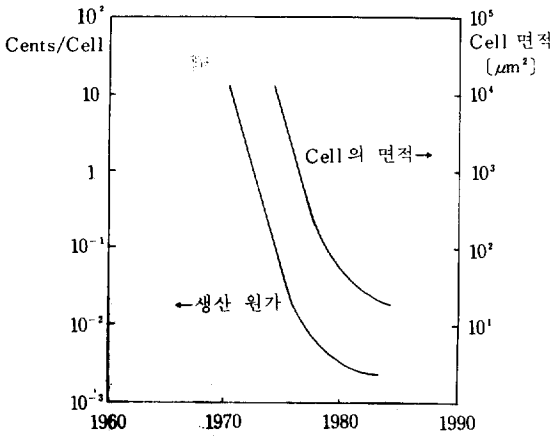


그림 2. 메모리 칩에서 1개의 셀 가격 및 면적의 변화

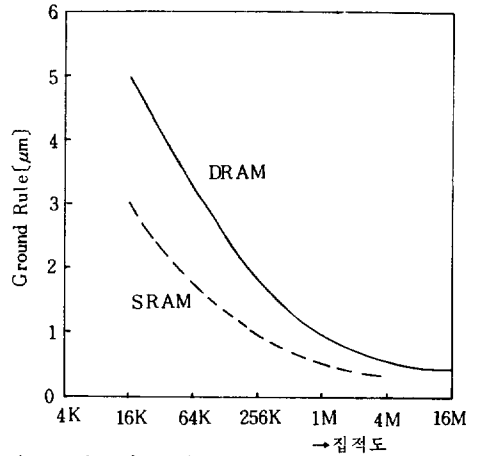


그림 3. 메모리 칩의 집적도와 Ground Rule의 관계

가격의 저렴화이다. 즉 반도체 칩 내에 많은 소자를 집적시킴으로써 소자 하나의 생산 원가가 극적으로 떨어졌다는 것이다. 한 예로 그림2에서 메모리 칩의 생산원가의 추세를 보자. 그림에서 셀(Cell)이란 정보를 기억시키는 단위로서, 요즘은 시판되는 256K DRAM은 한개의 칩에 25만개 이상의 셀이 존재한다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 1970년에 한개의 셀 당 약 0.3센트의 제조원가가 들었는데, 1980년도의 원가는 약 0.005센트로 떨어졌다. 1985년 현재 64K DRAM의 제조원가가 약 1불이라고 하고 이를 64000로 나누면 셀당 0.0015센트 정도가 된다는 것을 알 수가 있다. 즉 10년 사이의 생산원가가 500배 이상이 줄어들었다는 결론이 나오게 된다. 물론 메모리 칩은 극단적인 경우이긴 하지만, 이와 같은 제조원가 하락을 보인 생산품이 또 있을까 하는 정도로 극적인 감소 추세를 보여왔다. 또한 그림에서 하나의 셀이 차지하는 반도체의 면적(집의 평수에 비유할 수 있다)을 마이크로론으로 보이고 있다. 1마이크론이 1/1000mm이므로 얼마나 작은 면적인지 상상이라도 할 수가 있을까? 여기서 재미있는 것은 제조 원가가 셀의 면적과 비슷한 추세를 보이고 있다는 것이다. 즉 한개의 셀이 차지하는 면적이 작아질 수록 많은 셀을 가진 칩을 만들 수가 있고 따라서 제조원가가 절감된다는 뜻이 될 것이다.

그러면 이러한 집적도의 발전이 가능하게 된 요인은 무엇인가? 첫째로 미세 가공기술의 발전이다. 즉 반도체 기판 위에 많은 수의 소자들을 집적해 넣기 위해서 미세한 선을 정의해야 하므로 이를 위한 광학기술, 플라즈마 식각기술, 불순물 주입기

술, 그리고 반도체위에 도체나 절연체 층을 형성시키기 위한 thin film기술 등이 포함된다. 또한, 트랜지스터를 포함한 소자가 소형화됨에 따라 그 소자의 최적화 설계, 컴퓨터를 이용한 해석 및 모델링 기술, 그리고 회로설계의 자동화(CAD)등이 발전하였다. 이러한 미세 가공 기술능력과 소자 설계능력을 나타내는 하나의 척도로서 Ground Rule이라는 말을 쓰는데, 이는 어떤 반도체 연구실이나 공장에서 설계 및 제조를 할 수 있는 최소한의 회로 선폭을 말한다. 당연히 집적도가 향상되기 위해서는 회로의 선폭이 작아져야 할 것이다. 그림3은 메모리 칩의 일종인 DRAM과 SRAM의 집적도와 이에 필요한 Ground Rule을 보인 것이다. 예를 들어 64K DRAM은 3마이크론, 256K DRAM은 2마이크론, 그리고 내년 초면 시생산품이 나오는 1M DRAM은 1내지 1.3마이크론 정도의 Ground Rule을 필요로 하게 된다. 따라서 현재 미세 가공에 있어서의 최첨단 수준은 1내지 1.5마이크론이고 수년 내지 1마이크론보다 작은 Ground Rule을 가지는 칩의 생산이 제조 공장에서 성공을 거둘 수 있으리라 예측할 수가 있다.

4 한국의 반도체 기술

이미 언급하였지만 반도체 기술이란 단순히 미세 가공 기술만이 아니고, 소자 및 회로설계 그리고 주변 지원기술등을 포함하고 있다. 따라서 세계속의 한국의 반도체 기술 수준의 좌표를 잡는 것은 그리 쉬운 일이 아닐 것이다. 따라서 몇개의 사실을 생각해 봄으로써 앞으로의 우리의 방향을 잡는

데 도움이 되도록 하면 좋겠다.

먼저 기술 축적의 정도를 생각해 보자. 특기할 사항은 반도체 산업이 대단히 첨단 기술을 필요로 하는 산업이면서도 실제로 시작에 있어서는 우리나라가 세계에서 그리 늦지 않았다는 점이다. 즉, IC의 출현이 1960년대 초반이고 국내에 있어서는 1970년대 초반이므로 기껏해야 10년여 밖에 차가 나고 있지 않다. 그로부터 또한 10여년동안 우리나라가 얼마나 반도체의 기술 축적에 노력해 왔는가에 대하여 생각해 보자. 먼저 인력에 대해서 생각해 보자. 그림4는 1970년부터 1980년 사이에 미국과 일본에서 배출된 전기공학 전공자의 숫자를 비교한 그림이다. 그리고 한국에서의 전기 및 전자공학 학사의 배출수를 추정된 것을 점선으로 표시하였다.

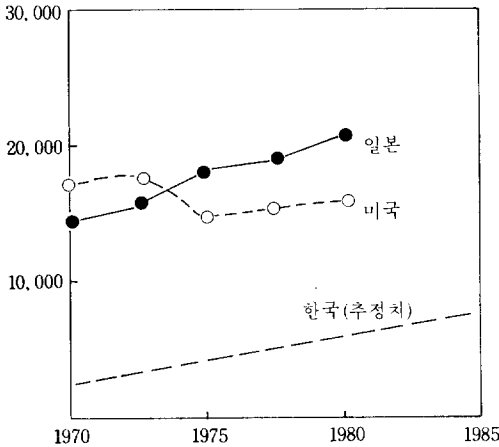


그림 4. 미국, 일본, 한국의 전기 및 전자 공학사의 매년 배출수

과학기술자로서의 활동 연한을 20년 정도로 잡았을 때(실제로 한국에서는 이보다 짧고 미국, 일본의 경우는 길 것이다) 전기 및 전자 관련 인력의 비는 미국, 일본, 그리고 한국의 순으로 0.9:1:0.1 정도로 계산할 수 있다. 비슷한 비가 반도체 분야에서도 적용될 것이라고 가정할 수가 있을 것이다. 여기서 숫자로 나타내기는 힘들지만 교육의 수준이나 타분야로의 방향 전환등을 생각하면 더욱 차이가 날 것으로 추측된다. 따라서 선진국과의 경쟁력을 높이기 위해 과학인력의 양적 증가 및 질적 향상을 위해서 노력하여야 하겠다.

그동안 국내에서의 반도체 기술에 대한 연구개발의 척도를 세계의 수준과 비교해 볼 수 있는 한 예로서 매년 미국에서 개최하는 반도체 기술 분야에 최대학회인 IEDM과 ISSCC에서 발표된 논문의 수

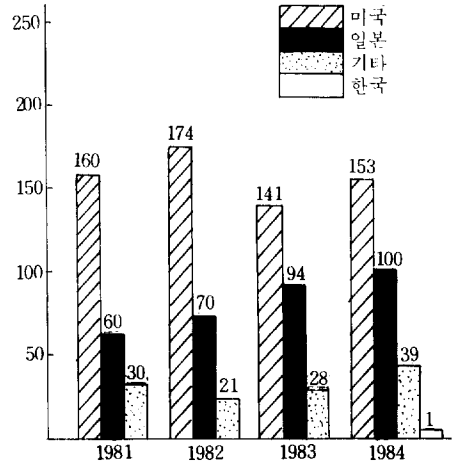


그림 5. 매년 IEDM과 ISSCC에서 발표된 논문의 나라별 분류

를 미국, 일본, 기타의 순으로 분류해 보면 그림5와 같다. 참고로 설명하면 반도체의 가공기술과 소자의 설계기술에 치중한 것이 IEDM이고 회로의 설계에 중점을 둔 것이 ISSCC이다. 그림에서 알 수 있듯이 1984년의 IDEM의 한 예를 제외하고는 한국에서 나온 논문은 전무하다. 이 논문의 총 숫자를 현재 활동하고 있는 전기 및 전자 분야의 과학기술자의 숫자로 나누면 한 사람이 반도체 기술 분야의 학회에 최근 4년간 발표한 논문의 수가 되는데 이를 미국, 일본, 한국의 순으로 표시하면 미국이 500명에 1편, 일본이 1,000명에 1편 그리고 한국은 60,000명에 1편이 된다. 물론 논문의 발표수는 그 외의 논문지가 많을 것이므로 이보다는 많을 것이다. 그러나 그 비는 대강 맞으리라 가정할 수가 있다.

이와 같이 국내 대학이나 연구소의 국부적인 노력에도 불구하고 전체적으로 비교하면 우리나라의 반도체 기술 축적의 정도는 미국이나 일본에 비해서 많이 떨어진다는 것을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 지난 수년 간, 미세 가공기술에서 괄목할 만한 발전을 가져왔다. 즉, 최근 국내의 반도체 선두업체들에 의해서 공정이 개발된 DRAM, SRAM 등의 메모리 칩과 마이크로 프로세서 칩이 그것이다. 이러한 기술 발전의 추세를 앞장에서 설명한 Ground Rule로 표시하여 세계의 기술 수준과 비교한 것이 그림6이다. 그림에서 알 수 있듯이 이대로의 발전 추세를 계속한다면 반도체의 가공기술에 있어서 1986년까지 1987년이면 세계 수준에 합류할 수가 있을 것이다. 이러한 급속한 발전의 이유에는

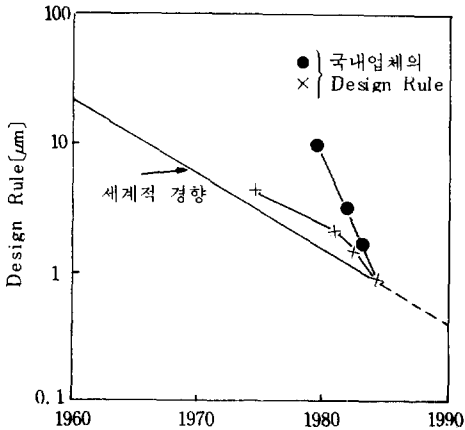


그림 6. Design Rule의 세계적 경향과 국내 선두업체의 경향
(After Drs. Hee-Gook Lee & Kwiro Lee, "Semiconductor Fabrication Technology Requirement toward 1990", to be presented)

여러가지가 있겠지만 기업의 과감한 투자와 국내에 고급인력이 어느 정도 확보되었다는 데 있다고 생각된다. 그러나 간과해서는 안될 점은 반도체 가공기술이 어느정도 표준화되었다는 것이다. 즉 반도체 기술도 여타의 공산품과 마찬가지로 정도의 차이는 있겠지만, 설비만 있으면 대단한 Innovation이 없어도 가능한 시대가 되었다는 점이다. 그림2에서 우리는 메모리 칩에서의 셀의 제조 단가가 대단히 빠른 속도로 떨어졌다는 것을 보았다. 이는 반도체 업체가 설비만 있으면 연구개발의 투자없이도 제품을 생산해 낼 수가 있었던 시대가 되었다는 것을 뜻하기도 한다. 그런데 그림에서 보면 알 수 있듯이 최근에 와서 그 감소율이 둔화되고 있다. 이는 반도체 칩의 Ground Rule이 작아질 수록 이러한 표준화된 기술이 더 이상 예전과 같이 생산 원가를 낮추어 주지 못하고 있다는 것을 나타낸다. 이에 여러가지 이유가 있겠지만 가장 중요한 이유 중의 하나가 반도체 제조 공정에서의 여러 결합(특히 광학적인 결합)이 줄어들지 않기 때문에 불량율이

높아진다는 데 있다. 따라서 앞으로의 반도체 기술이 미세 가공기술에만 의존하여 발전한다면 이러한 문제점에 봉착할 것은 자명한 사실로 여겨진다.

여기서 우리의 반도체 기술의 방향에 대해서 생각해 보기로 하자. 국내의 현재 미세 가공기술의 수준이 수년 내이면 세계 수준에 오를 것이라고 앞에서 언급하였거니와 이러한 연구 개발은 지속되어야 한다. 이는 현재 다른 분야에서도 이야기되고 있는 품질의 고급화와 무관하지 않다. 즉 반도체 칩의 단가가 비싸더라도 그 자체의 장점(예를 들면 고속의 정보처리능력 등) 때문에 수요는 언제나 있으며 그 수요를 찾거나 창출하도록 노력해야 한다. 또한 미세가공 기술의 개발과 함께 생산 원가의 절감에 노력하여야겠다. 이는 특히 메모리 칩에 해당되는데, 반도체 생산 라인의 operation 및 생산 기술의 발전에 의해서만이 가능하다. 국내에서는 아직 거론되고 있지 않은 듯이 보이지만 반도체 라인의 자동화(Automation)는 이러한 맥락에서 속히 연구 검토되어야 할 것으로 믿는다. 이에 의해 그림2에서의 곡선이 1980년대 중반 이후에도 계속 떨어지도록 노력하여야겠다.

5 맺는 말

이제까지의 반도체 기술의 세계적 경향과 단편적으로나마 한국의 기술수준 및 방향에 대해 살펴보았다. 한국은 부족한 기술 축적에도 불구하고 지난 수년 간, VLSI 가공기술에 괄목할 만한 발전을 보여 이대로의 추세라면 가까운 미래에 세계의 수준에 오를 수 있을 것이다. 이를 위해서는 정부와 기업의 과감한 투자와 기술 방향의 설정이 잘 이루어져야 할 것이다. 즉, 기술의 고급화와 반도체 생산의 자동화가 그것이다. 그리고 이들을 주도 할 수 있는 고급인력의 양성을 위한 대학의 역할 및 산학협동의 중요성도 강조되어야겠다. 그리고 부연할 점은, 전체적인 반도체 기술의 발전을 위하여 미세 가공기술만이 아니라 설계기술과 CAD등의 발전, 그리고 Discrete소자도 같이 포함되어야 한다는 것이다.