

반도체 이야기

최 병 두

(서울대학교 자연과학대학)

◇ 머리말

광석점과기로 부터 시작된 반도체의 연구는 1948년 트랜지스터의 발명을 계기로 본격적인 막을 열었다고 할 수 있다. 그후 30년이 지난 오늘날 이 반도체는 과학계 뿐 아니라 우리의 일상생활양식까지도 크게 변혁 시켜 놓고 있다. 그래서 오늘날의 과학문명을 구조소문명이라고 일컫게 되었는데 이는 반도체의 주역을 맡고 있는 것이 Si 즉, 구조소이기 때문이다.

반도체처럼 짧은 시간 사이에 급속히 발전한 분야는 없다. 새로운 고급 과학기술은 일반적으로 군사목적으로 이용되거나 특수 공업분야에 응용되는 것이 보통이었으나 반도체기술은 군용은 물론이고 새로운 우주과학시대를 열게 했을 뿐 아니라 라디오를 비롯해서 TV, 시계, 계산기, 컴퓨터 등 대중속에 더욱 급격히 파고 들고 있는 것이 또한 특색의 하나이다. 트랜지스터가 처음 발명되었을 때는 그 누구도 이 반도체가 현재와 같이 우리 생활속으로 깊이 파고 들리라고는 생각지 못했을 것이다.

이제 이 반도체 기술은 더욱 가속되고 있고 응용분야도 날이 갈수록 확대되어 가고 있어 양적으로나 질적으로 끝모를 발전을 거듭하고 있다. 어찌보면 반도체의 진짜 발전은 과거 30년이 아니라 이제부터가 아닌가 하는 생각을 갖게 한다.

아마도 머지 않은 장래에 일반 가정에도 소형 컴퓨터가 등장 할 것으로 기대 되며 이 컴퓨터가 가계부를 비롯한 가정경제와 가사를 맡아 처리 해줄 것이며, 학생들의 교육, 직장인의 직장 사무까지도 맡아 처리해 주게 되어 우리의 생활은 더욱 편리하고 효과적으로 영위하게 될것이라 생각된다. 이와 같은 반도체 문명속에 살고 있는 우리로서 간단하나마 반도체가 과연 어떤 것인지 한번쯤 눈여겨 살펴 봄직한 일이라 생각한다.

◇ 반도체란 ?

반도체란 문자 그대로 풀이하면 전기를 반쯤

통하는 물질이라는 말이 된다. 모든 물질은 전기를 통하는 정도에 따라 다음 3가지로 분류한다. ① 도체(금속류) ② 부도체(유리, 고무, 플라스틱등) ③ 반도체(Ge, Si, GaAs 등)이다. 지구상에 존재하는 92종의 원소 가운데서 원소 자체가 반도체적 성질을 갖고 있는 것은 Ge, Si, Sn, C 등이고 천연물이 아닌 인공 화합물에는 100여종의 반도체가 있다. 금속과 같은 도체는 그 비저항이 10^{-4} ohm-cm 정도로 작은데 비해 유리나 고무같은 물질은 그 비저항 값이 10^6 ohm-cm에 이른다. 그런데 반도체에 속하는 물질은 비저항이 대략 10^{-2} ohm-cm에서 10^4 ohm-cm 사이에 있어 도체와 부도체의 중간 값을 갖고있다. 그래서 반도체란 말이 생긴 것인데 이와 같은 전기저항의 특성 이외에 어떤 성질을 갖고 있는지 알아보자. 예컨대 Si은 석영이나 장석 속에 산화물로서 천연적으로 많이 존재한다. 여기서 Si만을 뽑아내어 반도체로 사용하게 된다. 이 과정에서 문제가 되는 것은 대단히 순수한 Si을 만들지 않고서는 반도체의 역할을 할 수가 없다는 것이다. 그래서 초기에는 Si을 어떻게 정제 하느냐에 온 힘을 기울인 때도 있었다. 현재로서는 정제기술이 발달하여 그 순도가 10~11nine 즉, 99.99...에서 9의 숫자가 10개에서 11개나 되는 순도까지 올릴 수 있게 되었다. 이말을 바꾸어 보면 10nine인 경우 100억개의 원자중에 하나만이 다른 원자 즉, 불순물이라는 말이다. 지구상의 총인구를 크게보아 100억이라고 생각 한다면 지구상의 모든 인간중 단 한사람만이 불구라는 말과 같다. 이것으로 얼마나 고순도 인가를 알 수 있고 인간의 능력이 얼마나 훌륭한가 하는 것을 짐작할 수 있다.

이렇게 정제된 Si로 만들어진 Si단결정은 거의 절연체에 가까운 전기 전도도를 나타내는데 이와같은 고순도 반도체를 진성 반도체라고 한다.

그런데 여기에 매우 적은 양의 불순물만 들어 가도 전기저항은 큰 폭으로 달라지게 된다. 그렇기 때문에 고순도화가 불가피하게 필요하게 되는 것이다.

이와같이 반도체는, 첫째로 불순물에 민감한 재료이다.

둘째로 반도체는 온도계수가 부(-)이다.

보통 금속과 같은 도체는 온도가 올라감에 따라 전기저항도 커진다. 이것은 전기를 운반하는 전자가 온도에 의해서 진동하는 금속원자에 의해 충돌되어 그 운동이 저해 당하기 때문이며 이 저해도가 원자들의 열진동이 클수록 커지므로 온도가 올라가면 저항이 커지게 마련이다. 그런데 반도체는 이와는 반대로 온도가 올라갈수록 저항이 작아진다. 이와같이 온도가 상승함에 따라 저항이 작아 질때 온도계수는 부가 된다. 반도체는 온도계수가 부일뿐 아니라 그 정도가 매우 커져 전술한바 불순물뿐 아니라 온도에 대해서도 민감한 재료이다. 반도체는 온도가 올라감에 따라 전기를 운반하는 입자(전자 또는 양공)의 수가 증가하기 때문에 온도가 올라가면 전기를 더욱 잘 통하게 되는 것이다.

셋째로 반도체는 빛에 민감하다.

반도체에 빛을 쬐이면 역시 전기저항이 작아진다. 이것은 온도와 마찬가지로 빛에 의해서 반도체 속에 전기의 운반체의 수가 증가되기 때문이다. 이와같은 성질은 광도계나 카메라의 자동조리계 등에 이용되기도 한다.

넷째로 반도체는 전기 운반체 즉, 전자의 이동도(mobility)가 크다.

고주파와 같은 고속 신호에 호응하기 위해서는 전기 운반체가 빠르게 움직여줘야 한다. (이를 mobility라고 한다.)

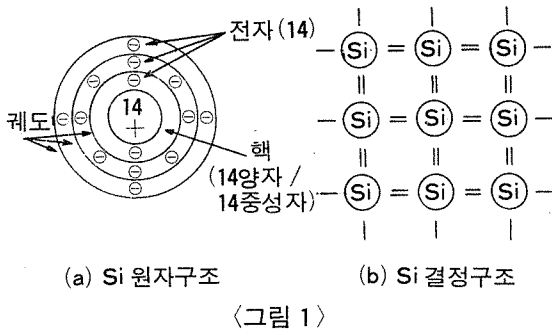
mobility를 크게 하려면 되도록 격자 결함이 없는 완전한 단결정을 만들어야 한다. 그러므로 단결정의 성장기술은 반도체 분야에서 가장 기본이 되는 과정으로서 반도체공업의 주춧돌에 해당하며 이것이 소자의 질을 크게 좌우한다. 경우에 따라서는 mobility가 큰 새로운 반도체 재료를 만들어 내야 할 때도 있다.

◇ 반도체의 p형과 n형

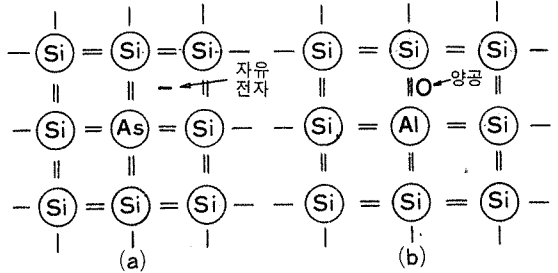
반도체에는 2가지 종류 즉, p형과 n형이 있

다. “+”전하와 “-”전하가 있는 이치와 마찬가지로이다. 또한 사람에게 남자와 여자가 있는 이치와 상통한다.

반도체가 불순물에 민감한 재료라고 하였는데 전기저항이 민감하게 달라질뿐 아니라 불순물의 종류에 따라 p형 또는 n형 반도체가 된다. 그러나 외견상으로나 역학적 성질에는 조금도 변화가 없고 다만 전기적 특성만이 달라진다. Si는 원래 원소 주기율표에서 IV측에 속하는 원소이다. 그래서 <그림 1> (a)와 같이 외각전자가 4개 있다.



이 원자들이 결합해서 결정을 만들면 이 외각 전자 하나가 다른 Si 원자 하나씩을 결합시켜 <그림 1> (b)와 같이 Si 하나의 원자가 주위에 4개의 Si와 결합하게 된다. 이것이 순수한 Si만으로 이루어진 진성반도체의 결정구조이다. (이와같은 결합을 공유결합결정이라 한다.) 여기에 V족 원소인 As을 넣으면 하나의 Si 자리에 As 원자가 자리를 차지하게 된다. 그런데 As 원자는 외각전자가 5개 있으므로 4개의 전자는 주위의 4개의 Si와 결합하는데 쓰이고 나머지 하나의 전자는 <그림 2> (a)와 같이 남아 돌게 된다. 이 남아도는 전자를 자유전자라 하고 이와같이 여분의 자유전자를 갖고 있는 반도체를 n형 반도체라 한다. n형 반도체는 이 자유전자가 결정속을 자유로이 움직이면서 전하를 운반하는 역할을 한다. 한편 III족 원소인 Al 같은 원소를 넣어 결정을 만들면 Al은 외각전자가 3개 밖에 없기 때문에 4개의 Si와 결합할

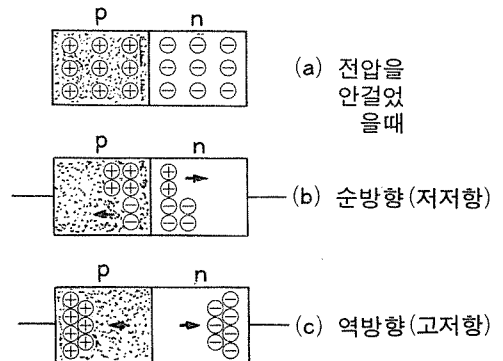


<그림 2> (a) As (주게)가 들어 있는 Si 결정 (b) Al (받게)가 들어 있는 Si 결정

때 <그림 2> (b)와 같이 한개의 전자가 모자라게 된다. 이 빈자리는 전자가 들어갈 수 있는 구멍으로 이를 양공(hole)이라 하고 “+” 전하를 가진 입자와 같은 성격을 띤다. 이 양공이 이동되면서 전기를 운반하게 되는데 이와같이 양공에 의해서 전기전도가 일어나는 반도체를 p형 반도체라 한다. p형 반도체를 만드는 불순물을 받게(Acceptor; 전자를 받는다는 뜻)라 하고, n형 반도체를 만드는 불순물을 주게(donor; 전자를 준다는 뜻)라고 한다. 이렇게 해서 반도체는 p형과 n형 두가지 형이 생기게 된다.

◇ 트랜지스터의 기본이 되는 p-n접합

p형 반도체와 n형 반도체를 서로 붙여 놓은 것을 p-n접합이라 한다. 처음에는 이 p-n접합



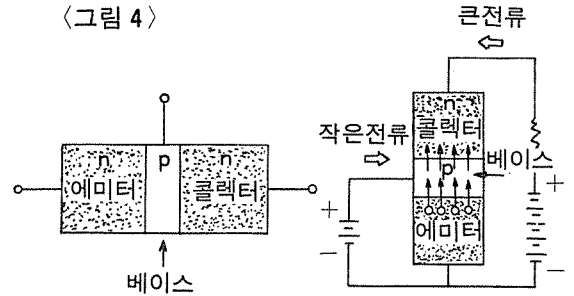
<그림 3> (a) p-n접합 (b) 순방향 전압을 걸었을 때의 경우 (c)역방향 전압을 걸었을 때의 경우

을 어떻게 형성시키느냐는 기술적인 문제가 연구의 핵심이 되기도 하였다. 이 p-n접합의 제작기술이 곧 트랜지스터기술의 기초가 된다. 전술한 바와같이 p형반도체에는 양공이 많이 들어 있고 n형 반도체에는 전자가 많다. 이 두 종류의 반도체를 맞붙여 p-n접합을 만들면 어떤 현상이 일어날까? 복잡한 현상을 생략하고 결과적인 현상을 간단히 알아보면 다음과 같다.

〈그림 3〉(a)는 p-n접합에 외부에서 전압을 걸어주지 않았을 때의 상태를 나타낸 것이다. 여기에 〈그림 3〉(b)와 같이 p형쪽에 전지의 양극을, 그리고 n형쪽에 음극을 연결하면 p형쪽에서 양공이 n형쪽으로 주입되어 음극쪽으로 끌려가고 n형쪽에서는 전자가 p형쪽으로 들어가 양극쪽으로 끌려가 쉽게 전기가 통하게 된다. 이와같이 전기가 잘 통하는 방향을 순방향이라 한다. 그러나 반대로 n형쪽에 양극, p형쪽에 음극을 연결 했을때는 〈그림 3〉(c)와 같이 n형속의 전자는 양극쪽으로 쏘리고 p형속의 양공은 음극쪽으로 몰리게 되어서 전자와 양공이 서로 분리되는 상태가 되어 접합 부근에는 전기를 운반하는 운반체가 없는 상태가 된다. 따라서 이와같은 상태에서는 전류가 흐를 수 없게 된다. 실제로 수 10 Volt 이상을 걸어도 전류는 흐르지 못한다. 이와 같이 전류가 흐르지 못하는 방향을 역방향이라 한다. 또 한쪽 방향으로만 전류가 흐르게 되는 작용을 정류작용 이라고 하며 검파작용은 정류작용의 일종이다. 그래서 p-n접합을 정류소자 또는 「다이오드」라고 한다. 이 반도체 다이오드는 그 특성이나 크기 등이 다양해서 그 종류가 무려 수천종에 이른다.

◇ 트랜지스터와 IC

트랜지스터는 p-n접합 두개로 이루어져 있다고 볼 수 있다. 〈그림 4〉(a)는 트랜지스터의 한 구조를 나타낸 것으로 n형 반도체 사이에 매우 얇은 p형 반도체가 끼워져 있다. 이와 같은 트랜지스터를 npn형이라고 하고 각 부분을 에미터(주입부), 베이스(기본부), 콜렉터(수집부)



(a) 트랜지스터의 구조 (b) 트랜지스터에 거는 전압과 동작원리 전자는 베이스를 건너 콜렉터로 들어간다.

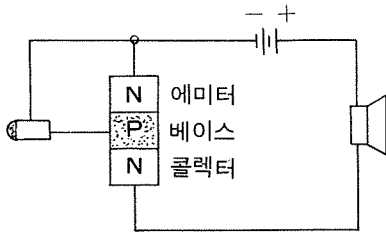
라 부른다.

또 한가지 트랜지스터는 npn형이라고 하는데 이것은 에미터와 콜렉터가 p형이고 베이스가 n형이다.

트랜지스터에 〈그림 4〉(b)와 같이 전압을 걸어보자. 그러면 에미터와 베이스 사이에는 순방향으로 전압이 걸려 있어서 전류가 잘 흐르게 되어 있다. 즉, 전자는 에미터에서 베이스로 쉽게 주입된다. 반대로 베이스와 콜렉터에는 역방향으로 전압이 걸려 있어서 전류가 흐리기 힘들게 되어있다. 그러나 베이스는 대단히 얇게만 만들어져 있어서 에미터에서 베이스로 주입된 전자는 거의 그대로 베이스를 지나 콜렉터로 건너 가게 된다. 그래서 결과적으로 에미터에서 주입된 전자의 대부분이 그대로 콜렉터로 흘러 들어가고 매우 작은 약간의 전자만이 베이스로 흐른다. 실제로 콜렉터에 흐르는 전류는 베이스에 흐르는 전류의 100 배까지도 된다.

이것을 전류증폭율이라고 한다. 그러니까 트랜지스터는 에미터와 베이스 사이에 순방향으로 약간의 전류만 흘러줘도 에미터와 콜렉터 사이에는 큰 전류가 흐르게 된다. 이와같은 작용을 증폭작용이라고 하는데 이 증폭작용은 전자공학에서 가장 기초적이고 유용한 것이다. 극히 작은 전파신호를 크게 증폭하여 필요한 만큼의 강도로 올린다든지 할때에는 항상 증폭이 필요하다. 실제로 라디오나 TV의 전파가 안테나로 들어와 이것을 사람이 보고 들을 수 있게 하려

면 수천만배의 증폭이 필요하다. <그림 5>는 이와 같은 증폭작용을 그림으로 알기 쉽게 나타내 본 것이다. 마이크로폰에서 나오는 미약한 신호가 에미터와 베이스 사이에 가해지면 전술한바 대로 에미터와 콜렉터에는 큰 전류가 흘러 스피커를 울리게 된다. 이때 증폭에너지는 전지에서 공급된다.



<그림 5> 트랜지스터의 간단한 이용예

하나의 얇은 Si 환(Si 웨이퍼라 한다.)에 트랜지스터를 수십개 만들어 넣어 하나의 기능을 발휘하는 회로를 구성하도록 만든 것을 집적회로 즉, IC라고 한다. 이 IC 기술은 빠른 속도로 발전되어 현재로는 LSI(대형 IC), VLSI(초대형 IC) 등이 시판되고 있다. LSI는 소자수가 200~1000개, VLSI는 소자수가 10,000개 이상이나 들어있다. 되도록 많은 소자를 보다 고밀도로 제작하려는 노력은 오늘도 계속되고 있으며 거의 이론적으로 가능한 극한에 접근하고 있다. 이미 소형 컴퓨터는 물론 인간의 두뇌를 대신하는 복잡한 일을 처리하는 LSI도 제작된다.

앞으로 기계도 IC가 조작하게 될 것이며 나아가 여러가지 일을 처리해주는 「로봇」시대가 머지 않으리라 여겨진다.

◇트랜지스터 이외의 반도체소자

지금까지는 Si 만을 대상으로 생각해 왔다. 그

러나 반도체에는 Si 이외에 전술한 바 수많은 화합물 반도체에 대한 간단한 소개로 대신할까 한다.

화합물 반도체 중에서 성공적으로 실용화된 소자는 GaP라는 인공적 화합물 결정에 의한 발광 다이오드(LED)이다. 이 발광 다이오드는 전기 에너지를 발열과정없이 그대로 광에너지로 바꾸어 빛을 내는 소자이다. 이 구조는 보통 다이오드와 같은 p-n 접합이다. 여기에 순방향으로 전류를 흘리면 빛을 내는데 이 빛은 보통 백열전구와 같이 전기가 어떤 물질을 가열시켜서 나오는 빛이 아니라 GaP라는 반도체의 특성에 의해서 p-n 접합 부근의 전자와 양공이 결합되면서 방출되는 빛인 것이다. 현재 시판되고 있는 것에는 적색, 황색, 녹색 3가지가 있는데 이것은 GaP에 넣은 불순물의 종류에 따라 색깔이 달라지는 것이다. 이와같은 발광 현상은 Si로는 불가능한 것이다.

이것은 한가지 예에 지나지 않으며 화합물 반도체는 종류가 다양해서 각기 특유한 특성을 갖고 있어서 그 특수한 특성을 살린 특수 기능 소자들이 제작되고 있다. 또 어떤 목적에 맞는 특성을 갖는 새로운 재료를 인공적으로 만들어 내기도 하는데 AlGaAs와 GaAs에 의한 반도체 레이저는 이와 같은 예의 하나이다. 이 레이저 다이오드는 앞으로 광통신 시대를 맞이 하는데 큰몫을 차지할 것이다. 이것 외에도 반도체는 태양전지(광전소자)를 비롯해서 열전냉각소자(전류에 의해 냉각되는 소자), 감온소자(온도를 감지하는 소자), 감압소자(압력을 감지하는 소자), 감습소자(습도를 감지하는 소자) 등등 넓은 범위에 걸친 응용분야를 갖고 있음을 부연해 둔다.

어떠랴 한번쯤 그계바로 부패심리