스파이더맨의 옷과 초강력 거미줄은
실제 고분자 신소재로 현실화될 수 있다.

1. 신소재란?

1. 기존 재료에 비해 높은 부가가치를 갖는 새로운 재료

소재를 지배하는 자가 세계를 지배한다는 말이 있다. 선진부국을 이루는 길은 과학 기술과 산업 발전에 의해서만 가능하며, 이것의 기초는 소재 기술이다. 예전에는 소재를 사오면 되었으나, 무한 경쟁 시대이며 정보의 시대인 지금 소재는 돈을 주고 얻을 수 없는 경우가 많고, 살 수 있다 하더라도 값이 너무 비싸서 자체 생산하는 길밖에 없는 경우가 많다. 그러나 다른 기술보다 소재 기술은 미지의 부분이 많기 때문에 연구자의 경험과 비밀스러운 노하우가 중요한 경우가 많아 기술 이전이 간단치 않다. 기술의 원료, 즉 소재 전쟁이 이제 시작되었다. 많은 신소재에 대한 정보를 갖게 되면 생활과 산업에 무한한 가능성을 줄 수 있을 것이다.

2. 소재의 종류와 발전

소재는 크게 세 가지로 나눌 수 있는데, 무기 재료, 금속 재료, 고분자 재료가 그것이다. 신소재와 구별하여 전통 재료라 하면 돌, 흙, 유리 등의 무기 재료, 금, 은, 구리, 청동, 쇠 등의 금속 재료, 종이, 나무 등의 천연 고분자 재료 등으로 구분할 수 있다. 신소재도 고분자 재료, 무기 재료, 금속 재료로 나눌 수 있다. 이용되는 특성에 따라 구조용 소재와

기능성 소재로 나누는 것도 편리하다. 구조용 소재는 형태를 갖추게 하고 기본 구조를 이루는 소재를 말하며, 그에 따라 구조적 강도가 필요하다. 기능성 소재는 구조적 형태보다 특수한 기능이 주로 이용되는 소재로서 강도보다 여러 특수한 화학적 물리적 기능이 중요한 요건이 된다. 이 기능성 소재는 특히 값이 비싸도 기능상 사용할 수밖에 없는 경우가 많아 고부가가치를 갖는다.

표 4-1. 소재의 종류

	원시 천연 재료	전통 산업 재료	신소재
고분자	나무, 종이, 가죽, 비단	수지, 고무, 합성섬유	엔프라, 복합재료, 파인폴리마
무기	돌, 흙, 모래	벽돌, 도기, 자기, 유리	파인세라믹
금속	금, 은, 구리, 청동, 쇠	알루미늄, 강철, 합금	신합금

표 4-2. 소재의 양대 요소 물성

	요소 물성	용도
구조용 신소재	강도(인장, 압축, 충격, 표면), 경량, 내열성, 탄성, 가공성, 가격	섬유, 가구 건축재, 고무, 가전품, 자동차 조선 항공 재료
기능성 신소재	전자 특성, 분리 기능, 광특성, 자성, 생체 친화성	반도체, 전자, 광통신, 센서, 분리막, 의료용

3. 신소재 공업의 특징과 분류

신소재 산업은 고부가가치의 특징을 갖는다. 그러므로 다음의 특성을 이야기할 수 있다.

- 기술 집약적 산업
- 다품종 소량 생산
- 배타적 기술 지배
- 아주 높은 성장세

신소재 공업을 몇 가지 다른 관점으로 분류할 수 있다. 즉, 물질에 따라, 기능에 따라, 용도에 따라 구분할 수 있다.

표 4-3. 신소재 공업의 분류

물질에 따른 분류	기능에 따른 분류	용도에 따라
금속 신소재	전자 재료	전자 정보 통신
무기 신소재	자성 재료	에너지
고분자 신소재	광학 재료	우주 항공
	내열 재료	의료 복지
	고강도 재료	자동차 운송

2. 고분자란 무엇인가?

고분자를 가리키는 말에는 여러 가지가 있으며 다음 표에 정리하였다. 현실적으로는 이 낱말을 거의 구별 없이 사용하지만 엄밀하게는 각각 다른 의미를 갖는다. 고분자나 macromolecule는 어떤 재료를 어떤 과정을 거쳐 만들어졌는가는 생각지 않고 이 분자가 현재 분자량이 큰가 작은가로만 구분한 것이다. 천연의 고분자들 중에 어떤 과정을 거쳐 생성되었는지 알 수 없는 경우 이 단어를 사용할 수밖에 없다. 중합체나 polymer는 단량체(monomer)의 대칭이 되는 단어로서 큰 분자량의 물질이 저 분자량의 단량체에서 중합 반응을 거쳐 만들어졌음을 뜻한다. 그래서 저분자량의 단량체 구조가 반복되는 구조로 되어 있다. 수지나 resin은 공업용 단어로서 원래 플라스틱의 발전 초기에 실제 나무의 진에서 추출하여 만든 연유로 이런 이름이 붙은 것이다. 수지에는 천연 수지와 합성 수지가 있다.

표 4-4. 고분자의 별명들

우리말	영어	본래의 뜻
고분자	macromolecule	거대 분자량의 물질
중합체	polymer	단량체(monomer)가 중합한 것
(합성)수지	resin	송진 등 천연 수지에서 파생한 말
플라스틱	plastics	열가소성을 갖는 물질

플라스틱은 열가소성을 갖는 물질로서, 원래 thermoplasticity를 갖는 물질을 thermoplastics라고 부르던 데서 유래한 용어이다. 즉, 이 플라스틱이란 용어는 그 물성을 가리키는 말이다.

여기서 열가소성이란 무엇인가 알아보자. 이 낱말은 '열+가+소성'으로 이루어졌는데, 뒤로부터 이해하는 것이 쉽다. 우선 소성이란, 외력을 가하여 변형을 시키고 외력을 제거해도 그 변형이 유지되며 원상 복귀되지 않는 성질을 말한다. 반대 용어는 탄성으로, 스프링은 힘을 가해 늘였다가 힘을 빼면 도로 원상 복귀되지만, 찰흙은 손으로 힘을 가해 변형시키고 그대로 두면 원상 복귀(탄성)되지 않고 그 형태를 유지(소성)한다. 그럼 가소성이란 무엇인가? 그 소성이 가역적임을 나타낸다. 즉 외력을 가해 변형시키면 그 변형이 유지되고 다시 힘을 가하면 다시 변형이 가능하고 두 번째 변형이 유지된다. 여기에 '열'을 첨가하면 열가소성이 되는데 그 가소성이 열에 의해 가능함을 나타낸다. 열가소성 수지란 이런 열가소성을 갖는 수지를 말한다.

소성 : 외력에 의한 변형이 유지되는 성질
가소성 : 가역적으로 가능한 소성
열가소성 : 열에 의한 가소성

그림 4-1. 열가소성의 이해

고분자의 요점은 간단한 구조로서 반복된 거대한 크기(분자량)의 분자라는 점이다. 그리고 그 반복되는 사슬은 탄소를 기초로 한다. 고분자는 단량체(monomer)라는 저분자량의 원료를 중합 반응(polymerization)시켜서 만든다. 그래서 중합체(polymer)라고도 부르는 것이다. 실리콘이나 포스파젠 고분자처럼 무기 원소가 주사슬 원소인 고분자도 있으나 거의 대부분의 고분자는 유기 고분자이다. 즉, 탄소가 주사슬 원소로 되어 있는 고분자이다. 동물의 몸을 이루고 있는 단백질은 아마이드 결합(-NHCO-)으로 되어 있는 폴리펩타이드이다. 식물의 몸체를 이루는 셀룰로스나 아밀로스는 탄수화물이라는 고분자이다. 가장 많이 사용하는 폴

리에틸렌은 에틸렌(CH_2=CH_2)이라는 원료 가스를 중합시켜서 만들며 분자량이 수만-수백만에 이른다. 이렇게 긴 사슬 구조인 고분자는 그 형태의 특이성 때문에 특이한 성질을 갖는다. 즉, 다른 물질들이 녹는점을 하나 갖는 데 반하여 고분자는 녹는점 이외에 연화점(유리 전이 온도에서 기인한 것이다)이 있다. 또 긴 사슬이기 때문에 사슬이 겹쳐서 이루어진 결정성 부분과 비정질 부분이 공존하여 준결정성(semi-crystalline) 성질을 갖는다.

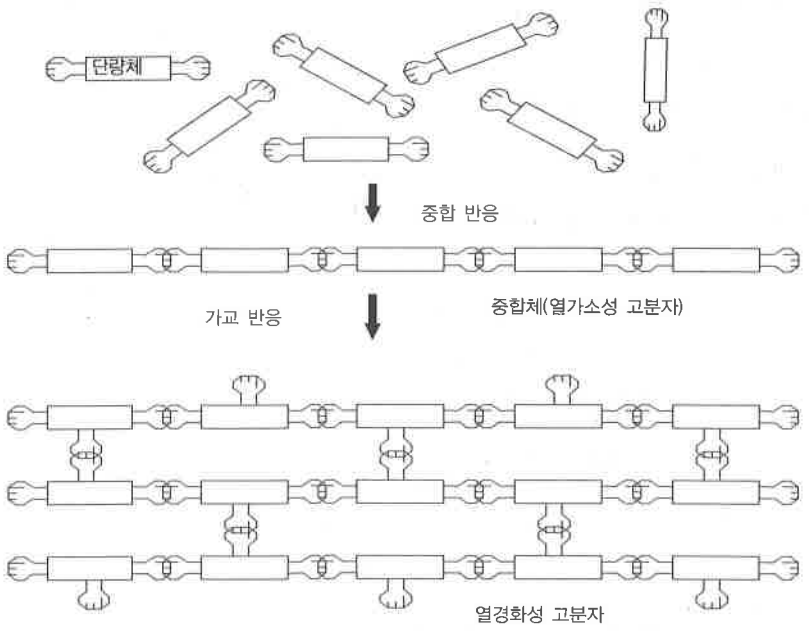


그림 4-2. 고분자가 만들어지는 과정

이렇게 긴 사슬 분자들이기 때문에 열을 가하면 녹아서 마음대로 그 형태를 변화시킬 수 있고, 그대로 식히면 변화시킨 형태가 유지되며, 다시 열을 가하여 녹이면 다시 변형시킬 수 있는데, 이것이 열가소성이란 성질이다. 이 성질은 매우 중요한 성질로서 고분자가 모든 재료의 왕이 된 핵심적 성질이다. 이 성질에 의하여 고분자를 아주 쉽게 싼값으로 가공, 성형할 수 있다. 그러나 열로 가공을 쉽게 할 수 있는 점이 장점인 동시에 내열성이 약하다는 단점도 된다. 이 단점이 개선된 고분자가 열경화성 고분자다. 열가소성 고분자는 분자 구조가 사슬 모양이지만 열경화성 고분자의 구조는 경화 후 그물 모양이 되어 매우 강도가 세고 내열성도 높아진다. 그러나 한번 경화된 이후에는 다시 녹일 수 없기 때문에 재활용에 문제가 있고 가공하기가 조금 어렵다.

옛날 세라믹 재료나 금속 재료로 만들었던 상품의 재료를 플라스틱으로 대체한 경우는 매우 많으나 그 반대의 경우는 많지 않다. 대부분의 유리병도 이제 플라스틱 병으로 대체되었고, 휴대용 소형 녹음기의 부품은 플라스틱 기어와 부품으로 대체되어 가볍고 견고하다. 옛날에는 벽돌과 시멘트, 나무만으로 집을 지었으나 이제는 플라스틱 건축재가 없으면 안 될 지경이 되었다. 플라스틱은 많은 장점이 있으나 특히 다음과 같은 성질이 있기 때문에 가장 널리 쓰이는 재료가 되었다.

① 값이 싸다(대량생산).

② 가볍다(금속, 세라믹의 $\frac{1}{7}$).

③ 물이 묻지 않고 썩지 않는다.

플라스틱은 우리 생활에 직결되어 있는 수없이 많은 분야에 쓰일 뿐 아니라 첨단 산업과 과학 분야에서도 그 진가를 발휘하고 있어서 지금의 우리 문화는 플라스틱을 빼고는 별로 남을 것이 없을 정도이다. 우리 인간은 고분자(인체)로 태어나서, 고분자(곡식과 고기)를 먹고, 고분자(옷감, 가죽)를 입고, 고분자(타이어)를 타고 다니고, 고분자(가방, 의자 등)를 이용하고 살다가, 고분자(관)에 넣어져 죽는다고 할 수 있을 정도로

고분자는 우리 생활 그 자체이다.

일반적으로 고분자는 내열성과 강도를 제외하고는 거의 결점이 없는 최고의 소재이다. 그래서 언급한 바와 같이 엄청난 양이 생산되고 점점 그 영역을 넓혀가고 있는 것이다. 대부분의 상품들이 초기에 나무나 금속, 또는 세라믹으로 만들어졌더라도 플라스틱으로 대체가 연구되고, 시도되며, 달성되어 온 것이 우리 인류의 발전 방향이었다. 플라스틱의 단점인 내열성과 강도도 그동안 괄목할 만큼 발전하여 우리는 많은 특수 엔지니어링 플라스틱과 고기능성 플라스틱을 갖게 되었다.

표 4-5. 소재들의 주요 물성 비교

	가격	무게	가공성	외관	촉감	내후성	독성	절연성	보온성	투명성	재생성	내열성	강도				
													표면	인장	압축	충격	탄성
금속	×	×	△	○	△	△	×	×	×	×	◎	○	◎	◎	○	◎	◎
세라믹	△	△	×	×	×	○	○	◎	◎	×	○	◎	○	○	◎	×	◎
나무	△	◎	×	△	○	×	◎	◎	◎	×	×	×	×	×	×	×	×
고분자	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	○	×	×	△	×	△	×

◎ 우수 ○ 양호 △ 보통 × 미흡

3. 플라스틱은 정말 환경에 나쁜가?

플라스틱에 대한 일반인의 가장 큰 오해는 플라스틱이 가장 나쁜 공해 물질이라는 인식이다. 플라스틱이 환경에 나쁜 영향을 준 것은 사실이지만 좋은 영향도 많았다. 편리하기 때문에 너무 많이 써서 공해의 주범같이 보이지만 플라스틱이 없었다면 종이나 나무, 금속을 써서 그것이 공해의 주범이 되었을 것이다. 플라스틱이 썩지 않기 때문에 공해를 일으킨다는 것도 뒤집어 보면 썩지 않기 때문에 안심하고 식품의 포장에 쓸 수 있었다. 플라스틱이 없었다면 더욱 많은 재료를 두껍고 무겁게 사용하여 식품을 포장해야 했을 것이다. 포장재로서 플라스틱은 대단히 장점이 많다. 물이 묻지 않고 기체 투과율이 낮아서 부패를 방지하는 식품의 포장에 아주 적합하다. 또한 어떤 재료도 갖지 못한 포장재로서의 장점은 투명하고 외관이 아름답고 가볍다는 것이다. 더구나 값이 싸고 대량 생산이 용이하다. 플라스틱을 사용하지 않고 종이를 쓰면 곧바로 자연 친화성이나 환경 보호형 재료가 되는 것으로 착각하는 사람이 많다. 그러나 플라스틱이나 종이를 생산하는 데 들어가는 원료와 공정상의 환경에 대한 영향도 평가해야 옳다.

표에서 보는 바와 같이 생산하는 데는 종이가 플라스틱보다 환경에 대한 오염이 더욱 심각하다. 더구나 식품이나 음료를 포장할 때 종이를 쓰는 경우 필연적으로 종이에 코팅하거나 플라스틱을 라미네이팅하는데

이것은 환경에 더욱 나쁜 영향을 미친다. 즉, 코팅이나 라미네이팅된 종이는 재활용이 거의 불가능하여 폐기물 처리의 관점에서도 순수한 플라스틱보다 오히려 더욱 나쁘다. 이제 폐기물의 처리는 자연적으로 썩게 하는 수동적 처리보다는 재활용을 하는 적극적 접근이 절실한 시대이다. 플라스틱의 재활용은 가장 연구가 활발한 분야 중의 하나이다.

플라스틱의 재활용은 플라스틱의 생산-소비 공정을 보면 잘 이해할 수 있다.

물론 가장 바람직한 플라스틱의 처리법은 물리적 재활용인데, 이것을 용이하게 하고 환경오염을 줄이기 위해 다음의 요건을 갖추도록 설계해야 한다.

① 되도록 열가소성 수지를 쓸 것
② 여러 종류를 조합하지 말 것
③ 라벨이나 부품은 분리가 용이할 것

표 4-6. 종이와 플라스틱의 생산시 환경오염도 비교표

분류	오염 항목	재료		
		폴리에틸렌	Craft지	종이 조합
에너지 소모량 (G Joule)	제조 공정	29	67	69
	재료 생산	38	29	29
	계	67	96	98
대기오염 배출량 (Kg)	SO_2	9.9	19.4	28.1
	NO_2	6.8	10.2	10.8
	CO	3.8	0.2	1.5
	유기물	1.0	3.0	6.4
	먼지	0.5	3.2	3.8
수질오염 (Kg)	COD	0.5	16.4	107.8
	BOD	0.02	9.2	43.1
	유기물	0.003	NA	NA
	페놀	0.000	NA	NA
	염소 유기 화합물	NA	NA	5.0

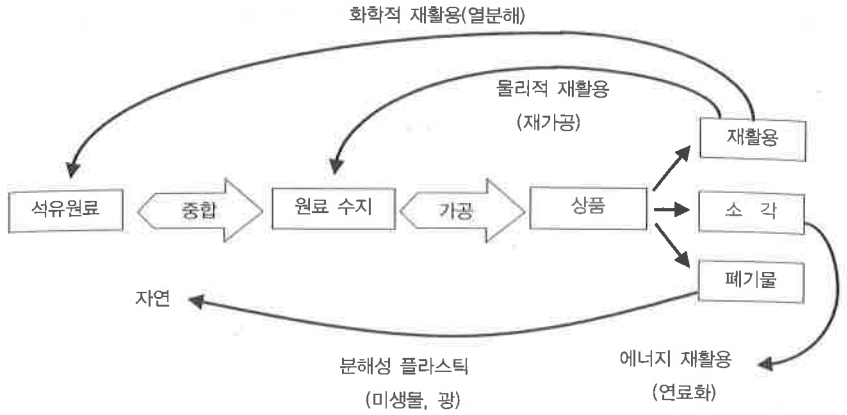


그림 4-3. 플라스틱의 자연 친화적 처리법

요즈음 플라스틱으로 된 용기나 장난감 등의 라벨을 보면 다음 그림과 같은 표시가 있는데 이것은 플라스틱의 재활용(재생)을 위하여 플라스틱 재료를 번호로 표기한 것이다. 7번은 기타, 즉 나머지 플라스틱을 뜻한다.

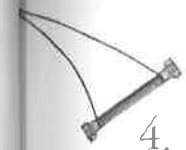
그림 4-4. 재활용을 위한 플라스틱 종류 표시

위의 재활용 표시 순서는 많이 쓰는 순서이다. 이 재활용 표시 번호를 외우는 좋은 방법을 여기 소개한다. 1부터 6까지 플라스틱 약어 중 자음 한 자씩만 뽑으면 다음과 같다.

1	2	3	4	5	6
PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS
T	H	C	L	P	S

여기에 모음 e, i만 첨가하면 The Clips가 된다. 종이를 끼우는 클립

을 재활용 플라스틱으로 만들었다고 기억한다. 이 방법은 필자가 창작한 것이다.



4. 어떤 플라스틱들이 있는가?

플라스틱은 매우 종류가 많으나 우리가 생활 주변에서 많이 볼 수 있는 플라스틱은 한정되어 있다. 값싸고 널리 쓰는 플라스틱을 범용 플라스틱이라고 하는데 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 염화 비닐 수지(PVC), 스티렌 수지(PS)가 그것이다. 이들 네 가지가 전체 플라스틱 사용량의 60% 이상을 차지한다. 그밖에 꽤 많이 들어본 것으로서 PET, 나일론, 폴리에스터 등은 엔지니어링 플라스틱이라고 하며 강도와 내열성이 더 좋고 값이 비싸며 공업적으로 중요하게 사용한다.

이들은 모두 열가소성이며, 이 밖에도 열경화성 플라스틱이 있다. 열경화성은 공장의 생산 단계에서 한번 경화시킨 것인데, 그 후에는 다시 열을 가해 녹일 수 없는 아주 단단한 고강도 내열성 고분자이다. 전기 부품, 기계 부품 등 고강도나 내열성이 필요한 곳에 많이 쓴다. 에폭시, 페놀 수지 등이 이것이다. 그밖에 테프론(불소 수지), 실리콘(규소 수지) 등 특수 고분자가 있으며, FRP(fiber reinforced plastics)는 고분자를 근간으로 섬유를 보강재로 넣어 만든 복합 재료로서 강도가 매우 뛰어나서 소형 배, 비행기, 로켓트, 우주선, 전자 부품, 기계 부품, 전자 회로 기판, 욕조 등의 건축재 등으로 아주 널리 쓴다. 천연의 고분자도 매우 많은데, 나무는 셀룰로스라는 구조를 기본으로 하며, 곡식이나 야채들은 아밀로스 같은 다당류를 기본 구조로 한다. 우리 인간을 포함하여 동물들의 몸

은 단백질이라는 폴리펩타이드 구조의 고분자이다.

합성 수지		
	열가소성	
		5대 범용 수지
		LDPE 저밀도 폴리에틸렌
		HDPE 고밀도 폴리에틸렌
		PP 폴리프로필렌
		PS 폴리스티렌
		PVC 염화 비닐 수지
		범용 엔프라
		Nylon 나일론(폴리아마이드)
		PET, PBT(방향족 폴리에스터)
		POM 폴리아세탈
		PC 폴리카보네이트
		PPO 폴리페닐렌옥사이드
		PMMA, PAN (아크릴 수지)
		ABS A-B-S 공중합체
		슈퍼 엔프라
		PSF 폴리설폰
		PES 폴리에테르설폰
		PPS 폴리페닐렌설폰
		PAR 폴리아릴레이트
		PEEK 폴리에테르에테르케톤
		PI 폴리이마이드
		Aramide 아라마이드(LCP,Kevlar)
	열경화성	
		Phenol 페놀 수지[PF]
		Urea 요소 수지
		Melamine 멜라민 수지[PM]
		Epoxy 에폭시 수지
		PU 우레탄 수지
		UPE 불포화 폴리에스터
특수 수지		
		Silicon 실리콘 수지[Si]
		PTFE 불소 수지
변성 천연 수지	(셀룰로스계)	
		CN 나이트로 셀룰로스
		CA 아세틸 셀룰로스
		EC 에틸 셀룰로스
천연 수지		
	식물성	NR 천연고무
		Cotton 면
	동물성	Silk 비단
		Wool 양모

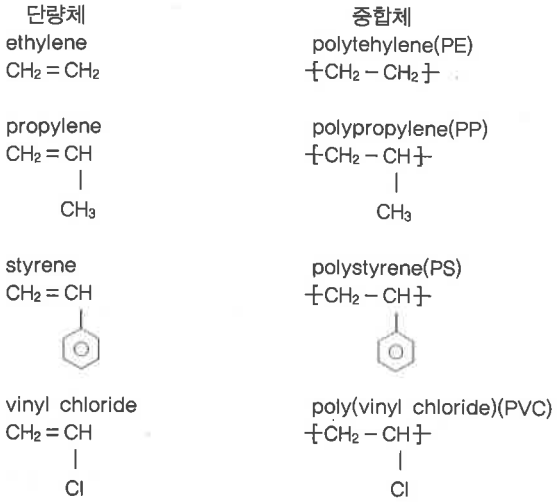


그림 4-5. 범용 고분자들의 구조

5. 어디에 얼마나 쓰는가?

모든 플라스틱, 나무, 단백질, 천연고무 등을 모두 통칭하여 고분자라고 하는데 고분자란 분자량이 크다는 뜻이다. 고분자 재료를 우리가 실제로 사용할 때의 형상은 매우 다양하다. 성형품, 관이나 막대, 필름이나 시트(sheet), 고무, 라텍스(latex)나 에멀션(emulsion)의 액상 고분자, 복합 재료, 발포체(foam) 등으로 사용한다. 그에 따라 재료와 가공법이 다 다르다.

플라스틱은 우리 생활에 직결되어 있는 수없이 많은 분야에 쓰일 뿐 아니라 첨단 산업과 과학 분야에서도 그 진가를 발휘하고 있어서 지금의 문화에 플라스틱을 빼고는 별로 남을 것이 없을 정도이다. 플라스틱의 생산량은 매년 괄목할만한 성장을 거듭해 왔다. 1994년에 제조된 플라스틱의 양은 360억불 어치나 만들어져서 800억불 상당의 생산품으로 판매되었다. 1976년에 이미 플라스틱의 생산량은 강철, 구리, 알루미늄을 합한 양보다 더 많은 양이 되었다.

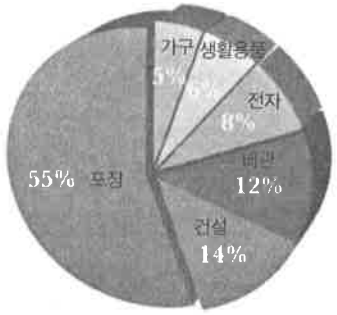


그림 4-6. 플라스틱의 용도(아세안 2004년 통계)

6. 플라스틱의 물성

세라믹 재료나 금속 재료로 만들었던 상품의 재료를 플라스틱으로 대체한 경우는 매우 많지만 그 반대의 경우는 많지 않다. 대부분의 유리병도 이제 플라스틱 병으로 대체되었고, 휴대용 소형 녹음기의 부품은 플라스틱 기어와 부품으로 대체되어 가볍고 견고하다. 옛날에는 벽돌과 시멘트, 나무만으로 집을 지었으나 이제는 플라스틱 건축재가 없으면 안 될 지경이 되었다. 플라스틱은 다음과 같은 성질이 있기 때문에 가장 널리 쓰이는 재료가 되었다.

플라스틱은 매우 종류가 다양하다. 각 플라스틱마다 그 특성도 다르다. 표 4-7에 대략의 특징을 정리하였다. 성형성이란 공장에서 최종 제품으로 만드는 데의 용이성을 말한다. 가공성은 2차 가공성을 말하며, 기계에서 성형된 플라스틱 제품에 인쇄하고 외관과 몇 가지의 기능을 위해 약간의 가공을 하는 용이성을 뜻한다. 크리프성이란 시간에 따른 강도를 말한다. 당장은 플라스틱에 손상을 주진 않을 정도의 약한 힘이라도 오래 힘이 가해지면 플라스틱은 손상을 입게 되며, 이런 성질을 크리프성이라고 한다. 가소성이란 가역적인 소성, 즉 외력을 가해 변형시키고 외력을 제거하면 그 변형이 유지되는 것을 소성이라고 하는데 그런 소성이 가역적인 성질을 말한다. 윤활성이 좋은 재료는 그리스를 칠하지 않고도

바퀴축이나 톱니바퀴로 사용할 수 있다. 내후성은 기후에 견디는 강도를 말하고, 내용제성은 용제(solvent)에 잘 안 녹고 사용할 수 있음을 뜻한다. 내열성과 열안정성은 비슷한 개념이나 내열성은 단기간의 열에 견디는 저항성을 이야기하고 열안정성은 열에 노출되었을 때 어느 정도의 시간은 견디어 사용하기에 문제가 없음을 가리킨다. 내한성은 낮은 온도에서도 기능이 떨어지지 않음을 나타내고, 치수 안정성은 온도가 낮아지고 높아짐에 따라 수축 팽창이 심하지 않아야 함을 나타낸다.

표 4-7. 플라스틱 물성 비교표

구분	특성 / 플라스틱	성형성	가공성	내충격성	강인성	내마모성	크리프성	가소성	윤활성	투명성	내후성	내용제성	내약품성	내열성	열안정성	내한성	내습성	치수안정성	저가격성
범용	PE	◎	△	◎		◎		○	○			○	○			◎	○		◎
	PP	◎	◎	○		○		○				○	○				○		◎
	PS	◎								◎							○	○	◎
	PVC	◎	○							○	○		○	○			○	○	◎
범용엔프라	Nylon	○	◎	○	◎	◎	○		○	△	○	○		○	○	○			
	PET	○	○	○	◎		○		○	◎		○			○	○	○	●	
	PBT	○	○	○	◎		○									◎		●	
	POM	○	◎	○	◎	◎	○	○	○			○	○		○				
	PC	◎	◎	◎	◎	◎	◎			○	○			○	○	○		○	
	PPO	○	◎	○	◎									○	○		○	○	
기타	PMMA	◎	◎							◎	◎							○	○
	ABS	◎	◎	◎	○					△							○	○	○
슈퍼엔프라	PSF		◎	○	◎		○			○			○	○	○	○	○	○	
	PPS				○		◎		○			○	○	○	◎		○	○	
	PAR	○	◎	○	◎		○	○		○				○	○	○	○	○	
	PI		○		○	◎	◎				○	○	○	◎	◎	◎		○	
열경화성	Phenol	◎	○			○	◎					○		○	○	○			◎
	Urea	◎				○	◎				○	○							◎
	Melamine	◎	○	○		○	◎				○	○	○	○	○	○		○	○
	Epoxy	○		○	●	○	◎	△		○	○	○	○		○	○		○	○
	PU	○	◎		○					○		○				◎	○		
	UPE	◎		●	●	○	●			○	●	○	○		○	○	○	○	○
특수	Silicone	○	○	○		○		◎		○	◎			○	◎	○		○	
	PTFE		○	○		◎		○	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	○		
천연	CA	◎	◎	◎	◎			○		○	◎							○	○

◎ 우수 ○ 양호 △ 등급에 따라 우수 ● 충전제로 강화 가능

1. 비중

플라스틱은 거의 모든 재료들에 비해 가볍다. 가장 흔한 플라스틱인 폴리에틸렌은 물보다 가벼워 비중이 0.94~0.96 밖에 되지 않는다. 다른 플라스틱도 대개 비중이 1정도 밖에 되지 않으며, 금속이나 세라믹에 비해서는 무게가 $\frac{1}{7}$밖에 되지 않는다. 자동차의 금속 부품들을 플라스틱으로 대체하여 차체의 무게를 줄이면 연비가 좋아져서 경제적일 뿐 아니라 배기 가스도 적어져서 환경에도 좋다. 플라스틱은 그레이드별로 다양한 원료를 사용하며 가공시의 조건에 따라 그 물성이 달라진다.

2. 열적 성질

플라스틱은 도자기나 금속에 비해 열에 약한 재료지만, 이것이 꼭 단점만은 아니다. 플라스틱이 열에 잘 녹기 때문에 간단하며 빠르고 값싸게 대량 생산을 할 수 있는 것이다. 일반적으로 상온에서 고체인 물질들은 열을 가하면 어느 온도에서 물처럼 녹는다. 그것이 녹는점이다. 그러나 플라스틱은 녹는점에 도달하기 전에 유리 전이 온도(Tg, glass transition temperature)라는 전이 온도가 하나 더 있다. 플라스틱은 사슬 모양의 아주 큰 분자량의 물질이므로 전체 분자가 움직이는 녹는점 이전에 긴 사슬의 짧은 부분(segment)만 제한적으로 움직이는 온도가 있다. 유리 전이 온도 이상에서 플라스틱은 부드러우며 유리 전이 온도 이하에서는 딱딱하고 취약한 성질을 보인다. 유리 전이 온도가 낮을수록 부드러운 재료이며 높을수록 딱딱하고 취약한 재료이다.

3. 인화점과 발화점

내열성과는 달리 불이 잘 붙는 정도도 아주 중요한 재료의 물성이

다. 인화점은 불꽃이 있을 때 불이 붙는 온도이며, 발화점은 불꽃 없이 온도만 높여서 발화하는 온도이다.

4. 기계적 강도

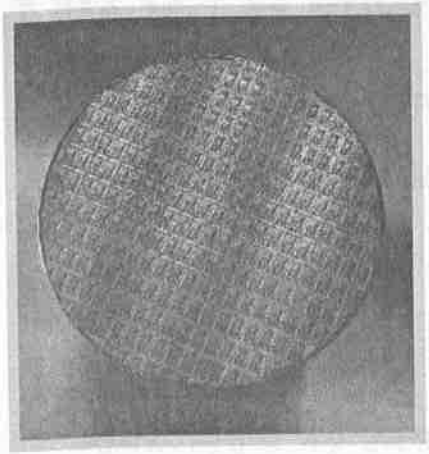
재료의 강도는 간단히 말할 수 없다. 강도에도 여러 가지가 있어서 인장 강도, 굽힘 강도, 압축 강도, 충격 강도, 표면 강도 등을 구분해야 한다. 인장 강도는 섬유로서 가장 중요한 물성인데 하중을 견디고 끊어지지 않는 강도를 말한다. 굽힘 강도는 선반이나 보에서 중요한 물성인데 휘지 않고 버티는 강도를 말한다. 압축 강도는 기둥이나 벽에서 중요한 강도인데 하중을 받치고 부서지지 않는 강도이다. 충격 강도는 순간적인 충격에 깨지거나 금이 가지 않는 강도를 말한다. 표면 강도는 경도라고도 하는데 흠이 잘 나지 않는 강도를 이야기한다. 신도는 연신율이라고도 하고 끊어지기 전까지 최대로 얼마나 늘어날 수 있는가이다. 이 값이 크면 부드럽고 작으면 딱딱한 재료이다.

5. 마찰 계수

플라스틱은 금속이나 세라믹에 비해 마찰 계수가 적어서 마모가 적고 자기 윤활성이 있어서 기름을 치지 않고 기어, 축 등 구동 장치를 만들 수 있다. 휴대용 녹음기의 내부를 보면 거의 모든 부품이 플라스틱으로 되어있는 것을 볼 수 있다. 특히 테프론이라고 부르는 불소 수지(PTFE)는 현존하는 모든 재료 중에서 마찰 계수가 가장 적다. 발수성도 아주 뛰어나서 음식이 붙지 않는 프라이팬도 이 성질을 응용한 것이다.

6. 내약품성

플라스틱은 금속처럼 잘 부식이 되지 않으므로 여러 가지 용도로 쓰이고 있다. 특히 공업용 관으로 많이 사용되며 가정용 호스도 거의 모두 플라스틱이다. 플라스틱으로 만든 용기나 관이 산이나 알칼리 용액에 얼마나 견디는가는 중요한 문제이다.



현대의 IT 기술은
실리콘 웨이퍼의 위에서 가능했다.

1. 반도체의 원리

1. 반도체(semiconductor)의 엄마, 진공관

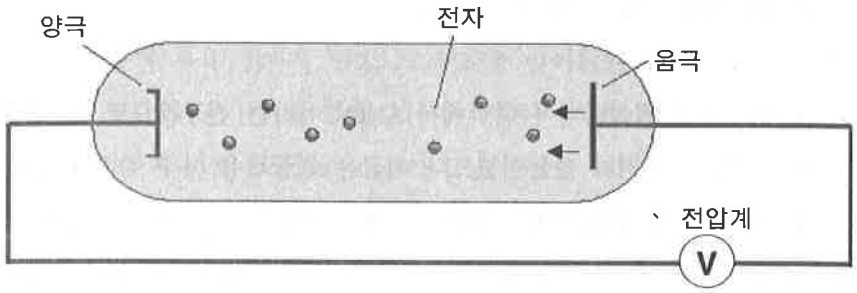


그림 6-1. 진공관의 구조

전기를 잘 통하면 전도체, 전기를 통하지 않으면 부도체라고 하지만, 반도체가 반만 전기가 통하는 것을 뜻하지는 않는다. 사실은 전기가 통했다가 안 통했다가 할 수 있는 물질을 말한다. 이런 기능을 하는 소자가 있으면 전자계산기를 만들 수 있다. 전기가 통하면 (+), 안 통하면 (−)로 하여 마치 주판처럼 연산 기능을 자동으로 할 수 있다. 이런 기능을 할 수 있는 첫 전자 소자는 진공관이다. 1883년 에디슨(Thomas Edison)은 전구를 연구하면서 필라멘트에 전기를 연결하여 빛과 열이 나는 것을 관찰하던 중, 진공 전구 안에 금속판을 연결하면 진공인데도 불구하고 필라멘트에서 금속판으로 전기가 흐르는 것을 확인하였는데, 이것을 에디슨

효과라고 한다. 에디슨은 왜 그런지 몰랐으나, 영국의 플레밍(J.A. Fleming)은 금속을 가열하면 표면에서 전자를 방출하고 이것이 (+)극으로 끌려서 이동하여 전기가 흐르게 된다는 것을 알아냈다. 이것을 열전사방사라고 하며 이런 진공관이 2극 진공관이다. 금속판에 전기를 걸면 필라멘트에서 전자가 방사되어 (+)극인 금속판 쪽으로 흘러 순방향으로 전기가 통한다. 그러나 전기를 반대 방향으로 걸어주면 가열되어 방사된 전자가 (-)극으로 끌릴 수 없기 때문에 전기가 통하지 않는다. 이런 현상을 정류 작용(rectification)이라고 한다. 이 효과를 응용하여 교류를 이 진공관에 흘리면 순방향일 때는 전기가 통하고 역방향일 때는 전기가 통하지 않게 되어 교류를 직류로 바꿀 수 있다.

1940년대에 펜실베니아 대학에서 ANIAC이라는 진공관으로 된 집채만 한 크기의 컴퓨터가 만들어졌으나 지금은 진공관을 아주 작은 반도체로 대치하여 책상 위의 소형 컴퓨터로 발전시켰다. 반도체의 핵심은 실리콘이다. 실리콘은 탄소와 마찬가지로 4가 결합을 하는 원소다. 그러나 탄소에서는 불가능한 일이 실리콘에서는 가능하다. 물질의 전도성은 전자 구조, 더 정확히는 전자의 위치에 의하여 결정된다. 한 원자에서 전자들은 각기 자기의 에너지 수준에 맞는 궤도를 돌게 된다. 이것을 에너지 띠(energy band)라고 한다. 전자들이 띠(covalent band)를 꽉 채우고 있으면 전기 부도체가 된다. 그러나 띠를 다 채우고도 하나의 전자가 남아 있다면 이 전자는 자유롭게 원자 사이를 돌아다니게 되고(자유 전자) 그래서 전기가 통하는 전도체가 된다. 전자의 흐름이 바로 전기의 흐름이기 때문이다. 가끔 원자가 에너지를 받으면 전자들이 흥분을 하여 자신의 에너지 띠에서 더 높은 에너지 띠(conductive band)로 튀어 올라가게 되는데 그 격차를 띠간격(band gap)이라고 한다. 이런 일은 쉽게 일어나지 않는데, 실리콘은 탄소에 비해 그 격차가 아주 적어서 비교적 쉽게 띠

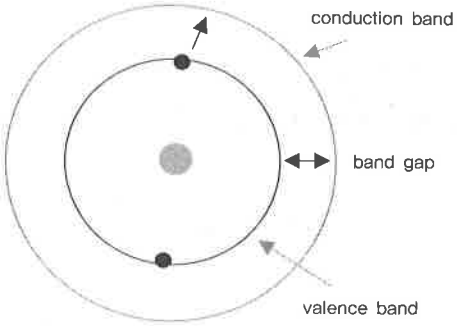


그림 6-2 원자의 구조

간격을 뛰어 올라간다. 이렇게 되면 그 올라간 전자는 마치 그 전 에너지 수준에 전자가 다 차고 하나 남은 전자처럼 자유 전자가 되어 옆의 원자로 이동이 가능하게 되므로 전도체의 상태가 된다. 이렇게 같은 원소인데 전기가 안 통했다가 통하는 상태로 변화할 수 있는 것이 반도체이다.

아까 이야기한 자유 전자는 전자가 없는 곳, 즉 빈 구멍(hole)을 찾아간다. 여분의 자유 전자가 있고 그 전자를 받아들일 만한 정공(electron hole)이 있다면 전기가 잘 통할 것이다. 이런 상태로 만들어주는 방법이 있는데 이것이 바로 도핑(doping)이다. 불순물을 넣어 주어서 자유 전자와 정공을 잘 만들 수 있는 여건을 조성해 주는 것이다.

사실은 반도체를 단순히 전도도만 가지고 이야기할 수는 없으며 온도를 높였을 때의 영향을 고려해야만 한다. 왜냐하면 온도를 높이면 하전된 입자가 흥분되어 하전 입자의 이동이 많아져서 반도체의 전도도를 높이기 때문이다. 이런 현상은 금속과는 다르다. 금속은 가열하면 원자들이 격렬하게 열진동하여 하전 이동체가 이동하는 것을 방해해 전도성

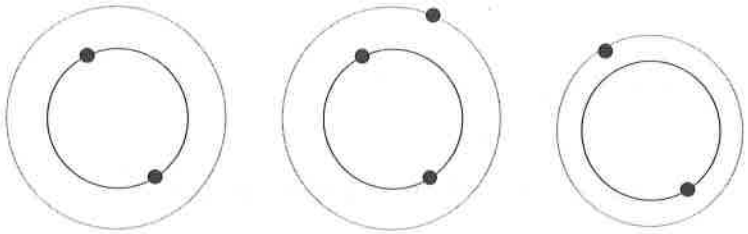


그림 6-3 부도체, 전도체, 반도체

이 낮아진다. 물론 반도체에서도 이런 현상은 있으나 그보다는 하전 이동체가 많아지는 효과가 더 크다.

2. 반도체의 특성

- 일반 금속은 가열하면 저항이 커지지만 반도체는 오히려 작아진다.
- 반도체에 도핑하는 정도에 따라 전도도를 조절할 수 있다.
- 교류 전기를 직류 전기로 바꾸는 정류 작용을 한다.
- 반도체가 빛을 받으면 저항이 작아지거나 전기를 일으키는데 이것을 광전 효과라 한다.

3. 반도체 재료

반도체로는 여러 원소가 쓰일 수 있지만 지구상에서 가장 흔한 고체 원소인 실리콘을 널리 쓴다. 다른 반도체는 발광 소자 등 특수한 경우에 쓴다.

- Si
- Ge
- GaP
- GaAs

4. 반도체 제조 공정

반도체 제조 공정은 크게 세 단계로 볼 수 있다.

❶ 웨이퍼 제조

단결정이나 다결정 실리콘 덩어리를 녹여서 천천히 결정으로 육성하고, 만들어진 실리콘 봉을 절단하여 얇은 판(slice) 형태로 잘라낸다. 이것을 웨이퍼(wafer)라고 한다.

❷ 패터닝

웨이퍼 위에 설계된 회로를 그리는 작업이다. 실크 스크린이나 판화 제작과 같은 원리로 회로를 그리는 작업을 패터닝(patterning)이라고 한다. 이 작업은 다시 다음의 여덟 가지 세부 공정으로 나눌 수 있다.

① 회로 설계

필요한 연산을 수행할 회로를 설계한다.

② 산화 공정(oxidation)

고온(800-1200도)에서 산소나 수증기를 웨이퍼 표면에 뿌려 산화막(SiO_2)을 형성시킨다. 표면을 보호하는 역할을 한다.

③ 포토레지스트 고분자 도포(photoresist polymer coating)

포토레지스트(감광성, photoresist) 고분자를 도포한다.

④ 노광(exposure)

설계된 회로를 담은 마스크를 위에 얹고 빛을 쪼이면 빛을 받은 부분의 고분자는 가교 반응(crosslinking)을 하여 불용성으로 변한다.

⑤ 에칭(etching)

세정용 산으로 노광되지 않은 부분을 씻어낸다.

⑥ 회로 인쇄(metallization)

금, 은, 알루미늄 등을 화학 기상 증착(chemical vapor deposition)시켜서 웨이퍼 표면에 형성된 회로들을 연결한다.

⑦ 이런 과정을 반복하여 여러 층의 회로를 만들 수 있다.

⑧ 불량품을 골라내고 칩 하나 크기로 작게 절단한다.

❸ 포장(packaging)

① 리드 제작(Reed frame)

앞서 만든 회로에 연결하여 바깥으로 리드를 부착한다.

② 성형(Molding)

에폭시 수지이나 폴리아마이드 같은 내열성 플라스틱으로 감싸서 포장한다.

5. 포토레지스트(photoresist) 공정

반도체 제조 공정 중 핵심이 되는 기술이다. 실리콘 웨이퍼 위에 회로를 그려 넣는 작업인데 매우 미세한 크기로 작업하며 조금의 먼지도 허용되지 않고, 고집적도를 결정 짓는 가장 복잡한 공정이기도 하다. 이 작업을 좀 더 자세히 그림으로 그 원리를 설명하면 그림 6-4와 같다.

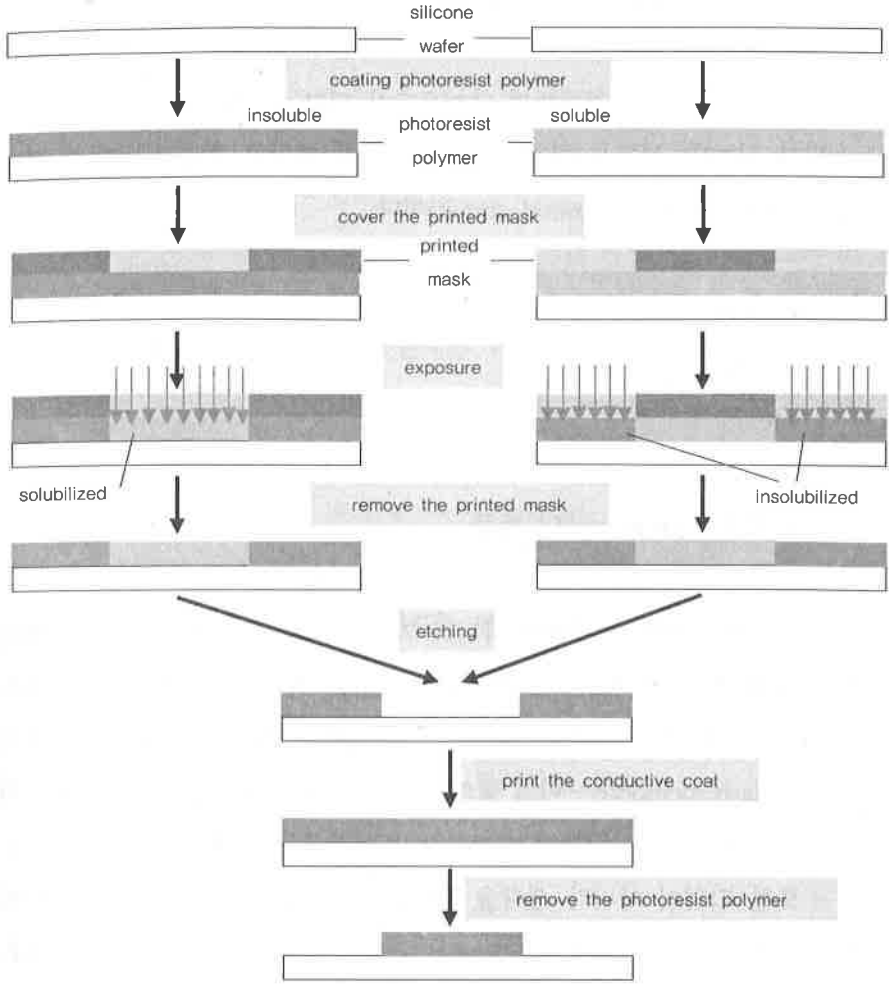


그림 6-4. 포토레지스트 공정의 원리도

6. 반도체의 종류

반도체 두 개를 접합하면 다이오드가 되고 세 개를 접합하면 트랜지스터가 되는데, 이들을 여러 개 붙여서 더욱 복잡한 회로를 구현한 것이 집적 회로, 즉 IC(integrated circuit)이다.

- 다이오드
- 트랜지스터
- IC

7. 메모리(memory)의 종류

반도체는 연산 능력뿐만 아니라 기억 소자로도 사용하는데 기억하는 양식에 따라 몇 가지로 나눌 수 있다. S 램은 전원을 끊어도 기억을 계속 유지하는 반도체를 말한다. 전원 공급을 끊어도 기록을 유지하는 플래시 메모리(flash memory)는 이 S 램의 한 종류이다. 이런 반도체는 정보를 저장하는 역할을 하는데 통상 이같은 반도체들을 메모리 반도체라고 한다.

또한 기억이 아니라 생각을 담당하는, 즉 연산을 위한 반도체가 비메모리 반도체이다. 그중 하나가 마이크로프로세서(microprocessor)이다.

- D(dynamic)
- S(static)
- RAM(Random Access Memory)
- ROM(Read Only Memory)
- 플래시 메모리

2. 다이오드

실리콘에 다른 하전 입자를 불순물처럼 미량 도입하면 전도도가 증가한다. 이것을 도핑(doping)이라고 하고 넣어주는 불순물을 도판트(dopant)라고 한다. 실제로 4가(valence)의 실리콘(◍)결정에 5가인 비소 원자(●)를 미량 넣어주면 여분의 전자(•)가 생긴다. 이 전자는 적은 에너지만 받아도 전도띠(conduction band)에 쉽게 오르게 되어 열적으로 흥분된 전하 이동체가 된다. 이렇게 음전하를 띤 전하 이동체가 생기는 도핑을 n-형이라고 한다. 반면, 실리콘보다 원자가(valence)가 더 적은 원소[보론(●) 같은 3주기]를 넣어주면 원자가띠(valence band)에 전자 구멍(□)을 만들어 양전하를 띠게 된다. 이것을 p-형이라고 한다.

이렇게 도판트에 의하여 만들어진 p-형과 n-형 반도체를 연결하면 n-

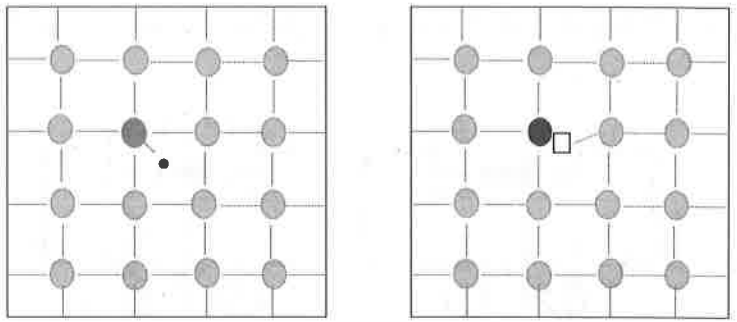


그림 6-5. n-형 및 p-형 반도체

형의 유도 전자와 p-형의 전자 구멍이 계면에서 만나게 되어 전자는 n-형 반도체에서 나와 p-형 반도체로 이동한다. 전하의 이동, 즉 전류가 계면을 통해서 이루어짐을 뜻한다. 전자가 구멍으로 들어가면서 안정화되는 것이므로 잉여의 에너지(띠간격에 해당하는 에너지)를 내 놓게 되면서 열이나 빛을 방사한다. 이것을 광전 효과라고 한다.

그러나 계면을 통한 전하의 이동이 계속적으로 이루어지기 위해서 자유 전자는 우선 p 영역의 유도 밴드로 올라가야만 하는데, 이때 에너지가 필요하지만 충분치 않으므로 교환 반응은 멈추게 된다. 그러나 여기에 n 영역에서 p 영역으로 전류를 걸어주면 상황은 변한다. 전기장이 걸리면 전자 밴드들을 밀어서 전자와 전자 구멍들이 계면에서 교환된다. 그러나 전류의 방향을 바꾸면 p-반도체 영역으로 전자들이 밀려 들어오므로 인접한 n-반도체에서 전하가 오지 못하게 된다. 즉, 전류가 끊어지며 이 p-n 결합은 한 방향으로만 전류가 흐르게 하는 역할을 한다. 이런 성질을 정류(rectification)라고 하며 이 장치를 다이오드(diode)라고 부른다.

그림 6-6의 PN 접합 다이오드(junction diode)는 화살표 방향으로만 전류가 흐른다는 것을 나타낸다.

전류의 방향과 전자의 이동 방향은 반대이므로 N쪽에 전자가 유입되

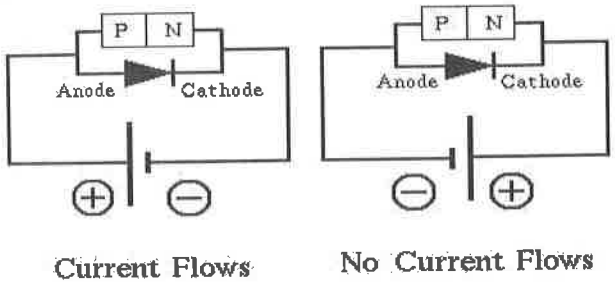


그림 6-6. 다이오드의 정류 작용

면 전자가 더 많아지므로 P쪽으로 전자가 이동하는 것이 더 잘 일어난다.

그러나 반대로 전류가 흐르려고 할 때, 전자가 P쪽으로 유입되면 P 영역에 있는 구멍(hole)으로 전자들이 빨려 들어가고 전자는 이동하지 않게 된다. 이것이 정류 작용의 원리다.

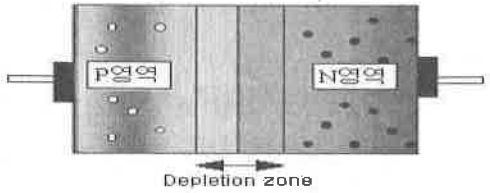


그림 6-7. 결핍층

N 영역엔 여분의(extra) 전자들이 있고 P 영역엔 여분의 구멍(extra hole)들이 있으므로 둘을 붙여 놓으면 전자들이 N에서 P로 이동하게 된다.

그런데 P 영역과 N 영역이 접합(junction)하는 경계에서는 서로의 전자와 구멍이 곧 상쇄하므로 전자도 구멍도 없는 영역이 조금 존재하게 된다.

이 영역을 결핍층(depletion zone)이라고 하는데 이것이 다이오드에서의 전자 흐름을 어느 정도 막는 장벽(barrier)이 된다. 물론 전류가 흐르기 위해서는 이 장벽 정도는 넘는 충분한 양의 전자와 구멍이 필요하다.

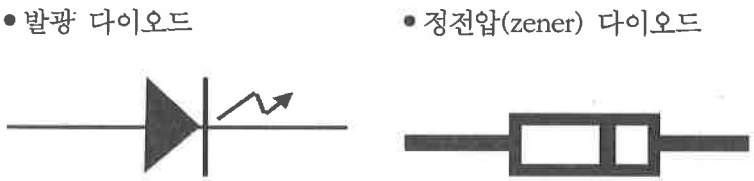


그림 6-8. 다이오드의 종류

발광 다이오드(LED, light emitting diode)는 갈륨-인 또는 갈륨-비소-인 등의 금속간 화합물 반도체로 PN 다이오드를 만들고 순방향으로 전류를 흘리면 접합면에서 빛을 낸다.

적색과 녹색이 많고 청색은 값이 비싸 잘 쓰지 않는다.

적색과 녹색을 같이 켜면 오렌지색이 된다.

발광 다이오드의 극성은 리드선이 긴 쪽이 양극(+anode)고 짧은 쪽이 음극(-cathode)이다.

제너 다이오드는 과부하가 걸릴 때 순간적으로 전압을 아주 작게 떨어트리는 역할을 한다. 그래서 정전압 다이오드라 부른다.

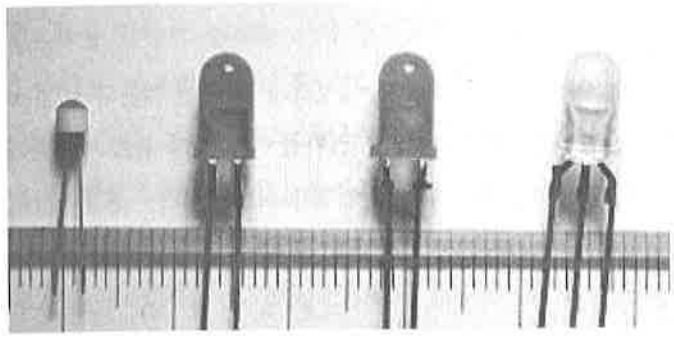


그림 6-9. 다이오드의 실 제품들

a- 일반 다이오드

b- 빨간색 발광 다이오드

c- 녹색 발광 다이오드

d- 적녹주 발광 다이오드.
다리가 세 개인 것은 그 중 들을 켜면 적색, 다른 들을 켜면 녹색, 셋 다 켜면 적녹이 합하여 오렌지색이 된다.

3. 트랜지스터

n, p형 반도체 세 개를 접합하면 트랜지스터(transistor)가 된다. 트랜지스터는 기본적으로 증폭 작용을 한다. 전압을 걸어주면 이미터 쪽으로 전자가 유입되므로 컬렉터 쪽보다 전자가 많게 된다. 그럼 베이스를 거쳐서 전자가 이동하는데, 만일 베이스의 회로를 연결해서 전류를 흐르게 하면 이미터-베이스로 구성되는 회로가 연결되므로 전자들의 일부가 베이스로 빠져 나가고 일부만 컬렉터에 도달하게 된다.

베이스의 전류를 변화시키면 컬렉터에 도달하는 전자의 양도 달라질 것이다. 만일 이미터에 들어오는 전자의 총량을 1이라 하고, 그중 컬렉터에 도달한 양을 a라고 하면 베이스로 빠져 나간 양은 b가 될 것이다. 그때 입력과 출력의 비는 a/b가 된다.

이 반도체 다이오드에서 만일 b를 0.01로 하면 a=1-b이므로 a는 0.99가 되고 a/b=99, 만일 b를 0.001로 하면 a=1-b이므로 a는 0.999가 되고 a/b=999, 즉 베이스의 전류를 조정하므로 컬렉터의 값을 엄청 크게 증폭할 수 있게 된다.

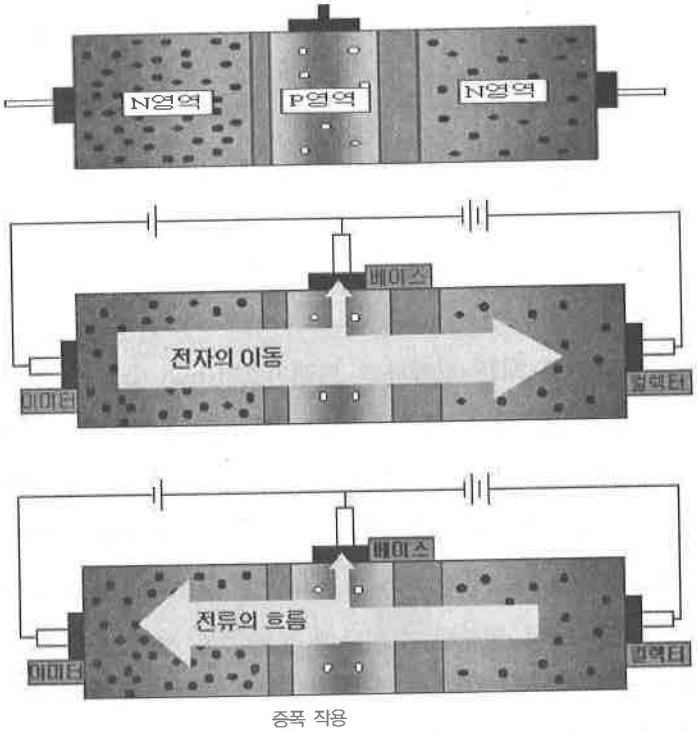


그림 6-10. 트랜지스터 원리도

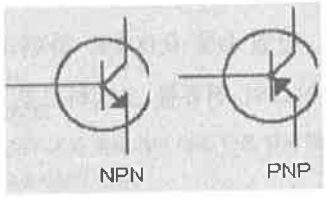


그림 6-11. 트랜지스터 표시법

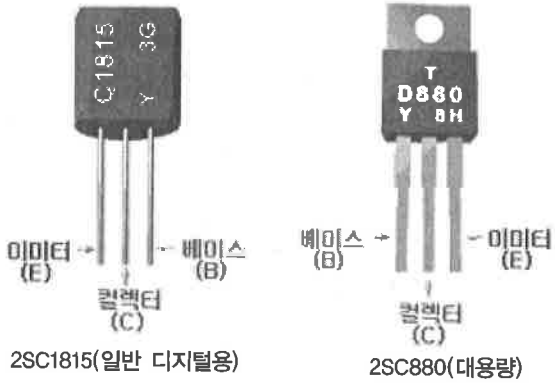


그림 6-12. 트랜지스터 실제품