



반도체의 실용지식

1

역/대한전기기사협회

머리말

반도체를 재료로 하여 만들어진 반도체소자는 트랜지스터가 발명된 이래, 발달과 개량이 눈부신 바 있다. 또 반도체를 사용한 새로운 소자가 계속 발명, 실용화되고 있다. 특히 트랜지스터는 집적화가 진보되어 IC, MSI, LSI로 그 집적화가 급속하게 발전되고 있다.

반도체소자의 개량, 발전에 따라 전자부품도 성능이 향상되고, 또 이것의 소형화에 따라 전자부품도 소형화되고 있다.

여기서는 이들 반도체소자, 전자부품의 기본적인 지식 및 실용적인 지식을 얻을 수 있도록 이론식이나 수식을 사용하지 않고 쉽게 설명을 하도록 한다.

1. 반도체의 제품명

반도체제품에는 많은 종류가 있고 각각 제품명이 부여되어 있다. 반도체제품중 트랜지스터, 다이오드, 정류소자 및 다이리스터는 한국공업규격(KSC 7013)에 반도체소자의 형명이 제정되어 있으며, 이것을 KS 형명이라 하고 있다. KS 형명에서 예를 들면 트랜지스터는

2	S	C	387	A
1항	2항	3항	4항	5항
(숫자)	(글자)	(글자)	(숫자)	(첨자)

와 같이 표시되며, 각각의 항은 다음과 같이 분류되고 있다.

1항(숫자): 이 항은 숫자로 표시되고 있다. 0은 호트 트랜지스터, 호트 다이오드 등이다. 기타의 소자는 유효전극수의 숫자로 표시되고 있으며, 2극의 다이오드에서는 1, 3극의 트랜지스터 및 다이리스터는 2로 표시한다. 4극에는 고주파용의 4채널 접합형 전계효과 트랜지스터가 있으며 이것은 3으로 표시하고 있다.

2항(글자): 문자로 표시된다. 이것은 반도체소자(Semiconductor Device)를 표시하는 S를 사용한다. 따라서 반도체제품에는 S가 사용되고 있다.

3항(글자): 반도체소자의 구조 및 특성을 나타내며 아래 문자가 사용된다. 다만, 1항목의 숫자가 0 및 1인 경우는 이 3항목의 글자는 생략된다.

- A...고주파용 PNP 트랜지스터
- B...저주파용 PNP 트랜지스터
- C...고주파용 NPN 트랜지스터
- D...저주파용 NPN 트랜지스터
- F...PNPN(P 게이트) 제어정류소자
- G...NPNP(N 게이트) 제어정류소자
- H...단결합 트랜지스터
- J...P채널 전계효과 트랜지스터
- K...N채널 전계효과 트랜지스터

4항(숫자): 4항은 등록순으로 붙이는 번호이다.

5항(숫자): 5항은 필요한 경우 사용된다.

2 다이오드

다이오드에 사용되는 반도체재료에는 실리콘(Si)과 게르마늄이 있다. 게르마늄은 초기의 반도체재료로서 많이 사용되었지만 현재는 거의 사용되고 있지 않으며 대신 실리콘이 사용되고 있다.

실리콘은 반도체재료로서 게르마늄에 비해 많은 우수한 점을 가지고 있다. 우선 실리콘의 산화물은 안정된 절연체이다. 또한 고온으로 동작하는 소자를 만들 수가 있다. 그리고 실리콘은 지구의 지표 암석 중 절반가량을 차지하고 있다고 한다. 따라서 원재료가 풍부하여 쉽게 구할 수가 있다. 그러나 반도체재료로서 실리콘을 사용하려면 순수한 단결정이어야 하고 또 적당한 전기저항을 가져야 한다. 그러나 실리콘의 산화물은 이산화규소로서 이 산화물이 안정되어 있는 것은 실리콘 단체인기 때문이며, 정제하기 어려운 것이다. 따라서 초기의 반도체재료로서 정제가 실리콘에 비해서 비교적 간단한 게르마늄이 사용되어 왔다.

그러나 현재는 정제기술의 발전에 따라 실리콘의 순도를 99.9999와 9가 11개(일레븐나인)나 계속되는 고순도의 것이 얻어지게 되었다. 이 정밀도 기술의 진보에 따라 반도체소자는 특수한 것을 제외하고 전부 실리콘이 사용되게 되었다.

2.1 다이오드의 구조

다이오드는 실리콘 또는 게르마늄에 소량의 불순물을 녹혀 넣어 불순물 반도체를 만든다. 여기서는 반도체에 실리콘을 사용하는 경우에 대해서 기술한다.

지금 실리콘에 불순물로서 붕소(B)를 녹혀 넣으면 전자가 1개 부족하게 된다. 즉, 정공(正孔)이 1개 생겨있는 상태이다. 이 정공은 붕소(B)에 약하게 포착되어 있지만 이 반도체는 실온 온도의 열에너지에

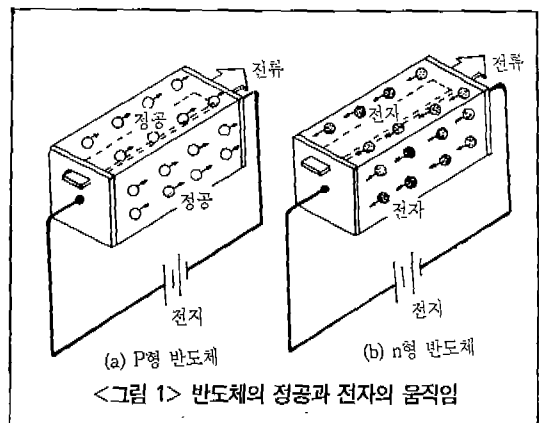
의해 정공이 결정내를 자유롭게 돌아다닐 수가 있다.

이와 같이 정공이 자유롭게 움직이는 반도체를 P형 반도체라고 한다. 실리콘에 녹아 들어가는 불순물은 붕소 외에 인듐(In), 갈륨(Ga), 알루미늄(Al) 등이 있다. 이와 같이 정공을 공급하는 불순물을 액셉터라고 한다.

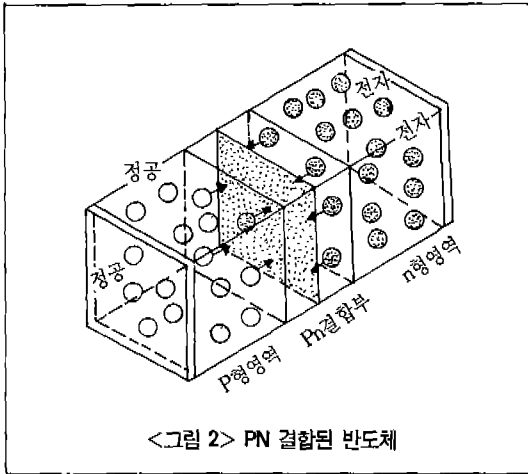
그리고 실리콘 결정에 불순물로서 인(P)을 녹혀 넣으면 전자가 1개 남는다. 이 전자는 인(P)에 약하게 잡혀 있지만 이 반도체는 실온정도의 열에너지에 의해 전자가 결정내를 자유롭게 돌아다닐 수가 있다. 이와 같이 전자가 자유롭게 움직이는 반도체를 N형 반도체라 한다. N형 반도체는 실리콘에 녹아 들어가는 불순물이 인(P) 외에 비소(As), 안티몬(Sb), 질소(N) 등이 있다. 이와 같이 전자를 공급하는 불순물을 도너라고 한다.

이들 P형 및 N형 반도체에 전압을 가하면 <그림 1>과 같이 반도체 양단에 전장(電場)이 생긴다. P형 반도체에서는 정공이 정의 부하를 가진 입자와 같이 행동, 부의 극쪽으로 움직인다. 또, 전류도 정공과 동일한 방향으로 흐른다.

한편, N형 반도체에서 전자는 부의 전하를 가지고 있으며 전장을 자가하면 전자가 정의 극쪽으로 움직이고 전류는 단자의 움직임과는 반대방향으로 흐른다.



<그림 1> 반도체의 정공과 전자의 움직임



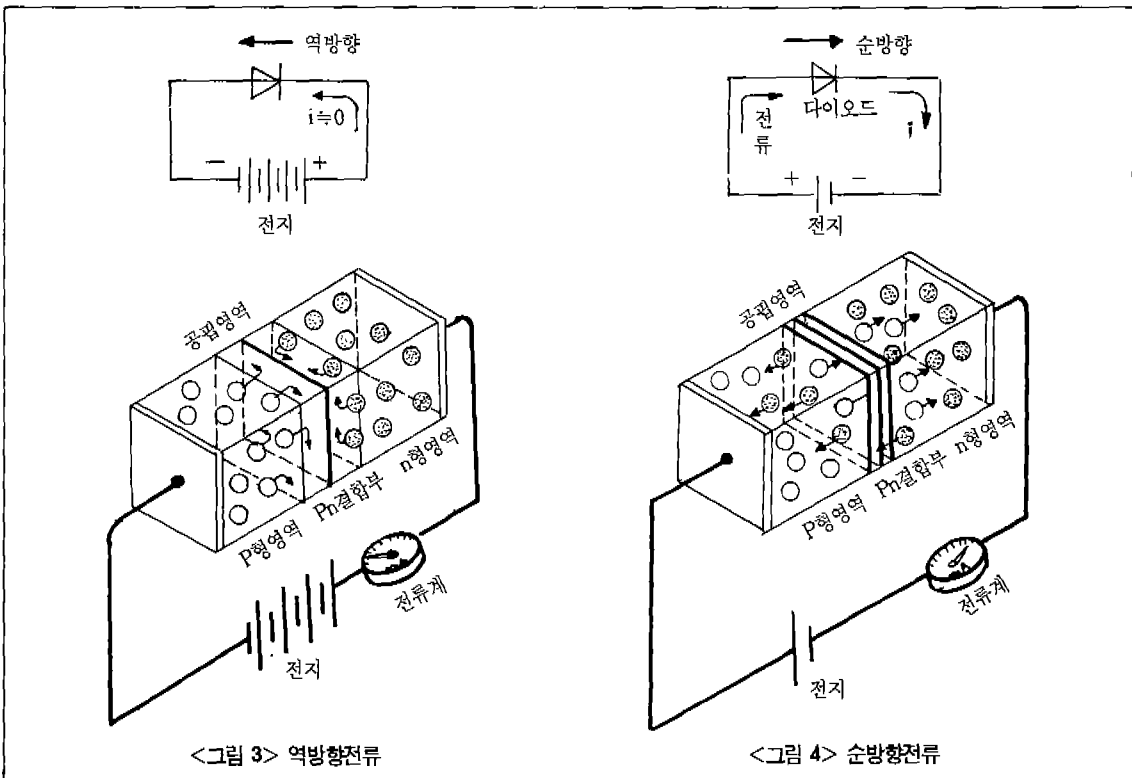
<그림 2> PN 결합된 반도체

이와 같이 반도체에는 P형 반도체와 N형 반도체가 있으며, 이 두 반도체를 접합한 것을 PN 접합(PN Junction)이라고 한다. 이 PN 접합된 반도체는 <그림 2>와 같이 결합부 부근은 P형 반도체로부터

정공이 N형 반도체 영역으로, 한편 N형 반도체에서는 전자가 P형 반도체 영역으로 확산에 의해 흐른다.

이와 같이 P형 반도체로부터 정공이 흘러 나오면 정전하가 흘러나온 것이 되어 이 P형 영역이 부(負)에 대전한 것이 된다. 또, N형 반도체에서는 전자가 P형의 영역으로 흘러나가기 때문에 이 부분이 정(正)으로 대전한 것이 된다. 따라서 P형과 N형의 결합부분에는 전자와 정공이 결합된 영역이 생기며 이것을 공핍영역이라고 한다. 이 공핍영역의 폭은 P형 및 N형 반도체의 불순물 농도에 따라 결정된다.

지금 이 PN 결합된 반도체를 <그림 3>에 표시하듯이 P형 영역이 부, N형 영역이 정이 되도록 전압을 가하면 정공 및 전자는 전극쪽으로 당겨져 공핍영역이 확산된다. 이 공핍층은 고저항 영역이 되기 때문에 전류가 거의 흐를 수 없다. 이 상태를 역방향이라고 한다.



<그림 3> 역방향전류

<그림 4> 순방향전류
















또 P형 영역이 정, N형 영역이 부가 되도록 전압을 가하면 <그림 4>와 같이 공핍영역이 없어지고 정공은 P형 영역에서 N형 영역으로 유입하며 전자는 N형 영역에서 P형 영역으로 유입하는 한편 전류는 결합부를 넘어 P형 영역에서 N형 영역으로 흐른다. 이 상태를 순방향이라고 한다.

이와 같이 PN 결합된 반도체는 어느 방향으로든 전기를 통하지만 다른 방향으로든 전기를 통하지 않는 동작을 한다. 이것을 정류작용이라고 한다. 이 PN 결합에 의한 정류소자를 반도체 다이오드 또는 그냥 다이오드라고 하고 있다.

2.2 다이오드의 종류

초기의 다이오드는 대부분이 정류소자로서 사용되고 있었다. 그러나 현재는 이들 다이오드도 반도체에 용입하는 불순물의 종류나 그 양을 바꿈으로써 <표 1>과 같이 많은 특수용도의 다이오드가 제조되게

<표 1> 다이오드의 종류

명 칭	기 호	용 도
다이오드	  혼란의 우려가 없을 때는 원을 생략해도 된다.	정 류 용
가변용량 다이오드	 	전자동조, FM 변조, AFC회로 마이크로파용
터널 다이오드	 	스위칭, 발진, 증폭
정전압 다이오드 (일방향성 항복 다이오드)	 	정전압, 기준전압 (제너 다이오드)
발광 다이오드	 	표 시
호토 다이오드	 	수 광
터미스터	 	온도검출, 온도보상
쌍방향성 다이오드 (대상 바리스터)		서지흡수

되었다. 여기서는 정류용 다이오드의 종류와 그 사용 방법에 대해서 설명한다.

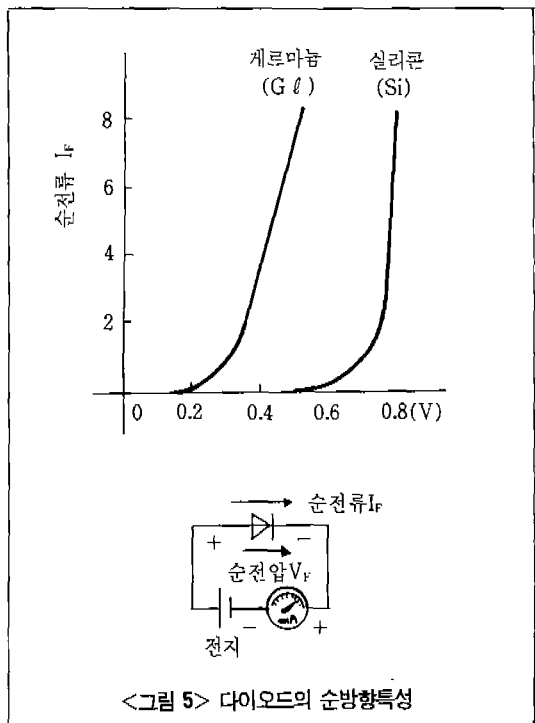
2.2.1 검파 및 스위칭용 다이오드

검파 및 스위칭용 다이오드는 비교적 소전류로 사용하는 것이다. 반도체재료로서는 게르마늄(Ge) 및 실리콘(Si)이 사용되고 있다. 그러나 현재는 게르마늄의 사용이 드물고 대부분이 실리콘으로 되어 있다.

이들 다이오드에 순방향의 전압을 가한 경우의 특성은 <그림 5>와 같은 특성이 된다.

그림에서도 알 수 있듯이 순방향전류는 순방향으로 인가한 전압이 어느 스레숄드 값 이상에 달했을 때 순전류가 흐르기 시작한다. 이 스레숄드 전압은 게르마늄 다이오드에서 0.2~0.4V(25°C), 실리콘 다이오드에서는 0.5~0.8V(25°C)정도의 값이다.

역방향의 전류는 다이오드에 역방향전압이 인가되면 PN 결합내부에 있는 약간의 전자와 정공이 이동하여 역방향전류가 흐른다. 이 전류의 값은 접합부의



<그림 5> 다이오드의 순방향특성

면적에 비례한다. 또한 <그림 6>과 같이 게르마늄 다이오드 보다 실리콘의 그 값이 훨씬 작다.

검파나 스위칭 회로에 사용하는 다이오드는 <그림 7>과 같이 게르마늄 또는 실리콘의 단결정편에 금속의 탐침을 세운 것이다. 이것을 점접촉형(포인트 콘택트형)이라고 한다.

점접촉형은 정전용량의 값이 작으며 고주파회로에 적합하다. 그러나 순방향특성 및 역방향특성은 접합형 다이오드에 비하면 떨어진다. 점접촉형의 다이오

드는 주로 고주파회로의 검파용 다이오드로서 사용되고 있다. 또 게르마늄 또는 실리콘 단결정편에 금 또는 은의 가는 선을 용접한 것을 본드형이라고 하며 <그림 8>과 같은 구조로 되어 있다.

이 본드형은 점접촉형과 합금형의 중간특성을 가지고 있다. 정전용량의 값은 점접촉형에 비해 약간 커지지만 순방향특성은 상당히 좋게 되어 있다.

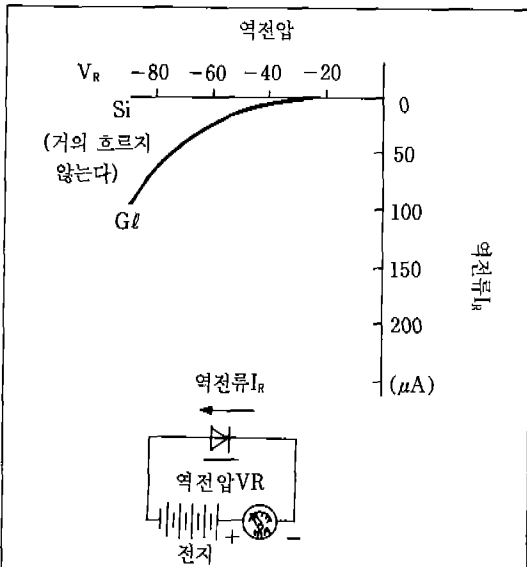
본드형 다이오드는 스위칭 회로, 검파 회로에 사용되고 있다. 특히 금선을 용접한 것을 골드 본드 다이오드, 은선을 용접한 것을 실버 본드 다이오드라고 한다.

2.2.2 전력용 다이오드

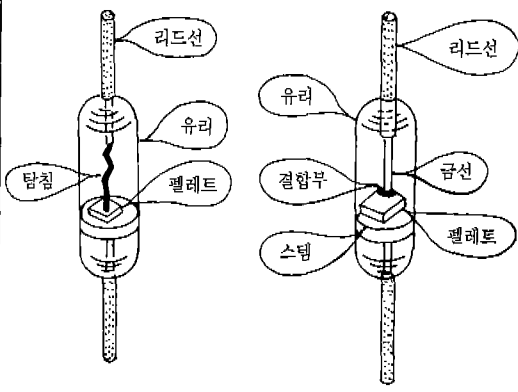
합금형 다이오드는 N형 실리콘 또는 게르마늄의 단결정편에 인듐(In), 알루미늄(Al) 등을 합금하여 PN 결합을 만든 것이다. 합금형 다이오드는 순방향 전압강하가 작으며 전력정류용에 적합하다. 그러나 결합부의 면적이 넓어지면 정전용량의 값이 커진다. 따라서 고주파의 검류정류용으로는 적합하지 않다.

합금형의 소전류용 다이오드는 <그림 9>와 같은 구조로 되어 있다. 또, 대전류용 합금형 다이오드는 <그림 10>과 같은 구조로 되어 있다.

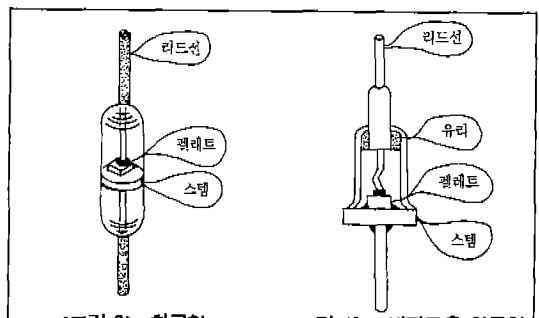
확산용 다이오드는 펠레트의 구조가 합금형과 상이할 뿐이고, 전극형성법 등은 합금형과 거의 같다. 확산형은 N형 또는 P형의 실리콘웨이퍼를 1,000~1,250°C의 고온도내에서 P형 또는 N형의 불순물을 포함하는 기체내에서 가열, 그 온도와 가열시간에 의해



<그림 6> 다이오드의 역방향특성

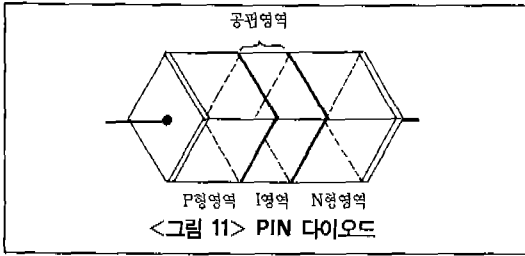


<그림 7> 점접촉형 다이오드 <그림 8> 본드형 다이오드



<그림 9> 합금형 다이오드

<그림 10> 대전류용 합금형 다이오드



정해지는 깊이까지 불순물을 열 확산시켜 PN 결합을 형성시킨다.

확산방법으로는 에피터키설법(기상성장법), 프레너법, 메사법이라고 하는 가공기술이 있으며 이들 가공기술을 복합해서 특징있는 다이오드, 트랜지스터, IC 등이 제조되고 있다.

2.2.3 고내압형 다이오드

고전압의 정류에는 PIN 다이오드가 사용된다. 고내압 다이오드에서는 고비저항 실리콘(I형 실리콘)을 사용하여 <그림 11>과 같이 P-I-N 구조로 한다. 그림에서도 알 수 있듯이 P형 영역과 N형 영역 간에 약 0.2mm폭으로 불순물이 첨가되지 않은 고비저항 실리콘의 결정영역을 설정한다.

이 P-I-N 다이오드에 순방향으로 전압을 가하면 I형에는 양측의 P형 및 N형으로부터의 소수 캐리어에 의해 채워져 순전류가 흐른다. 또, 역방향으로 전압을 가하면 공핍영역이 I형역 전체에 걸쳐 확산되어 역내전압의 값이 높아진다.

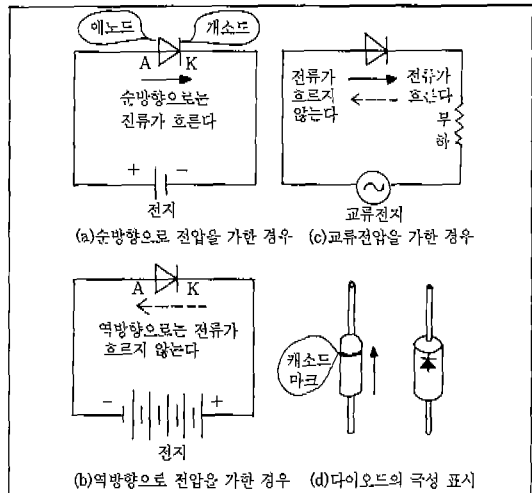
2.3 다이오드의 특성

다이오드는 PN 결합을 기다리는 반도체소자이다. 이 PN 결합에 의해 <그림 12>와 같이 순방향으로 전압을 가하면 전류가 흐르고 역방향으로 전압을 가하면 전류가 흐르지 않는 정류작용이 있다. 그러나 이 정류작용의 이상적인 특성은 <그림 13>과 같이 순방향으로 전압을 가하면 순방향의 저항이 0으로 무한대의 전류를 흘릴 수가 있고 또한 역방향의 전압을 가하면 저항이 무한대가 되는 데다가 큰 값의 전압을 다이오드에 가하더라도 다이오드가 파손되지 않고 무한대로 큰 값의 전압이 가해지는 것이다.

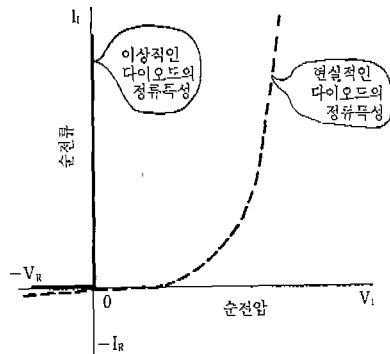
그러나 현실적인 다이오드는 <그림 14>와 같이 상온에서, 실리콘 다이오드는 0.5~0.8V, 게르마늄 다이오드는 0.2~0.4V정도의 전압을 다이오드 양단에 가하지 않으면 순전류가 흐르지 않는다. 일반적으로 전력용 다이오드를 정류기로서 사용하는 경우 다이오드에 정격전류를 흘렸을 때 다이오드에는 1V 정도의 순방향으로 전압강하가 생긴다.

다이오드의 PN 결합부 온도(잔크션 온도: T_0)가 상온 이외인 경우에는 잔크션 온도에 따라 그 특성이 변화한다.

이들 다이오드의 온도특성은 순방향에서는 <그림 15>와 같이 부의 온도계수를 가지며 실리콘 다이오드에 있어서는 그 값이 약 $-2.3mV/deg$ 이다.



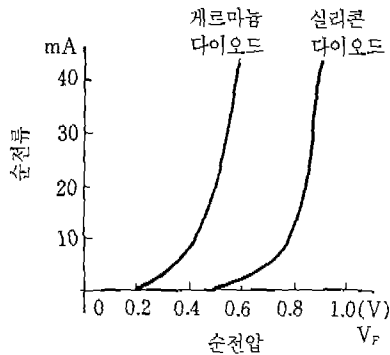
<그림 12> 다이오드의 정류작용



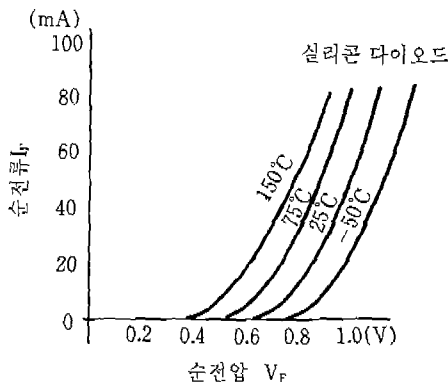
<그림 13> 이상적인 다이오드의 정류특성

역방향특성은 다이오드에 역방향 전압이 인가되면 PN 결합내부에 있는 약간의 전자와 정공이 이동하여 역방향전류가 흐른다. 이 역방향전류의 값은 다이오드의 결합부 면적에 비례한다. 따라서 대전력용 다이오드는 상온에서 수 $n^+A(10^{-9}A)$ 정도, 소전력용 다이오드는 ln^+A 이하이다. 그러나 잔크션부의 온도가 높아지면 그 값이 증가한다.

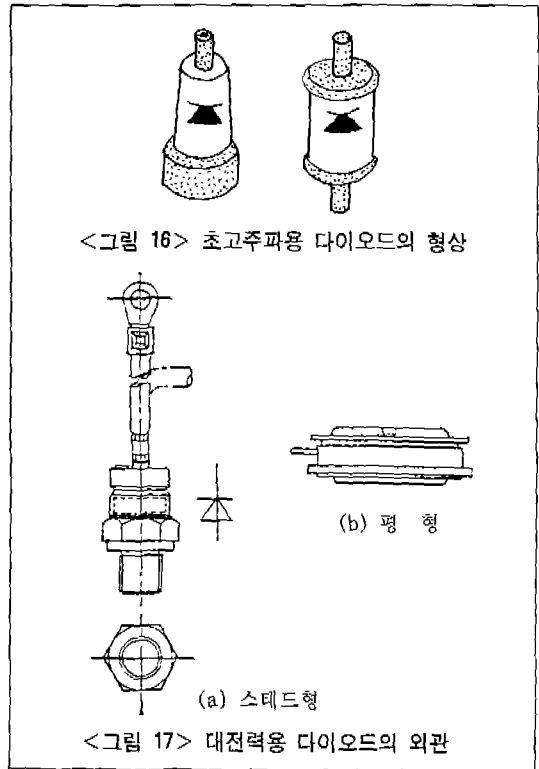
다이오드에는 다이오드의 종류에 따라 직류역전압의 값이 표시되어 있다. 이 표시된 값 이상의 역전압을 다이오드에 가하면 역방향전류가 급격히 증가한다. 이것은 PN 결합부내에서 역방향의 전계가 너무 강해지면 전계에서 가속된 전자가 다른 전자에 충돌하고 이것이 연쇄반응적으로 반복되어 다량의 전자가 이동한다. 이 현상을 전자사태(에벌란체 브레이크 다운)라고 한다. 역방향으로 가해지고 있는 전압이



<그림 14> 반도체재료에 따른 정류특성



<그림 15> 실리콘 다이오드의 순방향 온도특성



<그림 16> 초고주파용 다이오드의 형상

<그림 17> 대전력용 다이오드의 외관

높기 때문에 브레이크 다운을 일으키며 다이오드를 파괴해 버린다. 따라서 다이오드의 직류역전압 또는 첨두역전압의 값에는 주의를 하여야 한다.

이들 다이오드의 정격은 <표 2>와 같은 항목으로 분류되며, 각각의 값이 정해져 있다.

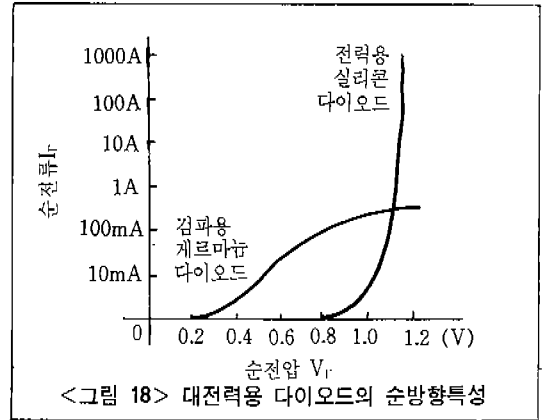
2.3.1 검파 및 스위칭용 다이오드의 특성

검파 및 스위칭에 사용하는 다이오드는 우선 결합용량의 값이 작아야 한다. 따라서 결합용량이 작은 점접촉형이나 본드형의 것이 많이 사용되고 있다. 또, 반도체재료도 게르마늄을 사용한 다이오드는 거의 제조되고 있지 않다. 현재는 전부 실리콘이 사용되고 있다.

실리콘을 사용한 점접촉형 다이오드는 마이크로파의 혼합(믹서)이나 검파에 사용되고 있다. 사용주파수 범위도 1GHz(1,000MHz)에서 10GHz까지 있다. 또 그 형상도 일반 다이오드와 달리 리드선이 사용되지 않고 특수한 형상을 하고 있다. 그 형상의 일례를 <그림 16>에 든다.

<표 2> 다이오드의 전기적 특성

항 목	기호	내 용
순 전 류	I_F	다이오드에 순방향으로 규정된 전압 V_F 를 인가했을 때 흐르는 전류로, 게르마늄 다이오드에서는 0.2V~0.3V, 실리콘 다이오드에서는 0.5~0.6V부터 순전류가 흐르기 시작했다.
순 전 압	V_F	다이오드에 일정한 순전류를 흘렸을 때의 다이오드 단자간의 전압강하를 표시하며 작은 값의 전류에서는 반도체재료에 따라 정해진다. 또 대전류에서는 작은 값이 좋다. 규격에서는 최대값을 규정한다.
역 전 류	I_R	다이오드에 역방향으로 규정된 전압을 인가했을 때 역방향으로 흐르는 전류를 I_R 라고 하며, 역특성의 정도를 표시한다. 이상적인 면에서 역전류는 0이 좋다. 그러나 현실적으로는 실리콘 다이오드는 수 nA 이하, 게르마늄 다이오드는 수 μA 이다. 역전류의 값은 온도에 따라 크게 변화한다.
결합용량	C _j	다이오드에 역전압을 인가했을 때의 결합용량으로서, 그 값은 작은 것이 좋다. 그러나 가변용량 다이오드는 이 용량을 적극적으로 이용한 것이다. 결합용량의 값은 인가전압에 따라 변화하며 소형 다이오드는 0.5~5PF 정도이다.
정류능률	η	텔레비전이나 라디오 등의 고주파 신호를 검파할 때 그 효율을 표시하는 정수로서, 다음 식으로 정의된다. $\eta = \frac{\text{직류출력전압}}{\sqrt{2} \times \text{입력전압}} \times 100(\%)$ 검파용 다이오드로 50~70% 정도의 값을 표시한다.
역회복시간	t_{rr}	다이오드를 스위치로서 사용했을 때 다이오드의 스위치 응답속도를 표시하는 것으로 결합부가 작을수록 빠르다. 측정방법은 다이오드에 인가되고 있는 전압이 순방향에서 돌연 역방향으로 바뀌었을 때 어느 정도 뒤져서 전류가 OFF 상태가 되는가를 표시하는 것으로써 소형 실리콘 다이오드로 수 ns정도이다.



<그림 18> 대전력용 다이오드의 순방향특성

검파, 스위칭용의 다이오드는 정류용에 비해 순전압강하가 적고 단자간 용량도 작으며, 또 첨두역전압 V_{RM} 도 100V정도이고, 높은 것이라도 200V정도까지이다. 그리고 순전류도 100mA정도이고 큰 것이라도 1A정도까지이다.

2.3.2 전력정류용 다이오드

전력정류용 다이오드에는 실리콘 확산 결합형 다이오드가 사용되며 고전압, 대전류회로에 사용되고 있다.

전력정류용 다이오드는 검파용 다이오드에 비해 피크 반복역전압도 1,000V, 높은 것으로 1소자 3,000V까지 사용되는 것이 있다. 그리고 순전류도 작은 것은 1A로부터 큰 것은 3,000A정도의 전류를 흘릴 수가 있다.

전력정류용 다이오드는 소용량으로 전류값이 작은 단자는 리드선이 사용되고 있다. 그리고 전류의 값이 커지면 펠레트에서 발생하는 열을 효율적으로 외부에 방출시키기 위해 방열 편에 설치하기 쉬운 스택드형이나 평형 다이오드로 되어 있다.

실리콘 다이오드의 펠레트는 150°C~170°C정도의 고온에 견디므로 대전력용 회로에 사용하는 다이오드는 방열에 주의하여 펠레트 온도가 허용결합온도를 초과하지 않도록 주의한다. 이들 전력정류용 다이오드의 외관 및 그 특성을 <그림 17>과 <그림 18>에 든다.

<다음호에 계속...>