

# 현장실무자를 위한 설비진단 테크닉 (15)

전기는 응용하는 기술의 발달에는 실로 눈부신 바가 있다.

전기를 깨끗하고 안전한 에너지원으로써

또, 컴퓨터나 통신에 이용되는 정보전송의 매체로서

널리 사용되어 최근에는 광이나 초음파의 분야도 포함하여

쉽줄 모르는 진보를 계속하고 있다.

우리들은 그 전부를 볼수는 없으나, 미래기술이라는 거대한 양상에 대하여

비록 기술의 단편이라도 많이 모아 쌓이면 많은 참고가 될 것이다.

본고에서는 이를 위해 전 13장을 번역 게재할 예정이다.

## 글 씀 순서

- |       |                   |       |                       |
|-------|-------------------|-------|-----------------------|
| 제 1 장 | 예지보존에의 기초기술       | 제 6 장 | 변압기의 예지보전             |
|       | • 이상예지를 위한 데이터 처리 | 제 7 장 | 케이블 열화의 간이측정          |
|       | • 열화 프로세스에서의 이상예지 | 제 8 장 | 롤러베어링의 진단 테크닉         |
| 제 2 장 | 운전감시로 되는 상태의 추정   | 제 9 장 | 전력전자기기의 수명예측          |
|       | • 운전감시로 되는 상태의 추정 | 제10장  | 콘덴서 개폐와 보수유지          |
|       | • 이상 발생후의 상태진단    | 제11장  | 큐비클의 방식기술             |
| 제 3 장 | 기기에 의한 외부진단 테크닉   | 제12장  | 보전용 계기와 사용법           |
| 제 4 장 | 가스절연기기의 내부진단      | 제13장  | 센서에 사용되는 여러가지 성질과 활용법 |
| 제 5 장 | 리모트 센싱에 대한 설비진단   |       |                       |

# 제13장

## 센서에 사용되는 여러가지 성질과 활용법(상)

역/대한전기기사협회 기술실

### 서론

현재 산업계나 가정에서 자동화가 급속히 진행되고 생력화(省力化)가 이루어지고 있다. 예를 들면 이전에는 공장 등에서 제품의 제조공정에 대한 온도 조절은 계기를 눈으로 읽고 기계를 손으로 조작해서 시행해 왔다. 이것이 지금은 모두 자동으로 이루어지고 있다. 또한 방법을 위하여 숙직원이 경비하고 있던 은행이나 상점 등에서도 지금은 방범장치를 설치하여 적은 인원으로 많은 장소를 경비하게 되었다. 이의 중심이 되어 있는 것은 크고 작은 여러가지 규모의 컴퓨터와 이에 접속된 각종 센서이다.

이는 바와 같이 최근에 컴퓨터 기술의 진보는 눈부신 것이 많다. 각종 분야에서 사용되고 지금까지 대단히 곤란하다고 되어 있던 것이 남의 손 없이도 단시간에 정확하고 쉽게 할 수 있는 것을 주위에서 볼 때, 컴퓨터만 발달한다면 무엇이든지 가능하게 되는 것은 아닌가 하는 착각을 일으키기 쉽다. 그런데 컴퓨터에서 할 수 있는 것은 들어오는 전기신호를 고속, 정밀하게 처리하는 것뿐이다. 따라서 어떤 물체의 온도를 컨트롤하려고 할 때에 컴퓨터만으로는 아무것도 되지 않는다. 우선 그 온도를 알 필요가 있다. 그것에는 온도를 전기신호로 변환할 수 있는 디바이스가 필요하다. 예를 들면 열전쌍을 가지고 와서 접합부를 그 물체에 접촉시킨다. 물체의 온도에 따라 전압이 열전쌍의 다른 끝에 발생하므로 그 전압을 신호로 하여 컴퓨터에 입력시킨다. 이 이외

에도 빛, 압력, 소리, 습도, 가스 등에 대해서도 전기신호로 변환해 주는 디바이스가 필요하다.

이와 같이 온도나 빛 또는 소리 등을 전기신호로 변환하는 디바이스를 센서라고 한다. 센서는 컴퓨터와 연결해서 사용된다고는 할 수 없으며 단독으로 사용되는 경우도 많다. 인간이나 컴퓨터의 눈, 귀, 코 등과 같은 감각기관의 역할을 해 주는 디바이스이다. 우리 주위의 자연이나 사회 환경에는 여러가지 상태, 즉 물리현상이 있는데 그것을 전기신호(또는 광신호)로 인출하기 위하여 물질 안에서 생기는 각종의 물리효과를 이용한 센서가 필요하다.

물질에는 고체, 액체, 기체로 3가지 상태가 있다. 그 중에서 고체를 전기가 흐르기 쉬운 것으로 분류하면 금속, 반도체, 절연체로 나눌 수 있다. 반도체란 전기 흐름의 용이도가 금속(동, 알루미늄, 철 등)과 절연체(유리, 도자기, 플라스틱 등)의 중간에 있으므로 이러한 명칭이 된 것이다. 반도체는 금속이나 절연체에 비하여 전기, 빛, 자기, 소리, 온도, 분위기(가스) 등과 같은 여러가지 상태를 느낄 수 있기 때문에 센서의 재료로는 가장 적합한 것이다.

한편 금속이나 절연체는 반도체만큼 다채로운 성질을 가지고 있지 않으나 그들 중에는 반도체에서 볼 수 없는 상당한 효과를 나타내는 것도 있다.

여기서는 센서에 잘 이용되고 있는 물리적인 효과를 중심으로 해서 설명하고 또한 현재 별로 사용되고 있지 않으나 사용 방법의 개발이 기대되는 몇 가지 물리효과에 대하여 간단하게 해설해 본다.

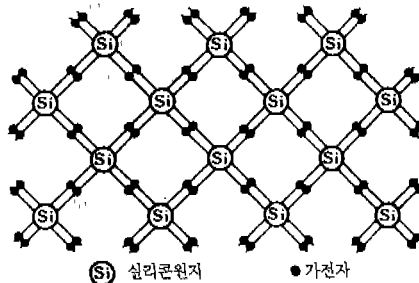
### 1. 광도전효과(빛→전기)

이것은 반도체 결정에 빛을 대면 반도체의 전기 전도도가 커져서 전류가 흐르기 쉽게 되는 효과를 말하는 것이다. 또한 빛을 전기로 변환시키는 작용을 갖는다. 이것은 빛의 조사에 의하여 반도체 결정 속에서 자유로이 움직일 수 있고 전기를 운반할 수 있는 전자나 정공의 수가 많아지기 때문이다.

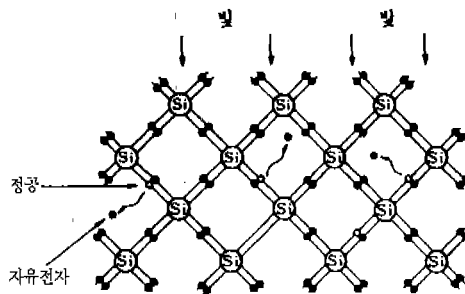
다음에 빛의 조사에 의하여 어떻게 해서 전자나 정공의 수가 증가하는가를 생각해 보기로 한다. 앞으로 반도체에 대한 것이 많이 나오므로 여기서 상세하게 반도체에 대해서 언급한다. 반도체에서는 대단히 많은 종류가 있다. 예를 들면 실리콘(Si)이나 게르마늄(Ge)과 같이 단일원소로 되어 있는 것 또는 비화 갈륨(Gallium Arsenide)이나 인화 갈륨(Gallium Phosphide)과 같이 화합물로 된 화합물 반도체 등이 있다. 이 중에서 실리콘(직접 회로)이나 태양전지 또는 센서 등에 가장 널리 다량으로 사용되고 있기 때문에 실리콘을 예로 해서 설명한다. 다른 반도체에 대해서도 기본적인 것은 실리콘의 경우와 같다.

한 개의 실리콘 원자는 모두 14개의 전자를 가지고 있다. 그 중에서 가장 외측에 있는 4개의 전자와 원자 상호간을 결합시키는 작용을 하여 <그림 1>과 같이 실리콘의 결정을 만든다. 이와 같이 결합에 관여하는 전자를 가전자라고 하며 각 원자는 자기 주위에 있는 4개의 원자에 가전자를 한 개씩 내서 서로 결합하고 있다. 상대 원자도 결합하기 위하여 1개씩 내므로 결국 2개의 전자로 결합되어 있다. 이와 같은 결합을 공유결합이라고 한다.

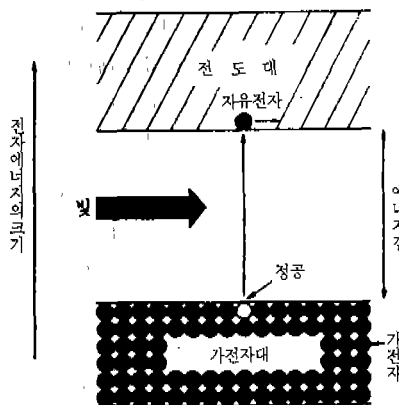
이러한 전자는 결정 속을 자유로이 움직이지 못하므로 전계를 가해도 전류는 흐르지 않는다. <그림 2>와 같이 이것에 빛을 대면 빛이 흡수되어서 전자를 결합한데서부터 분리시키므로 자유로이 움직이게 된다. 한편 전자가 지나간 곳에는 전자의 구멍이 생긴다. 이 구멍은 전자와 반대인 플러스의 전하를 가지고 있으며 결정 속을 자유로이 이동할 수 있다. 이



<그림 1> 실리콘의 결정



<그림 2> 광조사에 의한 자유전자와 정공의 발생



<그림 3> 반도체의 전자에너지대 구조 및 광흡수에 의한 자유전자와 정공의 발생

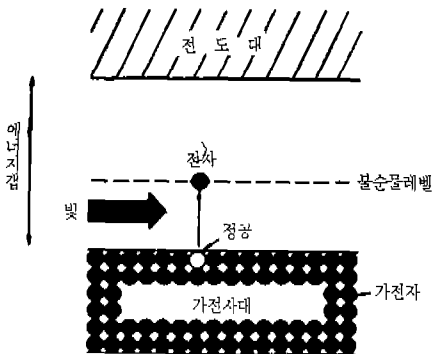
것을 전자와 같이 입자로 생각해서 정공이라고 한다.

이상과 같은 것을 반도체의 전문용어인 에너지 밴드를 사용해서 설명하면 다음과 같다. 반도체 안의 전자가 어떠한 에너지를 가질 수 있는가를 나타낸 것이 <그림 3>이며 전자의 에너지 밴드 구조라고

한다. 가전자는 가전자대라고 하는 에너지가 있는 곳에 가득 채워지고 있다. 이 가전자를 자유로운 전자로 하는 데는 전도체까지 높여 줄 필요가 있다. 그것에는 에너지갭에 상당한 에너지를 외부에서 전자에 주지 않으면 안된다. 이 에너지를 빛의 조사에 의하여 공급하면 가전자대의 전자가 전도체로 되고 가전자대에는 구멍인 정공이 생긴다. 양쪽이 모두 결정 속을 자유로이 움직일 수 있으므로 전기를 운반(이동)할 수 있다.

다음에 실리콘에 불순물로서 다른 원소, 예를 들면 인듐(In)을 혼합시킨 경우를 생각해 본다. 인듐은 <그림 4>와 같이 에너지갭 도중에 전자가 있을 수 있는 장소를 만든다. 전자를 이 레벨로 올려주면 전자는 움직이지 않으나 그 때에 생긴 정공은 움직일 수가 있다. 또한 그림에서 아는 바와 같이 전자를 전도체에 올리는 것보다도 적은 에너지로 충분하다.

빛은 파장이 짧을수록 에너지가 크기 때문에 실리콘인 경우에 전도체로 전자를 올리는 데는 약 1미크론보다 짧은 파장의 빛을 조사할 필요가 있으나 불순물 레벨로 올리는 데는 적외선의 조사로도 좋다. 반도체의 종류에 따라 에너지갭의 크기는 다르다. 또한 불순물의 종류에 따라 불순물의 높이도 다르다. 따라서 반도체의 종류나 그것에 혼합되는 불순물의 원소를 적당히 선정하면 여러가지 파장의 빛으



<그림 4> 불순물레벨을 갖는 반도체에 대한 광도전효과

로 느낄 수 있는 광센서를 만들 수 있다. 실제로 이와 같이 해서 여러가지 광센서가 제작되고 있으며 다시 좋은 센서를 목표로 한 개발과 연구도 이루어지고 있다.

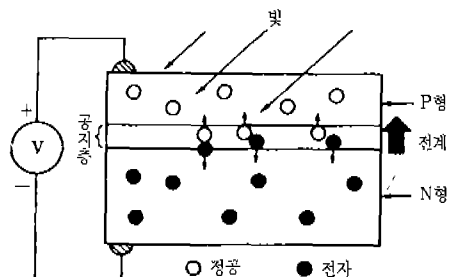
## 2. 광기전력효과(빛→전기)의 여러가지

이 효과는 반도체에 빛을 비치면 기전력(전압)이 발생하는 현상이다. 상세하게 분류하면 이에 속하는 효과는 상당히 많다. 여기서는 그중 세 가지 효과에 대하여 설명한다. 우선 첫째로 가장 대표적인 효과인 반도체의 PN접합이나 쇼트키접합에 의한 광기전력 효과와 광자기 전기효과 및 텀버효과에 대하여 설명한다.

### (1) 반도체접합에 의한 광기전력효과(빛→전기)

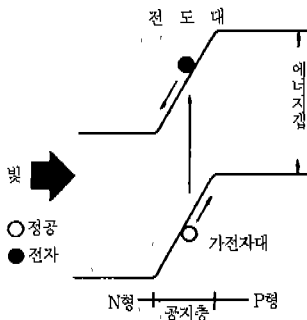
반도체의 접합에는 두 가지 종류가 있는데 우선 PN접합에 대하여 간단하게 설명한다. 예를 들면 실리콘 결정 속에 붕소(B)를 가하면 자유 정공이 많이 발생하면 P형 반도체라고 한다. 한편 실리콘 결정에 인(P)를 첨가하면 자유 전자가 많이 발생하여 N형 실리콘이 생긴다. 자유 전자를 많이 함유하는 반도체를 N형 반도체라고 한다.

<그림 5>와 같이 P형의 부분과 N형의 부분을 한 개의 반도체 결정 속에서 만들 수가 있다. 이와 같이 한 개의 결정 속에서 P형과 N형의 부분이 접촉한 상태에 있는 것을 PN접합이라고 한다. 이 P형과 N형의 경계에는 대단히 좁은 폭이지만 전계가 존재하는 영역이 있다. 이 영역을 공핍층이라고 한다.



<그림 5> 반도체의 PN접합에 의한 광기전력효과

이와 같은 PN접합을 갖는 반도체에 에너지갭보다 큰 에너지를 갖는 빛을 대면 광도전효과의 향에서 설명한 바와 같이 빛이 흡수되어서 전자와 정공이 발생한다. 그러면 공핍층 속이나 그 근처에서 발생한 정공과 전자는 그곳에 존재하고 있는 전계에 끌려서 전자는 N형쪽으로, 정공은 P형쪽으로 모인다. 그 결과로 P형쪽은 플러스, N형쪽은 마이너스로 대

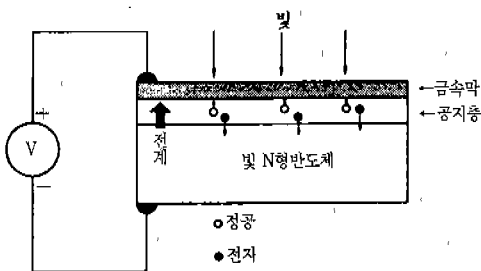


<그림 6> 반도체의 PN접합에 의한 광기전력효과의 에너지대를 사용한 설명

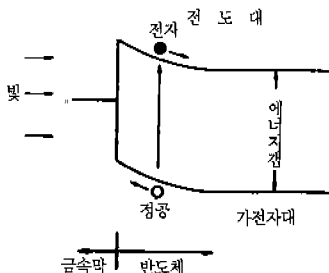
전하기 때문에 P형과 N형 사이에 전압이 발생한다. 이것이 PN접합에 의한 광기전력효과이다.

이것을 에너지 밴드를 사용해서 나타내면 <그림 6>과 같이 된다. P형과 N형이 접합하고 있는 곳 (공핍층)에서는 그림과 같이 에너지 밴드가 어긋나게 된다. 어긋나게 되는 곳은 전자나 정공에 대해서는 언덕길과 같다. 따라서 빛의 조사에 의하여 언덕길의 도중이나 언덕길 근처에서 발생한 전자 또는 정공은 각각 반대 방향으로 언덕길을 내려간다(정공에 대해서는 그림의 윗쪽이 낮은 쪽에 해당된다). 이와 같이 해서 전자는 N형쪽, 정공은 P형쪽에 모이므로 전압이 발생한다.

다음은 쇼트키접합에 대하여 간단하게 설명한다. 이것은 반도체를 깨끗이 한 평탄한 표면에 대단히 얇은 금속막을 진공증착으로 부착시킨 구조로 되어 있다. <그림 7>은 N형 반도체에 금속막을 붙인 쇼트키접합을 나타내고 있다. 반도체와 금속막의 경계에는 PN접합인 경우와 같이 공핍층이 있으며 여기에는 전계가 존재한다. 이것에 빛을 조사하는 경우에 금속막을 충분히 얇게 하면 빛을 관통하여 반도체 안에 전자와 정공을 발생시킬 수 있다. 공핍층 안의 전계 때문에 정공은 표면쪽으로, 전자는 반도체 내부로 이동한다. 따라서 PN접합인 경우와 동일하게 전압이 발생한다. 이러한 것을 에너지 밴드를 사용해서 설명하면 <그림 8>과 같이 된다. 반도체의 표면 근처에 에너지 밴드가 기울어지고 있는 곳이 존재하기 때문에 빛에 의하여 발생한 전자 및 정공은 각각 에너지가 낮은 쪽으로 움직인다. 그 결과로 전압이 발생한다.



<그림 7> 반도체의 쇼트키접합에 의한 광기전력효과

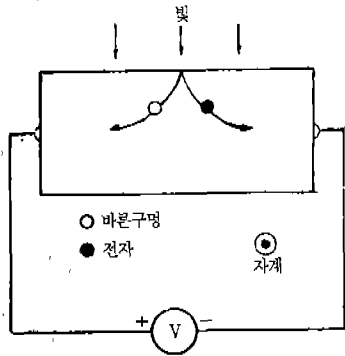


<그림 8> 반도체의 쇼트키접합에 의한 광기전력효과의 에너지대에 의한 설명

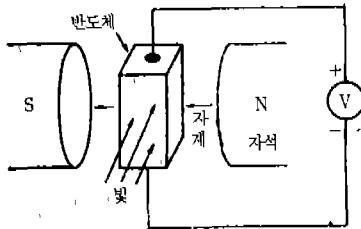
여기서 설명하고 있는 접합에 의한 광기전력효과는 센서뿐만 아니라 태양 전지에도 한창 이용되고 있다.

(2) 광자기전기효과(빛, 자기→전기)

반도체에 잘 흡수되는 빛(반도체의 에너지갭보다 큰 에너지를 갖는 빛, 예를 들면 실리콘의 경우에는 태양이나 전등의 가시광)을 조사한다. 이러한 빛은 표면에서 잘 흡수되므로 내부에 갈수록 빛은 약하게



<그림 9> 광자기전기효과의 원리



<그림 10> 광자기전기효과

된다. 따라서 빛의 흡수로 인하여 발생하는 전자와 정공의 수는 표면에 가까울수록 많고 내부로 갈수록 적어진다. 농도가 높은 부분과 낮은 부분이 있으면 전자나 정공을 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동한다. 이러한 현상을 확산이라고 한다. 확산에 의하여 표면의 전자나 정공은 반도체의 내부로 움직인다.

여기서 자계를 이들의 진행방향에 대하여 수직으로 가한 경우를 생각해 본다. 잘 알려진 바와 같이 하전 입자가 자계의 속을 움직이면 자계와 진행방법에 대하여 수직인 방향으로 힘을 받는다. 그 결과, 진행방향이 바뀐다. 전자와 정공은 전하의 부호가 반대이므로 각각 반대방향으로 진행하게 된다.

<그림 9>와 같이 빛의 조사에 의하여 표면에 발생한 전자와 정공은 처음에 내부로 향해서 진행하나 자계에 의하여 좌우로 나누어진다(그림의 경우, 자계의 방향은 지면에 수직으로 독자 쪽을 향하고 있다). 이와 같이 하면 좌측에 정공이 많이 모이고

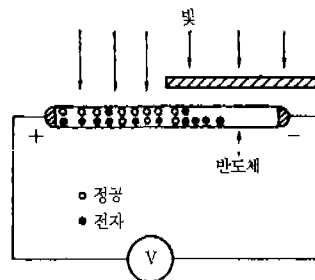
우측에는 전자가 많이 모이므로 양쪽 끝에 전압이 발생한다. <그림 10>에 실제인 경우에 반도체와 자계의 배치를 나타내고 있다.

이 효과는 빛과 자계의 양쪽 또는 한쪽의 변화에 의하여 발생하는 전기신호가 변화하므로 무언가 재미있는 센서가 될 것 같으나 실제의 응용은 지금부터이다.

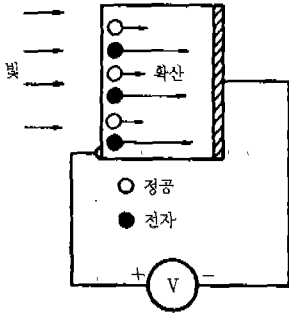
(3) 델버효과(빛→전기)

이것은 델버(H.Dember)가 1930년대의 초기에 발견한 효과이다. (2)에서 설명한 바와 같이 반도체에 잘 흡수되는 빛을 조사한다. 이 때에 <그림 11>과 같이 반도체의 일부를 덮고 빛을 대면 빛이 닿은 곳에 전자의 정공이 많이 발생한다. 그렇게 하면 전자나 정공의 빛이 닿지 않은 부분으로 확산에 의하여 움직여간다. 그런데 전자와 정공 중에 어느 쪽이 확산하기 쉬운가를 비교하면 일반적으로 전자가 정공보다 확산하기 쉬운 성질을 가지고 있다. 그렇기 때문에 전자가 많이 멀리까지 움직여간다. 따라서 빛이 닿지 않은 부분에는 전자가 정공보다 많이 존재하게 되므로 여기는 마이너스로 대전한다. 한편 빛이 닿은 부분에서는 전자의 쪽이 확산에 의하여 더욱 감소하므로 여기는 플러스로 대전한다. 따라서 양쪽 사이에 전압이 발생한다. 이러한 현상을 델버효과라고 하며 이 전압을 델버전압이라고 한다.

델버효과는 <그림 11>과는 다른 방법으로도 생긴다. <그림 12>와 같이 잘 흡수되는 빛을 반도체에 대면 표면 근처에 전자와 정공이 많이 발생하여



<그림 11> 델버효과



<그림 12> 뎀버효과

내부로 확산한다. 전자의 쪽이 움직이기 쉬우므로 <그림 11>에서와 같이 내부는 마이너스, 표면은 플러스로 대전한다. 따라서 양쪽 사이에 전압(뎀버 전압)이 발생한다.

뎀버효과는 전자와 정공이 움직이기 쉬운 점에 차이가 있기 때문에 발생하는 효과이며, 동일한 경우에는 발생하지 않는다. 뎀버전압은 일반적으로 상당히 적다. 빛이 닿는 것이 균일하지 않고 밝은 장소와 어두운 장소가 있으며 이 효과가 발생하므로 무언가 재미있는 센서로서 응용하는 방법이 있을 것 같다.

### 3. 일렉트로루미네센스(전기→빛)

발광체에 전압을 가하면 빛을 낸다. 이와 같이 전압을 가하면 발광하는 현상을 일렉트로루미네센스(Electroluminescence)라고 한다. 이런 경우에 발광의 원인과 기구에는 크게 나누어서 두 가지 방법이 있다. 하나는 진성 일렉트로루미네센스라고 하는 것이며 전계의 효과가 주역이므로 전계 발광이라고 부르는 일이 많다. 둘째는 전압을 가함으로써 전자와 정공의 주입에 의한 발광이며 주입형 일렉트로루미네센스라든가 주입 발광이라고 한다. 지금까지 설명한 것은 모두 빛을 전기로 바꾸는 효과이다.

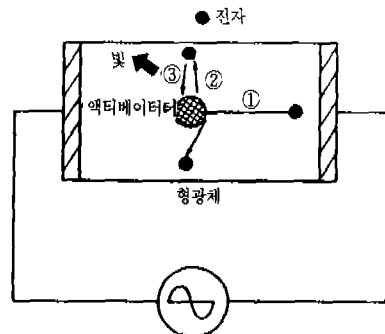
#### (1) 전계발광효과(전기→빛)

전계발광은 1936년에 데스트리오(G.Destriou)에 의하여 발견된 것이며 데스트리오 효과라고도 한다. 데스트리오는 황화 아연(Zn S)에 동(Cu)을 혼합시

킨 것에 교류 전압을 가하면 발광하는 것을 발견하였다. 이와 같이 발광성이 있는 물질에 어떤 종류의 작용(지금의 경우 전압 외에 전자선, 자외선, X선 등)을 준 때에 나오는 빛을 형광이라고 하며 형광을 내는 물질을 형광체라고 한다. 빛을 잘 내도록 하려는 재료 속에 발광의 원인이 되는 것을 혼합시킬 필요가 있다. 황화 아연인 경우에는 동이나 은(Ag) 등을 혼합시킨다. 이 동이나 은을 부활제라고 한다. 이밖에 염소(Cl) 등을 혼합해서 가열해 주면 부활제가 잘 혼합되어서 발광 효율이 좋아진다.

다음에 어떻게 해서 발광되는가를 생각해 보기로 한다. <그림 13>과 같이 형광체를 전극이 되는 금속으로 끼우고 전극 사이에 높은 전압을 인가하는 것으로 한다. 이 높은 전압에 의하여 형광체 속에는 큰 전계가 생긴다. 이 때에 자유로운 전자가 있으면 큰 전계에 의하여 전자는 가속되고 큰 속도를 갖게 된다. 이와 같이 전자가 액티베이터와 충돌하면 액티베이터에 있던 전자를 자유롭게 한다. 이 전자는 형광체 속을 돌면서 움직이고 액티베이터에게 잡힌다. 이 때에 빛이 나온다. 이것이 전계발광의 기구이다.

이 전계발광효과는 전기를 빛으로 변환하는 것이며 지금까지 발광장치를 만들기 위한 연구가 한창



- ① 자유전자가 가속되어서 액티베이터에 충돌
- ② 충돌에 의하여 액티베이터의 전자가 튀어 나온다.
- ③ 튀어나온 전자가 액티베이터에 잡힌다. 이때에 빛이 나온다.

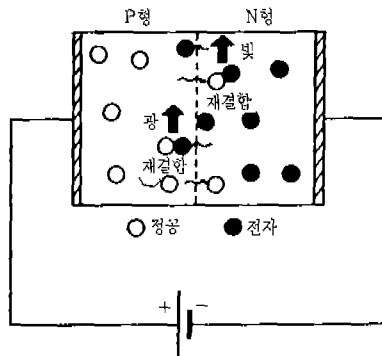
<그림 13> 전계발광효과

이루어지고 있다. 그것은 이 효과를 사용하면 넓고 얇은 발광장치가 될 가능성이 있기 때문이다. 센서로서의 개발은 지금부터이다.

(2) 주입발광효과(전기→빛)

이 현상은 1923년에 로제프(O.Lossev)에 의하여 실리콘 카바이드(SiC)의 점접촉 검파기를 실험하는 중에 발견된 것이다. 이 검파기를 순방향으로 바이어스하였을 때에 황색의 발광이 보였다. 이 현상은 P형과 N형의 반도체접합에서 P형측부터 N형측으로 정공을, N형측으로부터 P형측으로 전자를 넣어 주면 일어나는 현상이므로 주입형 일렉트로루미네센스라고도 한다. 여기서는 주입발광효과라고 부르기도 한다.

다음에 이 효과의 기구를 설명한다. 이 효과는 반도체의 PN접합에서 일어난다. 따라서 광기전력효과와 항에서 설명한 PN접합을 생각한다(PN접합은 교류 전압을 인가하면 직류로 변환시키는 작용을하므로 PN 다이오드라고도 한다). 주입발광효과를 일으키는 데는 PN접합에 외부로부터 전압을 인가해야 한다. <그림 14>와 같이 P형측에 플러스, N형측에 마이너스의 전압을 인가한다. 그렇게 하면 그림에서와 같이 P형측서부터 정공이 N형측으로 들어간다. 한편 N형측서부터는 전자가 P형측으로 들어간다. 이러한 것을 정공이나 전자의 주입이라고 한다.



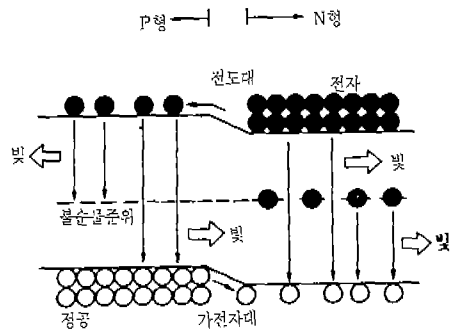
<그림 14> 주입발광

N형측으로 주입된 정공은 N형측에 많이 존재하고 있던 전자와 함께 된다. 이 때에 빛을 낸다. P형 영역으로 주입된 전자는 정공과 재결합해서 빛을 낸다.

이상과 같이 설명한 것을 <그림 15>와 같이 에너지 밴드를 사용해서 설명한다. P측에 플러스, N측에 마이너스의 전압을 인가하면 P, N의 경계인 곳에 언덕이 낮아지고 N측서부터 전자가 P측으로, P측서부터 N측으로 정공이 주입된다. P측으로 주입된 전자는 가전자대의 정공과 재결합한다. 이 때에 빛이 나온다. N형측에서도 동일한 일이 일어난다. 이 때에 에너지갭 안에 불순물의 레벨이 있으면 주입된 정공이나 전자는 이 레벨에 포착되는 일이 있다. 이 때에도 빛이 나온다. 전도대 안의 전자와 가전자대의 정공이 재결합할 때에 나오는 빛이 불순물 레벨에 포착될 때에 나오는 빛보다 파장이 짧다.

직접 재결합에 의한 발광을 이용한 디바이스로서 비화 갈륨 등과 같은 PN접합에 의한 레이저 다이오드가 있으며 최근에 광통신에 크게 활약하고 있다. 한편 인화 갈륨의 PN접합 다이오드는 불순물 레벨을 사용한 발광을 이용한 것이며 표시 램프로써 한창 사용되고 있다. 이러한 것 외의 사용 방법은 지금부터 개발하게 될 것이다.

<다음호에 계속...>



<그림 15> 주입발광의 원리