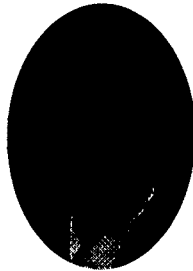


## 광센서의 이론 및 미래



소형종

건국대학교 전기공학과 대학원



안형근

건국대학교 전기공학과 교수



한득영

건국대학교 전기공학과 교수

### 1. 서론

광으로서 인간의 눈에 느껴지는 가시광(파장 400~760[nm])을 중심으로 한 자외선(100~760[nm]) 및 근적외선(760~2000[nm])은 생활, 산업, 과학 등의 분야에서 깊이 인간 생활과 밀착하고 있다. 이러한 빛을 검출하여 전기신호로 변환시키는 센서는 그 필요성 때문에 재료, 형태, 동작원리가 서로 다른 것이 목적에 응하여 개발 사용되어 왔다. 또 특성적으로도 파장역, 응답속도, 출력신호레벨, 공간 분해능 등 용도에 따라 요구를 만족시키기 위해 수 많은 연구 개량이 행해지고 있다.

자외~근적외 영역에서 광센서의 종류가 매우 풍부하며 특성적으로 우수한 것을 싼값에 입수하기 쉬운 이유는 용도가 광범위한데도 기인하지만 재료적으로 가까운 주변에 있는 것을 이용할 수 있다는 점도 큰 요인이다.

광센서는 광전변환원리에 의하여 광전자 방출효과, 광도전 효과, 광기전력효과 등의 소자로 분류되며 그 형태에 따라 입사광의 시간적 변화를 검출하는 포인트 센서와 공간적인 확산을 갖는 입사광을 검출하는 이미지 센서의 기능적인 분류도 있다.

### 2. 광센서의 종류

#### 2.1 광전자 방출형 센서

##### 2.1.1 광전관

광전관은 광전면(음극)이라 불리는 광전자 방출면과 방출된 광전자를 수집하는 양극으로 되는 2극관이다.

광전관의 전자방출 음극에는 광이 입사한 쪽에 광전자를 방출하는 불투명형 또는 반사형과 입사한 면의 뒤쪽에 방출되는 반투명형이 있다. 그림 1은 불투명 광전관의 구조이다. 반투명형은 양극 설계가 용이하여 낮은 양극전압으로도 높은 감도를 얻을 수 있다. 또 광전관의 진공 용기내를 고진공으로 한 진공형과 Ar과 같은 불활성 가스를 봉입한 가스봉입형이 있다.

그림 2는 광전관의 전압 전류특성이며, 출력전류(양극전류)는 어느 전압 이상이 되면 포화하여 거의 일정값이 된다. 이 포화에 필요한 전압을 결정하는 요인은 전극구조로서 보통 50~90[V]정도이지만 구조에 따라 3~15[V]정도의 전압으로도 사용할 수 있는 것이다. 입사광량이 커지면 포화전압이 상승하며 인가전압도 부하저항의 영향으로 내려가 버리기 때문에 인가 전압은 항상 포화영역에 들도록 설정하여 직

선성 범위를 넓게 잡아줄 필요가 있다.

가스 봉입형 광전관은 관내에 수십 Torr의 Ar 등의 희소 가스를 봉입한 것이다. 가스가 이온화되지 않을 정도의 낮은 전압에서는 광전류는 적어 진공 광전관과 다를 바 없으나 방출된 광전자는 충분히 가속되면 희소가스 분자와 충돌하여 이것을 이온화시킨다. 이온화된 분자는 전계에 의해 가속되어 음극(광전면)에 충돌하고, 다시 2차 전자를 방출시킨다. 이 현상을 되풀이 함으로써 광전류의 증배가 행해지고 증배율은 인가전압과 입사량에 의존하며 통상 5~50 배의 증배를 기대할 수 있다.

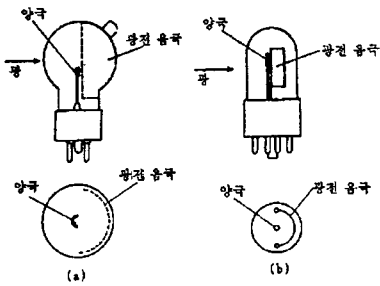


그림 1. 불투명형 광전관의 구조.

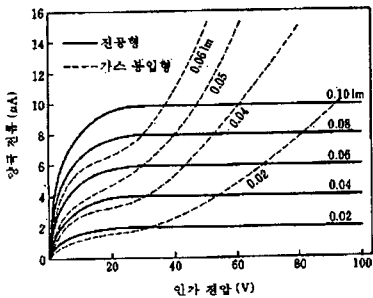


그림 2. 광전관의 전압 전류 특성.

진공 광전관은 입사 광량에 대한 출력의 직선성이 뛰어나며 적당한 양극전압만 주면 입사 광량에 비례한 일그러짐이 없는 안전한 출력을 얻을 수 있다. 가스 봉입 광전관으로도 입사 광량이 적을 경우에는 거의 비례한 출력을 얻을 수 있으나 입사 광량이 많아짐에 따라 직선적인 변화를 벗어난다. 직선성의 하한은 암전류 레벨로서 정해지며  $10^{-12}$ [A]의 자릿 수이다.

진공 광전관의 최대의 특징은 응답특성이 뛰어난 점이다. 광전면에 광이 닿고 나서 광전자가 방출되기까지의 시간은 극히 짧다고 생각되며  $10^{-12}$ [s] 정도이다. 응답속도특성을 정하는 것은 음극으로부터 양극까지의 전자주행 시간이다. 다른 고속 광출력 소자에 비교하여 큰 수광 면적을 가지고 있는 것도 특징이며 수[kV]의 인가 전압으로 정상화 시간 0.2~0.3 [ns]의 것이 얻어지고 있다.

가스 봉입형 진공관의 응답 속도는 수십[μs]이며 이것은 이온화된 가스의 이동도에 의한 것이다.

### 2.1.2 UV트론

UV tron은 자외선의 입사에 의하여 관내에 방전이 일어나도록 만들어진 가스 봉입 전자관이다. 용기는 자외선의 투과가 양호한 석영 유리나 자외선 투과 유리로 만들어지고 광전면은 Ni, Mo 등 단금속이 사용된다. 방전을 발생시키기 위한 광자수는 비교적 적으므로 고감도 고속현상의 검출이 가능하다. 한번 방전이 생기면 입사광을 차단해도 방전은 정지하비 않으며 정지시키려면 인가전압을 저감하지 않으면 안된다. 이 때문에 입사광 유무의 검출만이 가능하며 일단 방전한 경우 그 사실을 유지하는 기능을 갖는 까닭에 자외선에 의한 불꽃의 감시등에 유용하다. 불꽃의 스펙트럼 중에는 자외선도 포함되어 약 280[nm]이하의 파장에 한해 UV 트론이 감도를 갖기 때문에 태양광이나 노벽의 광의 영향을 받을 수가 없고 화재탐지 파일릿 버너의 감시등에 응용되고 있다. 그림 3은 UV 트론과 각종 스펙트럼의 비교를 나타낸다.

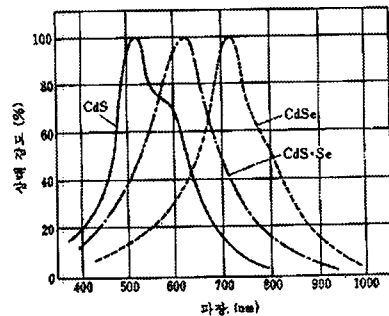


그림 3. UV 트론의 감도와 각종 스펙트럼 특성.

### 2.1.3 광전자 증배관

특히 미약한 광을 측정할 경우 외부 회로로 이것을 증폭하여 검출하는 방법은 잡음, 응답 속도 등의 점

에서 문제가 많다. 광전자 증배관은 관내에 2차 전자 증배기를 내장한 광전관이며 특히 미약광을 고이득 저잡음 고소 넓은 다이내믹 레인지로 검출하는 것을 목적으로 한 검출기이다.

광전자 증배관이 다른 광검출기에 비해 뛰어난 특성은

- ① 고이득(Gain  $\approx 10^6$ )
- ② 고속(상승 시간  $\approx 10 \sim 1$  [ns])
- ③ 넓은 다이내믹 레인지( $\approx 10^6$ )
- ④ 저잡음( $\approx 10^{-16}$  [W/ $\sqrt{Hz}$ ])
- ⑤ 고감도(단일 광전자 검출가능)

등을 들 수 있다. 더욱이 강조할 만한 것은 이들의 특성이 수광면의 크기에는 그다지 좌우되지 않는 점이며 이것은 특히 반도체 광검출기와 비교하여 큰 특징인 동시에 이점으로 되어있다. 현재 9.7mm  $\phi$ 의 작은 것에서부터 508mm  $\phi$ 의 초대형의 것까지 각종 각 사이즈의 것을 얻을 수 있다. 광전자 증배관의 주요 용도는 분석기기 의료용 기기, 방사선 계측기, 통신, 정보기기, 공해측정기등 다분야에 걸쳐 있다.

## 2.2 광도전형 광센서

### 2.2.1 광도전 효과

광의 조사에 의하여 물질의 전기 도전도가 변화하는 현상을 광도전 효과라고 부른다. 광도전 효과는 물질에 광이 흡수되어 가전자대로부터 전도대로 전자가 여기됨으로써 생기는 것이다.

시료에 광을 조사했을 때 도전율의 변화  $\Delta\delta$ 는 다음의 식과 같다.

$$\Delta\delta = q(\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p)$$

여기서  $\mu_n$ ,  $\mu_p$ 와  $\Delta n$ ,  $\Delta p$ 는 각각 전자와 정공의 이동도 및 밀도 증가분,  $q$ 는 전자의 전하량이다.  $\tau_n$ ,  $\tau_p$ 는 전자와 정공의 수명, 체적당 매초  $f$ 개의 전자 단위·정공쌍, 시료의 전극간 거리를  $d$ , 전류에 수직인 단면적을  $A$ , 인가 전압을  $V$ 라 하면 전류의 증가분  $\Delta I$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \Delta I &= \frac{\Delta\delta \cdot A}{d} V \\ &= qfdA \frac{V}{d^2} (\tau_n \mu_n + \tau_p \mu_p) \\ &= qG \left( \frac{\tau_n}{\tau_n} + \frac{\tau_p}{\tau_p} \right) \end{aligned}$$

광전류(또는 이득)를 크게 하기 위해서는 캐리어의

수명이 길고 이동도가 큰 재료를 선택할 필요가 있으며, 또 불순물을 도핑하여 불필요한 캐리어를 선택적으로 포획하는 것에 의해서도 수명시간을 길게 할 수 있다. 그러나 수명 시간이 긴 것은 시간 응답이 늦은 것을 의미하며, 과도전형 검출기로는 응답 속도가 빠른 소자를 얻기 곤란하다.

일반적으로 광도전 효과를 이용한 광센서는 비교적 간단한 구조를 가지며 "광도전 셀"이라고 불린다.

### 2.2.2 CdS 광도전 셀

가시광 영역에서 CdS, CdSe 광도전 셀은 오래 전부터 넓은 용도로 사용되어 왔다. 일반적으로 CdSe를 포함해서 "CdS 셀"이라 총칭되고 있다. CdS 셀은 응답 시간이 늦다, 광이력 특성이 있다 등의 결점도 있으나, 소형, 경량, 열가, 고감도, 더욱이 분광 감도가 비시감도와 유사하다는 점에서 카메라의 노출계, 프레임 아이, 자동 점멸기, 광전 릴레이 등에 널리 사용되고 있다.

CdS 셀은 광도전면의 제작 방법으로 대별하여 단결정형, 소결형, 증착형 등이 있는데 현재는 고감도, 대면적의 것을 얻기 쉬운 소결형의 것이 가장 많이 사용되고 있다. 세라믹 기판상에 CdS, CdSe의 분말을 적량의 CdCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>의 불순물의 광도전성의 개선과 결정성을 위해 첨가된다. CdS 셀의 특성은 이와 같은 불순물의 종류와 양, 소결법 등에 따라 크게 달라진다. 소결체 표면에는 In등의 전극 재료가 감도를 올리는 목적으로 빗형상으로 증착된다. 또한 사용목적에 따라 유리 밸브, 메탈케이스, 프라스틱 케이스등에 봉입되거나 또는 수지 코팅을 행한다. 그림 4는 CdS 셀의 구조이고 그림 5는 분광감도 특성이다.

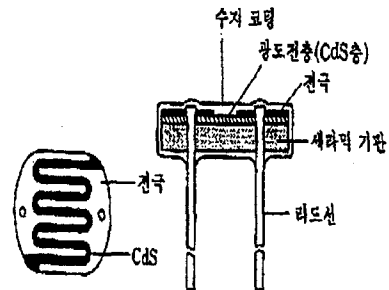


그림 4. CdS 셀의 구조.

CdS 셀은 응답 속도가 늦은 것이 결점이다. 응답 속도는 조사광의 강약, 전력 조건, 부하 저항, 주위

온도에 따라 상당히 변화한다. 입사 광량이 클수록 응답은 빨라지며 보통 10 [lx]의 광량에서 수십 ms 정도이다. 특히 저조도에서 수 s로도 된다. 또 CdS 셀에는 광이력성이 있어 어두운 곳에 방치된 시간이 짧을수록 응답 시간도 짧아진다. 부하 저항이 증가하면 상승 시간은 빠르며 감쇠 시간은 늦어진다.

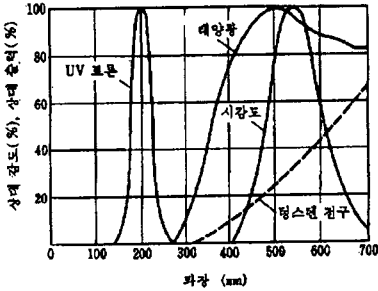


그림 5. CdS 셀의 분광 감도 특성.

### 2.2.3 PbS계 광도전 셀

PbS, PbSe 광도전 셀은 근적외 영역에서의 실온 동작 가능한 검출기로서, 종래부터 방사 온도계라든지 적외 분광 광도계 등에 널리 사용되고 있다.

PbS, PbSe 셀은 진공 증착법 또는 화학 침전법에 의하여 유리 기판상에 다결정막을 형성하고, 막 형성후의 산소에 의한 활성화 처리에 의하여 높은 감도를 얻고 있다. 전극으로서의 Au를 사용하고 있다. 봉입된 패키지는 상온 사용을 목적으로 한 메탈 케이스 타입과 냉각을 목적으로 한 유리 듀워 타입이 있다. 최근에는 메탈 케이스에 소자와 서미스터 전자 내각 소자를 봉입하여 전기적으로 냉각하는 것도 얻을 수 있다.

PbS 셀의 감도 피크는 2.2[ $\mu\text{m}$ ], PbSe에서는 3.8[ $\mu\text{m}$ ]에 피크가 있으며 1~3[ $\mu\text{m}$ ]로서 적합하다. 양자의 밴드 갭의 온도 특성은 일반 반도체 소자와 달라 부의 계수를 가지고 있기 때문에, 소자를 냉각하면 감도의 증가와 장파장측으로서의 이행을 볼 수 있다. 냉각함으로써 더욱 특성용 향상시킬 수 있다.

온도의 저하와 함께 암저항은 커지며, 응답 속도는 느려진다. 암저항은 상온에서 0.2~5[M $\Omega$ ]정도, 응답 속도는 수십 [ $\mu\text{s}$ ]오더이며, 드라이아이스 온도(-77 $^{\circ}\text{C}$ )나 액체 질소 온도(-196 $^{\circ}\text{C}$ )까지 냉각하면 암저항은 수십~수백M $\Omega$ , 응답 속도는 수 ms가 된다.

### 2.3 접합형 광센서

#### 2.3.1 광기전력 효과

반도체 중에 pn 접합과 같은 내부 퍼텐셜이 형성되어 있는 경우 밴드 갭  $E_g$ 보다 큰 에너지를 가지는 광이 조사되면 기전력을 발생한다. 이 현상을 광기전력 효과라고 한다.

접합형의 광전 효과에는 광기전력 효과와 광도전 효과 있다. 그러나 일반적으로는 이 양자의 효과에 의한 광센서를 합쳐서 접합형 광센서, 또는 광기전력 효과형 광센서라고 부르는 경우가 많다. 동작상으로는 인가 전압의 유무에 의하여 광기전력형 동작, 또는 광도전형 동작과 구별되고 있다.

접합의 종류로서는 pn 접합, 쇼트키 배리어, 이중 접합등이 있다. 또 이들의 형성 방법도 증착, 확산, 에피택셜등, 재료, 구조, 기능의 어느것을 취하든 종류, 수에 있어서 매우 다각적으로 걸쳐 있다.

#### 2.3.2 포토다이오드

플래이너형이라고 부르는 가장 일반적이 실리콘 포토다이오드의 구조를 그림 6에 나타낸다. 표면 p층, 기판 n층 및 n층의 두께와 불순물 농도를 변화시킴으로써 분광감도 특성, 주파수 특성, 암전류등을 제어할 수 있다.

포토다이오드에 입사하는 진동수  $\nu$ , 강도  $P$ 의 광파 광전류  $I_L$ 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.  $\eta(\lambda)$ 은 파장  $\lambda$ 에 있어서의 양자효율이다.

$$I_L = Pq\eta(\lambda)/h\nu$$

여기서  $q$  : 전자의 전하,  $h$  : 프랑크 정수이다.

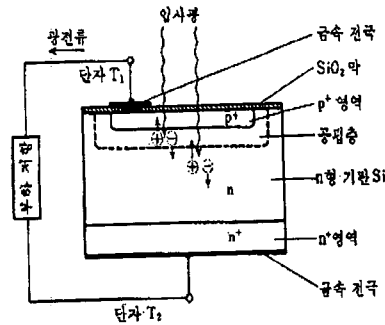


그림 6. 포토다이오드의 구조.

양자 효율은 파장 의존성을 가지며 재료가 되는 반도체의 광흡수 계수, 표면의 반사 계수, 소수 캐리어

의 확산 길이 등으로 정해진다. 일반적으로 반도체의 자외선 흡수 계수가 크고 표면 부근에서 거의 흡수되기 때문에 자외선에 대한 광전 변환 감도를 높이기 위해서는 p층의 두께, 반사 방지막의 형성에 특별한 연구가 필요하다. Si 반도체가 자외~근적외 영역에서 널리 쓰여지는 하나의 이유가 이 흡수 계수에 있다. Si의 경우 파장에 의한 흡수 계수가 비교적 작고, 또한 파장과 함께 완만하게 변화하고 있기 때문에 접합의 형성, 재료의 선택에 의해 분광 감도 곡선을 어느 정도 자유로 바꿀 수 있다. 그림 7은 대표적인 분광 감도 특성이다.

n층에 고저항 기판을 사용하여 고속 응답을 목적으로 역바이어스 전압을 인가하고 광도전 동작으로 사용할 목적으로 한 포토다이오드는 pin 포토다이오드라고 불리며 광통신용 검출기 또는 리모트 컨트롤용 검출기 등, 펄스 광원을 사용하는 경우의 검출기로서 사용되고 있다.

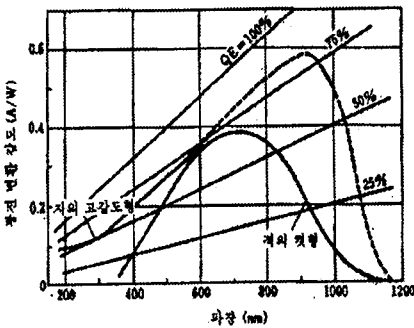


그림 7. 포토 다이오드의 분광 감도 특성.

### 2.3.3 애벌랜치 포토다이오드(APD)

pn 접합 다이오드의 역바이어스 전압을 높이면 공핍층에 가해지는 전계가 증가하여 공핍층을 통과하는 캐리어의 에너지가 커진다. 광에 의하여 생성된 이와 같은 전자·정공이 격자와 충돌하면 새로이 전자·정공쌍(EHP)을 형성한다. 이 현상이 계속 일어나면 캐리어는 사태(avalanche)상으로 증가하여 광신호가 결정 내부에서 증가된 것으로 된다. 이것이 애벌랜치 포토다이오드(APD)의 동작 원리이다.

이 전자 사태에 의한 광전류 증배율은 공핍층에 가해지는 전계 강도에 따라 다르다. 또, 사태 증배를 생기게 하는 동작 영역의 전계의 균일성도 중요하다. 그림 8은 APD의 구조이다. APD는 반도체 광검출

기 중에서 가장 광대역, 고감도이다. 예를 들면 Si-APD는 850[nm]에서의 양자 효율이 55[%] 이상, 광전류 계인 200배 이상, 응답 속도 0.5[ns] 이하인 것이 얻어지고 있다. 이것은 pin 포토다이오드와 같이 내부 증배를 안 가진 경우에는 고주파에서의 검출 한계가 앰프의 열잡음(thermal noise)으로 결정되지만, APD처럼 내부 증배 작용을 갖는 소자에서는 미약한 신호를 앰프의 열잡음 이상으로 높일 수 있기 때문에, 증배된 전류에 의한 쇼트 잡음 가까이까지 검출 한계가 내려간다. 또 신호는 공핍층 내에서의 증폭에 의한 것이기 때문에 본질적으로 고속 응답이다.

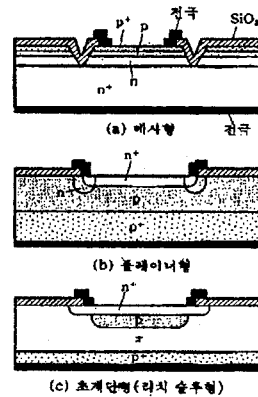


그림 8. APD의 구조에.

APD는 이와 같이 고감도, 고속 응답이라는 점 때문에 pin 포토다이오드와 함께 광통신용 수광 소자로서 주목되고 있다. 근거리용으로는 Si-pin, APD가 최적이지만, 원거리용으로는 파이버의 손실 문제 때문에 1.0~1.7[μm] 범위의 감도를 갖는 광검출기가 필요하게 된다. 이 경우에는 Ge, InGaAsP, InGaAs와 같은 좁은 밴드 갭의 반도체 재료를 사용한 소자가 적합하며, 정력적인 연구 개발이 진행되고 있다.

### 2.3.4 포토트랜지스터

포토트랜지스터는 내부 증폭 기능을 갖는 반도체 검출기로서 오늘날 가장 널리 사용되고 있는 수광 소자이다.

포토트랜지스터의 기본 구조는 그림 9에 보이는 것처럼 보통의 npn 트랜지스터와 같지만, 광전류를 크게 취하기 때문에 p 영역이 크게 만들어져 있다. 등가 회로는 그림 10과 같이 포토다이오드와 트랜지스터가 조합된 것으로 간주된다. 베이스·컬렉터간의 포토다이오드의 광전류를  $I_p$ , 트랜지스터의 이미터

집지 전류 증폭률을  $h_{FE}$ 로 하면 광전류  $I_C$ 는 다음의 식과 같이 나타난다.

$$I_C = (1 + h_{FE})I_P \approx h_{FE}I_P$$

포토트랜지스터의 광전류는 포토다이오드 광전류의  $h_{FE}$ 배 증폭되어 얻어진다. 따라서 포토트랜지스터의 광전류의 대소는

- ① 베이스·컬렉터 접합면적
- ② 베이스·컬렉터 접합에 있어서의 광전 변환 효율
- ③ 이미터·베이스 접합에 있어서의  $h_{FE}$
- ④ 렌즈가 달린 창재(窓材)

등의 광수집 효율 요인에 따라 좌우된다. 통상  $h_{FE}$ 는 100~1000 정도로 설정되어 있다.

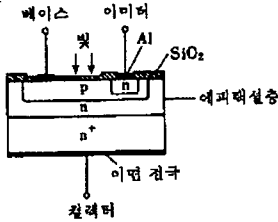
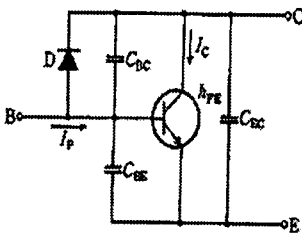


그림 9. 포토 트랜지스터의 구조.



- D : C-B 접합 포토다이오드
- $I_P$  : 포토다이오드 단락 전류
- $I_C$  : 컬렉터 전류
- $h_{FE}$  : 트랜지스터 칩류 전류 증폭률
- $C_{bc}$  : B-C 접합 용량
- $C_{be}$  : B-E 접합 용량
- $C_{ce}$  : E-C 접합 용량

그림 10. 포토트랜지스터의 등가회로.

포토트랜지스터의 종류로서는 그림 11과 같은 것을 들 수 있다. 베이스 단자 부착의 것은 베이스·컬렉터간에 저항을 삽입함으로써 암전류의 감소, 응답 속도의 향상, 감도의 조절이 가능하게 된다. 달링턴(Darlington) 접속된 것은  $h_{FE}$ 가 대단히 크며 고감

도이기는 하지만, 응답 속도의 열화, 고온에서의 S/N등의 문제가 있다. 포토트랜지스터의 다른 분류로서는 패키지에 의한 것이 있다. 금속 또는 수지 몰드, 또는 렌즈의 유무에 의하여 분류된다. 렌즈의 형상은 지향성 특성을 크게 좌우하기 때문에 선택에는 응용을 고려하여 결정해야 한다.

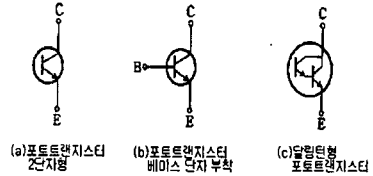


그림 11. 포토트랜지스터의 종류.

Si 포토트랜지스터의 분광 감도의 피크는 800~900[nm]이며, 광원으로 GaAs LED를 사용한 복합 소자로서 포토커플러(photo coupler), 포토인터럽터 등, 광을 매체로 한 신호 전달 또는 계측 시스템에 새로운 응용 분야를 확대해 가고 있다.

### 2.3.5 포토사이리스터

광생성 캐리어의 의하여 도통(導通) 상태를 바꾸어, 전류의 온-오프 제어용의 반도체 소자로 사용되고 있는 것에 포토사이리스터가 있다. 포토사이리스터는 npnp의 4층 구조를 하고 있으며 이 구조와 등가회로를 그림 12에 보인다.  $J_2$ 부분을 포토다이오드라고 생각한 것이며, pnp, npn 부분의 전류 증폭률을  $\alpha_1, \alpha_2$ 라고 하면 다음 식이 성립된다.

$$I_A = \frac{I_L}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$I_L$ 는 포토다이오드 부분에서 발생하는 광전류이다.  $\alpha_1, \alpha_2$ 는 애노드 전류  $I_A$ 의 함수이며,  $I_L$ 의 증가에 따

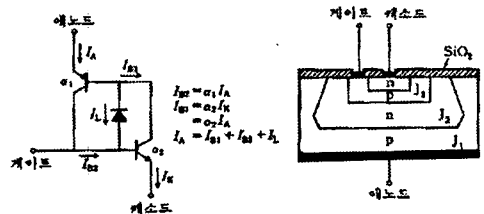


그림 12. 포토사이리스터의 등가 회로와 구조.

라  $I_A$ 가 커지면  $\alpha_1, \alpha_2$ 도 증가하고,  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$ 의 합이 1에 가까워지면  $I_A \rightarrow \infty$ 가 되어 소자는 도통 상태가 된다. 또 게이트전극에 인가하는 전류로도 제어할 수 있다. 일반적으로 포토사이리스터를 2개 사용하여 교류 전원의 제어에 쓴다.

특성적으로는 광점호(光點弧) 감도와 한계 오프 상승률이 중요하며 수광부 구조에 연구를 집중하는 등의 개발이 진행되고 있다.

### 2.3.6 컬러 센서

반도체 컬러 센서라고 불리고 있는 것 중의 하나에 그림 13와 같이 p형 실리콘 기판에 n형 및 p형 층을 만들고 1개의 Si 칩 내에 2개의 수광 소자를 세로 방향으로 형성한 것이 있다. Si의 광흡수 계수는 파장의존성이 높고, 파장에 의하여 Si 내부에 도달하는 깊이가 상이한 점을 이용하고 있다. 얇은 상부의 pn 접합은 단파장 감도가 크고, 깊은 쪽의 pn 접합은 장파장 감도가 크다. 이들의 분광 감도 곡선을 그림 14에 보인다. 2개의 포토다이오드의 소광에 의한 단락 전류의 비와 입사광 파장의 관계를 그래프화하여 이것을 검량선(檢量線)으로 색을 검출할 수 있다.

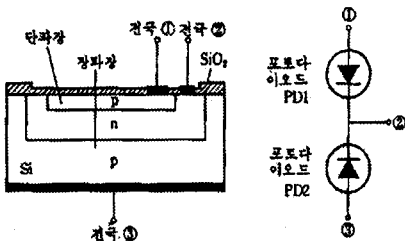


그림 13. 반도체 컬러센서.

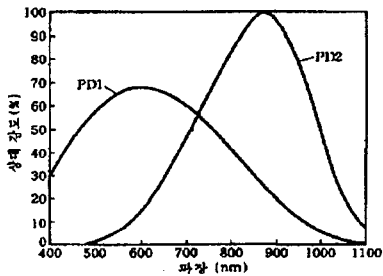


그림 14. 컬러센서의 분광감도 특성.

### 2.3.7 반도체 광위치 검출기(PSD)

반도체 광위치 검출기(PSD)는 1개의 pn 접합으로 화상의 주사를 행하지 않고서 조사된 입사광의 위치를 검출하는 것이다. PSD의 단면 구조를 그림 15에 보인다. 전극 A, 전극 B의 거리를  $L$ , 저항을  $R_L$ 라하고 전극 A로부터 광의 입사 위치까지의 거리를  $X$ , 그 부분의 저항을  $R_X$ 라 한다. 광의 입사 위치에서 발생한 광생성 전류( $I_0$ )는 각각의 전극까지의 저항값에 역비례 하도록 분할되며, 전류  $I_A, I_B$ 는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$I_A = I_0(R_L - R_X)/R_L = I_0(L - X)/L$$

$$I_B = I_0 \cdot R_X/R_L = I_0 \cdot X/L$$

$I_A, I_B$ 의 비를 구하면 위치 신호가 주어진다.

$$P_1 = I_A/I_B = L/X - 1$$

또는

$$P_2 = (I_A - I_B)/(I_A + I_B) = 1 - 2X/L$$

이와 같이 광강도(光強度) 및 그 변화에 관계없이 위치 신호를 구할 수 있다. PSD는 전극 구조를 연구함에 따라 1차원과 2차원의 것을 얻을 수 있다. 2차원형의 구조를 그림 16에 나타낸다.

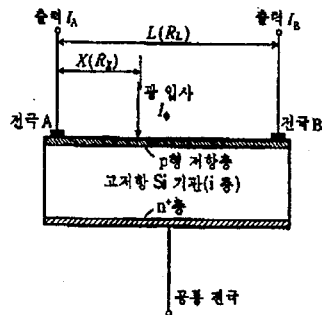


그림 15. 1차원 PSD의 단면 구조.

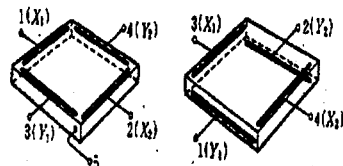


그림 16. 2차원 PSD의 구조.

PSD의 위치 분해능은 입사 광량에 따라서도 달라지는데 광량이 강하면 1[ $\mu\text{m}$ ]이하의 분해능도 가능하다. 또 퍼져 있는 광속이라도 중심(重心) 검출이 간단히 되는 등의 이점이 있다. 회로도 간단하기 때문에 광학 장치에 있어서의 위치나 각도의 검출, 광축 합치기 등에 응용되고 있다.

### 2.3.8 반도체를 이용한 적외선 센서

적외선 센서는 가열형과 광전 효과형으로 나뉜다. 화합물 반도체를 이용한 적외선 센서는 광전 효과중 내부 광전 효과를 이용한 적외선 센서이다. 이 센서는 이론한계에 가까운 감도를 가지고, 응답 속도도 빠르며 최근 고도로 발달된 반도체 프로세서 기술을 사용함으로써 제작이 가능하다. 그러나 소자가 본래 가지고 있는 감도를 충분히 이끌어 내는데 소자 자체를 액체 질소 온도 또는 그 이하로 냉각하지 않으면 안되며, 감도에도 파장의 의존성이 있다. 따라서 이 센서를 사용한 장치는 어느 정도 고가이며 충분한 성능을 발휘하고 있음에도 불구하고 일반에 보급하는데 장애가 되고 있다. 그림 16은 1950~1970년대에 걸쳐서 개발된 반도체 센서의 분광 감도이다. 이들 센서는 한계 파장에 따라 달라지는데 적당한 냉각 온도로 동작시킴으로서 최대 파장 감도가 한계 감도선에 가까워 지고 있다.

1970년대에 들어서서 3~5[ $\mu\text{m}$ ], 8~14[ $\mu\text{m}$ ]의 소위 대기의 창 영역에 적합하며, 다소자화가 용이한 센서의 개발이 요망하게 되었고 8~14[ $\mu\text{m}$ ]대에서 유용한 센서로서는 그림 16에서 보는 바와 같이 Ge:Hg 센서가 있으며 감도도 충분하지만 이 센서에서는 적외선에 의해 소자에 첨가되어 Hg의 준위에 트랩된 전공을 여기하고 광도전 효과를 얻기 때문에 본질적으로 적외선에 대한 흡수 계수가 낮다. 그래

서 소자에 입사되는 포톤에 대하여 충분한 광전 변환 효율을 얻고자 하면 광의 입사 방향의 소자 두께를 두껍게 할 필요가 있으며, 약 10[ $\mu\text{m}$ ]가 필요하다. 이 점은 다소자 응용에 용이하지 않는 특성이다. 이것을 대신하는 것으로서  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  센서이다.  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  센서는 조성비  $x$ 를 비꿈으로서 센서 감도의 한계 파장을 마음대로 바꿀수 있으며, 20[ $\mu\text{m}$ ]정도까지 한계 파장을 늘일수 있다.

그림 17은  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 의  $x$ 값과 밴드 갭 및 밴드 갭에서 구한 센서 감도의 한계 파장을 보인 것이다. 센서 소자 재료의 조성비  $x$ 를 선택하는 것에 따라서 임의의 한계 파장을 갖는 센서의 제작이 가능하다. 그림 18은  $x$ 값을 변화시킨 몇 개의 HgCdTe 센서의 분광 감도 특성이며 모두가 한계 감도에 가까운 감도에 달하고 있다.

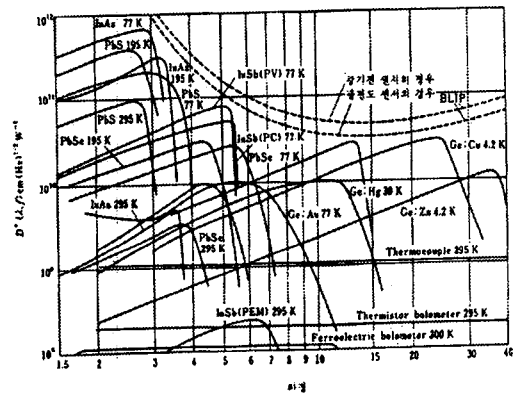


그림 17. 적외선 센서의 분광 감도.

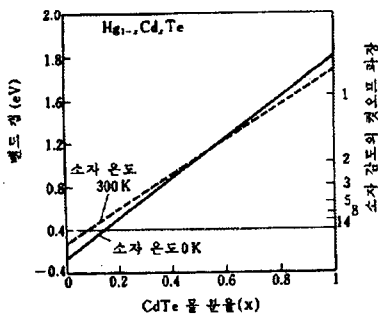


그림 18.  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 에 있어서의 밴드 갭과  $x$ 값의 관계.

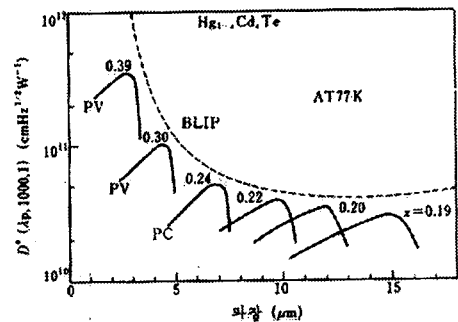


그림 19. 각종 조성의  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  센서 감도의 파장 의존성.



### 2.3.9 미래의 광센서 소자

이상에 기술한 것은 어디까지나 접합형 센서의 대표적인 것에 지나지 않는다. 또 같은 검출 원리의 센서라도 용도에 따라 형상, 특성이 다른 것이 수없이 개발, 사용되고 있다. 여기서 기술되지 않았던 센서로서는 광센서와 증폭부가 IC화된 것, 화합물 반도체 센서를 주된 것으로 들 수 있다. 재료적으로는 Amorphous Si를 사용한 것이 최근 활발하게 개발되고 있으며 광검출기, 태양 전지 등에 이미 응용되고 있다.

접합형 광센서는 금후 더욱 Si의 소재를 중심으로 고기능화, 고집적화, 고성능화되며 화합물 반도체를 중심으로 GaAs/AlGaAs 및 InGaAs, InGaAsP, AlGaSb를 중심으로 MQW(Multi Quantum Well)과 구조의 변화를 이용하여 실온에서도 작동하

는 IR센서의 설계가 진행중이며 이는 비단 광 검출기뿐만이 아니라 장거리 통신용 소자로서도 쓰여져서 미래의 광소자로서 자리잡을 것이 확실하다 하겠다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Long, *Energy Bands in Semiconductors*, John Wiley & Sons Inc., 1968.
- [2] 植田楊一, . . . , Nikkei Electronics Books., pp. 197-224.
- [3] Joseph J. Carr, *Sensors and Circuits*, PTR Prentice-Hall, Inc, 1993.
- [4] 白壽鉉, *센서 핸드북*, 세화 출판사, 1990, pp. 275-315.