

광센서의 기본개념과 원리에 대하여

김수길 (호서대학교 공과대학 정보제어공학과)

1. 센서란?

1.1 일반적 센서의 의미

일반적으로 센서라는 것은 온도, 광, 압력, 습도 등의 물리량이나 화학량을 감지하여 처리하기 쉬운 신호(주로 전기신호)로 바꾸어주는 소자 또는 장치로 정의할 수 있으며, 센서와 비슷하게 사용되는 말로 트랜스듀스(Transducer)가 있으며, 이는 어떤 종류의 신호 또는 에너지를 다른 종류의 신호 또는 에너지로 변환하는 장치를 말한다. 센서의 개념을 요약하여 말하면 원초적 정보가 센서에 의하여 채취되고 입력 트랜스듀서에 의하여 전기적 신호로 변환하여 출력하는 장치를 센서라고 할 수 있다. 앞에서 언급한 센서의

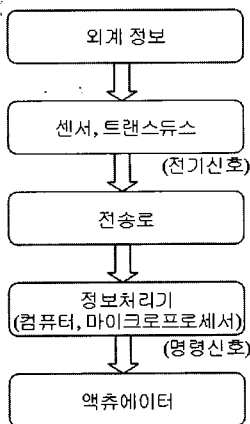


그림 1. 센서의 원리

개념을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

1.2 센서기술의 특징

- 1) 학제적이고 복합기술적임 : 가공기술, 전자기술, 광기술, 제어기술, 시스템 기술 등 많은 분야의 기술이 사용된다.
- 2) 고부가가치 기술 : 우수한 센서를 개발할 경우 센서 자체를 판매하는 것이 아니라 개발된 센서를 사용하는 시스템을 판매함으로써 고부가가치를 창출한다.
- 3) 소량 다품종 생산 : 개개의 적용대상 장치 및 시스템은 각기 다른 특성, 즉 모양 및 성능을 요구하기 때문에 소량 다품종 생산이 불가피하며, 이러한 특성은 저가격화에 장애가 된다.

1.3 센서의 특성평가

- 1) 감도(sensitivity) : 측정대상 양이 변화했을 때 센서의 출력이 얼마나 많이 변화하느냐를 나타내는 것으로 측정정밀도 및 정확도를 결정하는 중요한 요소가 된다.
- 2) 동작범위(dynamic range) : 센서가 어느 정도의 입력범위에서 동작을 하느냐, 즉 감도를 나타내느냐 하는 것을 나타낸다.
- 3) 직선성(linearity) : 입출력 관계가 얼마나 1차 함수적이냐 하는 정도를 나타낸다.
- 4) 히스테리시스(hysteresis) : 입력을 증가시키면

서 측정할 경우 x_1 일 때 출력은 y_1 이 되나, 입력을 감소시키면서 측정하면 입력이 x_1 에 도달했을 때 출력은 y_2 로 y_1 과 일치하지 않는다. 이러한 특성을 히스테리시스라 하며, $y_2 - y_1$ 을 히스테리시스차라고 한다. 히스테리시스차는 입력크기와 입력 변화의 정도에 의존한다.

5) 선택도(selectivity) : 센서는 측정대상뿐 아니라 다른 요소에 의해서도 출력이 변화하게 되는데, 다른 요소보다 측정대상에 대해 얼마나 더 민감하게, 즉 감도가 높게 변화하느냐 하는 정도를 선택도라 한다.

6) 안정성(stability) : 측정대상이나 다른 요소가 일정할 경우 센서의 출력은 일정해야 하지만, 시간에 따라 출력이 약간씩 변화하는 경우가 있는데, 이를 드리프트(drift)현상이라 한다. 안정성은 이러한 현상이 얼마나 작은가 하는 정도를 나타낸다.

7) 응답속도(response time) : 입력이 변화할 때 센서 출력이 얼마나 빨리 따라 변화할 수 있는가 하는 정도를 나타내며, 일반적으로 입력이 갑자기 변화했을 때 센서 출력이 최종값의 90[%]에 도달하는 시간을 나타내는 경우가 많다.

1.4 센서의 분류

- 1) 구성방법 : 기본센서, 조립센서
- 2) 측정대상 : 광센서, 이미지 센서, 적외선 센서, 온도센서, 습도센서, 기하학량 센서, 압력 센서 등
- 3) 구성재료 : 반도체 센서, 세라믹센서, 고분자 센서, 효소 센서 등
- 4) 검출방법 : 전자기적 센서, 광학적 센서, 화학적 센서, 역학적 센서 등
- 5) 동작방식 : 능동형 센서, 수동형 센서
- 6) 출력방식 : 아날로그형 센서, 디지털형 센서

2. 광센서의 원리와 특징 및 용도

광센서는 빛을 검출하여 사용가능한 양으로 변환하

는 소자이며, 다음의 세가지로 분류할 수 있다.

1) 광기전력효과형 : 반도체의 접합부분에 빛을 쬐으면 광도전효과와 같은 현상으로 전자정공쌍이 생성되어 기전력이 발생하는 현상을 말한다.

2) 광도전효과형 : 광조사에 의하여 생성된 전자 및 정공의 증가에 의하여 반도체의 도전율이 변화하는 현상을 말한다.

3) 광전자방출효과형 : 금속이나 반도체의 고체 표면에 충분한 에너지의 빛을 쬐이면 전자가 고체 표면에서 외부로 방출되는 현상을 말한다.

2.1 광기전력효과형 센서

2.1.1 포토 다이오드

(가) 구조 및 종류

광기전력 효과를 이용한 소자이며 표면에 반사방지층이 설치되어 있으며, 포토 다이오드의 재료는 주로 Si, Ge, GaAs, InGaAs 등이 사용된다.

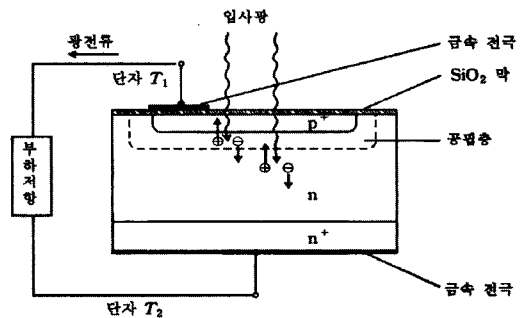


그림 2. 포토다이오드의 일반적인 구조

포토 다이오드는 그림 2에서와 같이 입사광의 에너지에 의해 전자정공쌍이 생성되고 반도체의 공핍층 전계에 의해 정공은 p형으로 전자는 n형으로 이동해 분리되고 p형은 (+)로 n형은 (-)로 대전되며, 포토 다이오드의 양단을 결선하면 p형에서 n형으로 전류가 흐르고 빛이 조사되고 있는 동안은 전류가 흐른다.

표 1. 포토 다이오드의 특성과 용도

구분	특성	용도
쇼트키 포토 다이오드	- 고저외선 감도 - 저 암전류	분광 광도계, 비색계
PN 포토 다이오드	- 입사광량과 출력전류의 직선성 양호 - 400~1000[nm]에서 감도가 있음	카메라 노출계
PIN 포토 다이오드	- 고속 응답 - 입사광량과 출력전류의 직선성 양호 - 400~1000[nm]에서 감도가 있음	리모콘 팩시밀리 광통신(단거리)
애벌란치 포토 다이오드(APD)	- 고속응답 - 고주파에서 S/N 양호 - 증폭기능 있음(고감도) - 400~1000[nm]에서 감도가 있음	6광통신(단·중거리)

(나) 특 징

일반적으로 400~1100[nm]의 파장영역에서 사용 가능하며, 특히 700~900[nm]에서 감도가 최대이다. 또한 출력전류의 직선성이 우수하고, 출력의 직선성이 양호하므로 아날로그를 동작시키는데 적합하며, 신뢰성이 높고 수명이 길다. 그리고 고속응답 및 적은 암전류를 가지며, 출력분산이 적고 온도에 대한 특성변화가 적다.

2.1.2 포토 트랜지스터

(가) 구조 및 동작원리

포토 트랜지스터는 포토다이오드에 증폭기능을 더한 소자이며, 베이스 표면에 빛이 입사하면 역바이어스된 베이스-컬렉터 사이에 광전류가 흐르고 이 전류가 트랜지스터에 의해 증폭되는 구조를 가지고 있다.

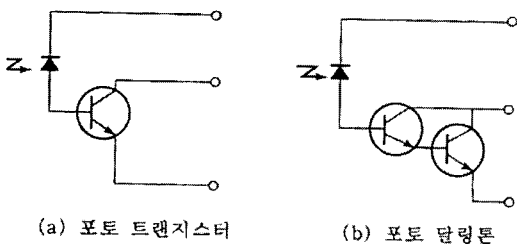


그림 3. 포토 트랜지스터

(나) 특 징

가장 많이 사용되는 수광소자이며, 500~1600 [nm]의 파장영역에서 사용가능하고 특히 800[nm] 부근에서 최대 감도를 가지며, 광출력전류가 크고 큰 S/N비를 얻을 수 있으며, 온도 보상회로가 불필요하다. 또한 신뢰성이 높고 암전류가 적으며 가격이 싸며, 전류 증폭률이 크고 소형화가 가능한 장점을 가지고 있지만, 광전류의 직선성이 나쁘고 고감도인 것일 수록 응답속도가 높고 포화전압이 높은 결점이 있다. 용도는 광스위치, 단거리 광통신기, 마트 판별기 등에 이용된다.

2.1.3 포토커플러(photo-coupler)

(가) 구조 및 원리

전기적으로 절연되어 있지만 광학적으로는 결합되어 있는 발광부와 수광부를 갖추고 있는 광 센서이며, 발광부는 주로 LED를, 수광부는 포토다이오드를 사용하며, 그림 4와 같이 분류될 수 있다.

(나) 포토 인터럽터

포터 인터럽터는 그림 5와 같이 발광부와 수광부가 대향배치되어 있어 이 사이에 물체가 들어가면 빛이

차단되고 수광부의 광전류가 차단되게 되어 있으며, 광원은 적외선이 일반적이지만 가시 발광 다이오드도 사용이 된다. 물체의 유무를 검출, 고신뢰성, 고속 응답성, 소형, 경량, 높은 정밀도, TTL, C-MOS에 접속 가능한 특징을 가지고 있으며, 회전속도의 제어, 계수, 경보장치, 전기부와 기계부의 결합 등에 응용가능하며, 그림 6은 회전수 측정을 위한 응용사례를 보여준다.

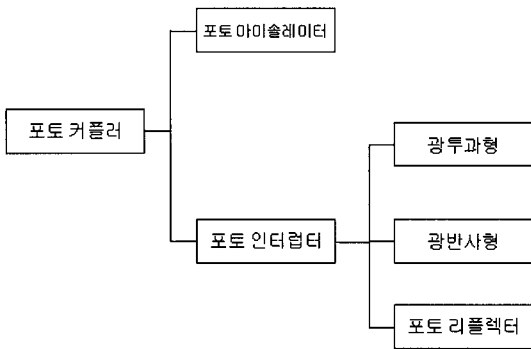


그림 4. 포토 커플러의 분류

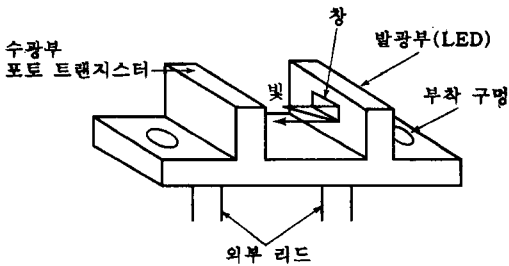


그림 5. 포토 인터럽터의 구조

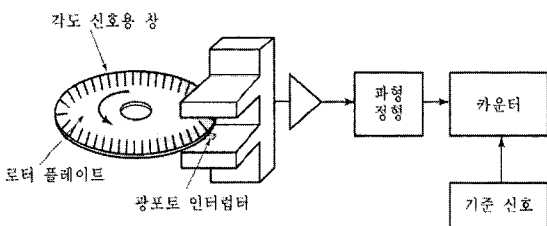


그림 6. 포토 인터럽터를 사용한 회전수 측정원리도

(다) 포토 아이솔레이터

포토 아이솔레이터는 그림 7과 같이 LED와 Si의 수광소자를 대향해서 배치하여 사이를 투명수지로 채우고 그 주변부를 불투명수지로 감싼 구조를 가지고 있다.

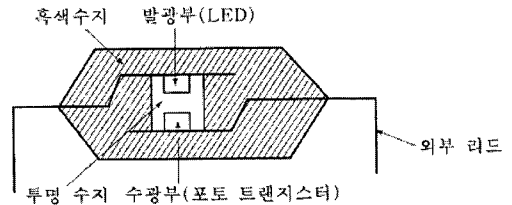


그림 7. 포토 아이솔레이터의 구조

2.1.4 컬러 센서

색 즉 빛의 파장을 측정하는 소자이며, 이 센서는 파장이 짧은 빛일수록 반도체의 표면에서 파장이 긴 빛일수록 반도체의 깊은 곳에서 흡수가 일어나는 원리를 이용하며, 다층형과 집적형 컬러센서로 분류될 수 있다.

(가) 다층형 센서

두 포토 다이오드의 단락전류의 비를 측정하여 측정광의 파장, 즉 색을 알 수 있는 센서이다. 그림에서 포토 다이오드 PD1은 단파장에 반응하여 광전류가 생성이 되며, PD2는 장파장에 반응하여 광전류가 생성이 된다. 이 두 단락전류의 비를 구하고, 그림 9와 같은 단락전류비-파장표를 비교함으로써 측정광의 파장을 알 수 있다.

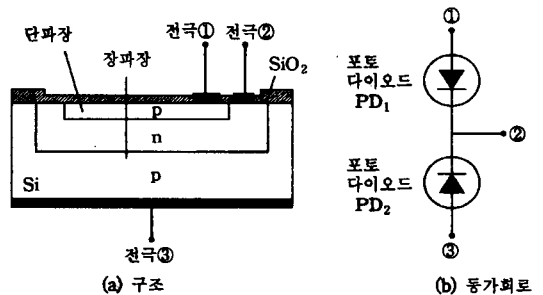


그림 8. 다층형 컬러센서의 구조 및 등가회로

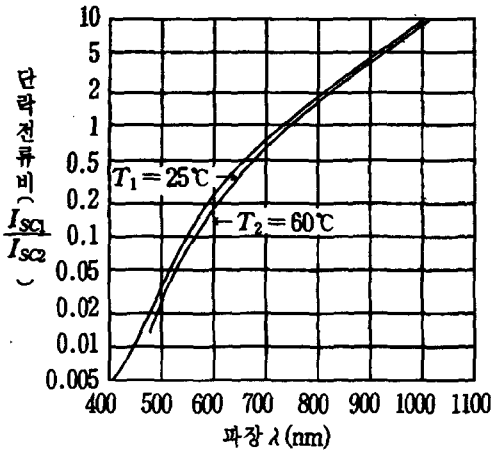


그림 9. 다층형 컬러센서의 단락전류비-파장 특성

(나) 집적형 컬러센서

빛이 조사되면 R, G, B필터는 각각 3원색인 적색, 녹색, 청색 파장대의 빛만을 투과시켜 유리나 투명전극을 통해 비정질 실리콘의 포토다이오드에 도달하므로 각 포토다이오드의 단락전류를 측정하여 비교함으로써 색을 식별할 수 있다.

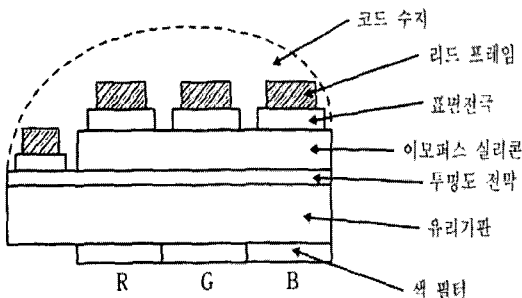


그림 10. 집적형 컬러센서의 구조

2.1.5 반도체 광위치 검출기

(position sensitive device)

조사된 광의 위치를 검출하는 소자로서 흔히 PSD라 불리며, 그림 11 와 같은 구조를 가지고 있다.

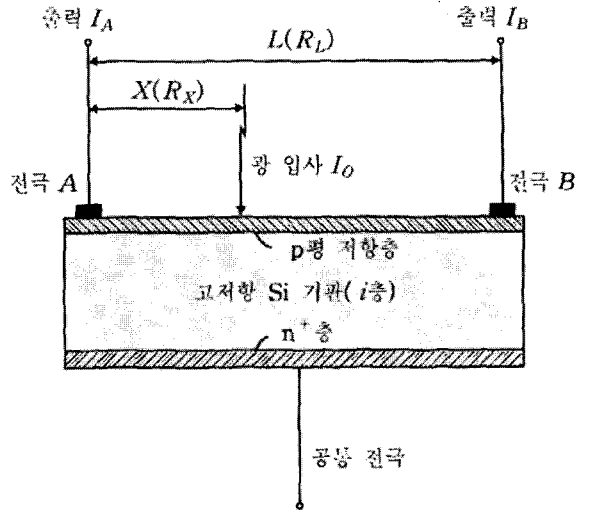


그림 11. 반도체 광위치 검출기의 구조

어떤 위치에 광이 조사되면 그 위치에서 전자-정공쌍의 발생에 의해 광전류가 흐르게 되며, 이 광전류는 전극 A와 B에 분할된다. 광의 입사위치에서 발생한 광생성전류 I_{sc} 는 각각의 전극까지의 저항값에 반비례하여 분할되므로 전류 I_A 와 I_B 는 식 (1)과 같다.

$$I_A = I_{sc} \frac{R_L - R_X}{R_L} = I_{sc} \frac{L - X}{L}$$

$$I_B = I_{sc} \frac{R_X}{R_L} = I_{sc} \frac{X}{L} \tag{1}$$

이 두 전류를 측정함으로써 위의 두 식에서 거리 X 를 구할 수 있다. 소자상의 불감부분이 없고 퍼져있는 광이라도 중심검출이 가능하며 주변회로장치도 간단하므로 광학장치의 위치나 각도검출 등에 응용되고 있다.

2.2 광전자방출형 센서

2.2.1 원 리

금속에 빛을 비출 때 빛의 진동수가 어떤 한계값보다 커지면 금속으로부터 전자가 방출된다. 이 방출된

전자를 광전자(photoelectron)라 하고 이 현상을 광전자 방출효과(photoemissive effect)라 하며, 금속표면으로부터 광전자를 방출시키기 위한 최소에너지를 그 금속의 일함수(Φ)라 하며, 입사광은 식 (2)의 조건을 만족해야 광전자 방출이 이루어진다.

$$h\nu \geq \Phi \quad (2)$$

2.2.2 광전관

광전관은 광전자를 방출하는 금속의 음극과 방출된 광전자를 흡수하는 양극으로 구성되어 2극관 구조를 하고 있다.

가) 음극

불투명형(반사형) : 빛이 입사하는 면에서 광전자를 방출한다.

투명형 : 입사면의 반대면에서 광전자를 방출한다.

나) 구조

사이드 온형 : 빛이 옆면에서 입사하는 방식

헤드온 형 : 빛이 머리부분에서 입사하는 방식

다) 광전관의 구조

광전관의 일반적인 구조는 그림 12와 같으며, 가스의 봉입여부에 따라 진공형과 가스봉입형 두 가지로 분류될 수 있다.

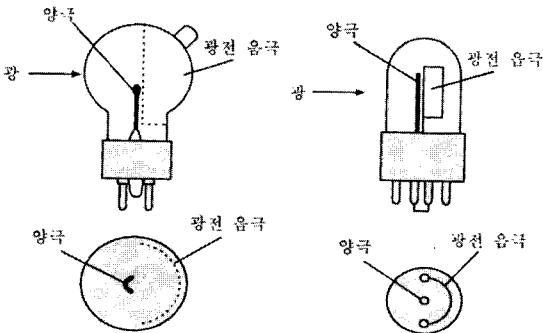


그림 12. 광전관의 구조

▷ 진공형

광전관내를 고진공으로 한 것으로 그림 13에서와 같이 입사광의 세기가 일정할 때 출력전류는 어느 정도 이상 전압에서는 포화되어 거의 일정하다. 포화영역에서는 빛의 강도와 출력전류는 1차 비례관계에 있으므로 인가전압을 포화영역에서 동작하도록 설정한다. 진공광전관은 감도는 좋지 않으나 출력의 직선성이 뛰어나며 안정된 출력을 얻을 수 있다. 빠른 응답특성을 가지고 있으며, 빛이 광전면에 닿고 나서 광전자가 방출되는 시간은 10~12초 정도로 짧다.

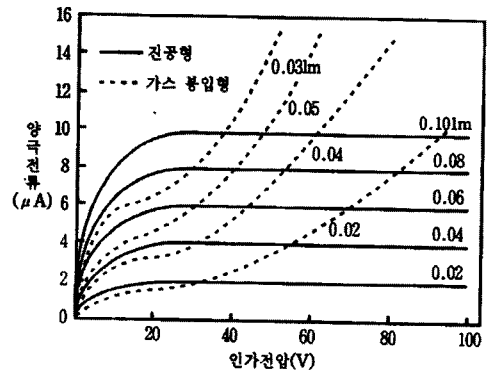


그림 13. 광전관의 전류-전압 특성

▷ 가스봉입형

광전관에 수십 Torr의 Ar 등의 가스를 봉입한 것으로서 인가전압이 증가해 양극과 음극사이에 전계가 커지면 방출된 광전자가 충분히 가속되어 가스분자와 충돌해 이온화를 일으킨다. 이렇게 생겨난 양이온은 다시 가속되어 음극인 광전면에 충돌하여 다시 2차전자를 발생시킨다. 이 현상이 되풀이 되면서 광전류의 증폭이 이루어지는데, 이 증폭률은 인가전압과 입사광량에 의존하며 통상 5~50배 정도이다. 가스봉입형 광전관은 감도는 좋으나 동작원리상 응답시간(수십 [sec])이 느리며, 가스 흡착 등에 의한 감도변화 등의 문제가 있다.

2.2.3 광전자 증배관(photomultiplier)

광전자 증배관은 미약한 빛을 측정할 때 외부증폭의 단점을 극복하기 위해 광전관내에 2차전자 증배기를 내장시킨 것으로서 고체표면에 고속의 전자를 충돌시키면 고체표면으로부터 다수의 2차전자가 방출되는데 광전자 증배관은 이 원리를 이용한 것이다. 그림 14의 광전자 증배관에 빛이 입사해 광전면으로부터 광전자가 방출되면 이 광전자는 집속전극에 의해 가속되고 집속되어 제1다이노드에 충돌한다. 제1다이노드에서는 충돌에 의해 보다 많은 2차전자가 방출되며, 이것은 다시 가속되어 제2다이노드에 충돌한다. 이러한 현상의 반복으로 전자수가 증배되므로 양극에서는 상당히 큰 신호전류를 얻을 수 있다. 고감도이고 응답속도가 빠르며 저잡음을 실현할 수 있으며, 분석기기, 의료용기기, 방사선계측기, 통신정보기기 등에 이용된다.

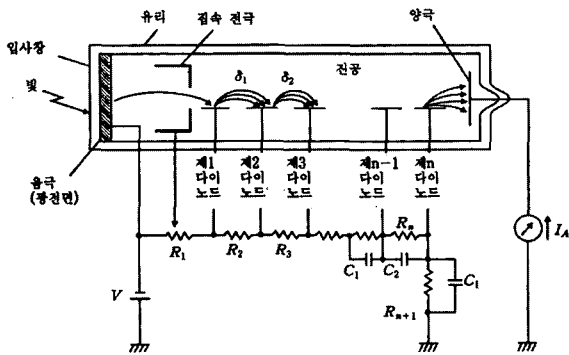


그림 14. 광전자 증배관의 구조

2.3 광도전형 센서

2.3.1 원 리

빛을 어떤 물질에 조사했을 때 그 물질의 도전율이 증가하는 현상을 광도전효과(photoconductive effect)라 하고, 이것은 빛에너지를 받아 그 물질내부

에 자유캐리어 즉 자유전자와 정공이 발생하기 때문이다. 광전류를 크게 하기 위해서는 캐리어수명이 길고 이동도가 큰 광도전체 재료를 선택해야 한다. 일반적으로 광도전형 센서는 응답속도가 느리며, 가시광 이상의 장파장광을 검출하는 광도전형 센서만이 실용화되고 있다.

2.3.2 CdS 광도전셀

광도전체로 CdS, CdSe를 사용하는 센서를 보통 광도전셀이라 하며, 세라믹 기판위에 CdS 혹은 CdSe분말을 적당량의 CdCl₂, CuCl₂와 함께 도포하고 열처리하여 소결시켜 만든다. CuCl₂의 첨가는 자유정공수를 줄임으로써 전자의 수명이 길어져 광도전성을 증가시키게 하기 위한 것이다. 전극은 감도를 증가시키기 위해 빗모양형상을 하고 있으며, 전체를 수지로 코팅하든지 금속이나 플라스틱 케이스 또는 유리밸브에 넣어 사용한다.

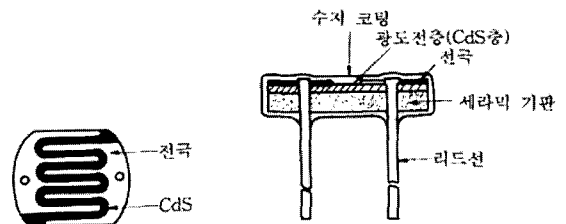


그림 15. CdS 광도전셀의 구조

가) CdS 셀의 분광 감도특성

CdS는 520(nm)에서 CdSe는 720(nm)에서 최대감도를 가진다. CdS와 CdSe를 임의의 비율로 혼합하여 제조함으로써 그림 16에서처럼 최대감도 파장을 520~720(nm)의 범위에서 임의로 바꿀 수 있다.

나) 조도를 변수로 한 CdS 셀의 전압-전류 특성 조도가 일정할 때 광전류는 그림과 같이 전압에 비례하는 특성을 가지고 있다.

마) 단점

CdS 셀은 응답속도가(보통 수십 msec) 늦고 광이력 특성이 있다.

2.3.3 PbS 광도전셀

광도전체로 PbS, PbSe를 사용하는 센서를 PbS 광도전셀이라 하며, PbS는 2.2(μm)에서 PbSe는 3.8(μm)의 빛에 최대감도를 가지며 1~3(μm) 파장대의 광검출기로 적합하다. 소자를 냉각하면 감도의 증가 등 특성을 향상시킬 수 있으며, 방사온도계와 적외분광광도계 등에 사용된다.

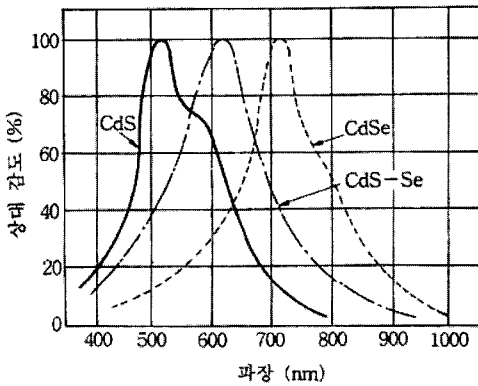


그림 16. CdS 셀의 분광감도 특성

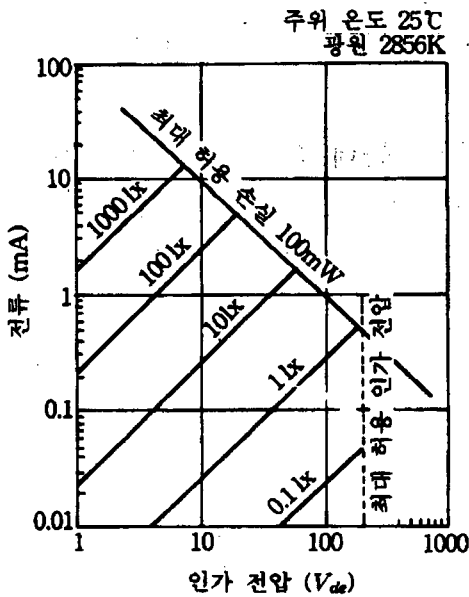


그림 17. CdS 셀의 전압-전류 특성

다) 특징

CdS 셀은 고감도이고 소형임가이며 전력용량이 크다.

라) 용도

카메라 노출계, 가로등 점멸기, 프레임 아이 등에 사용된다.

◇ 저 자 소 개 ◇



김수길(金秀吉)

1965년 8월 2일생. 1988년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1991년 서울대학교 대학원 전기공학과(석사). 1997년 서울대학교 대학원 전기공학과(박사). 1997년~현재 호서대학교 정보제어공학과 부교수. 본학회 재무이사.