

Image 센서

姜 泰 遠*, 金 榮 順**

東國大學校 理科學科 物理學科 教授*, 化學科 教授**

I. 머릿말

「百聞不如一見」이란 image를 가장 잘 표현한 말로서 그 어떤 정보도 image 만큼 정보를 정확하게 전달하지는 못한다. 일반적으로 image라고 하면 像 또는 畫像이란 의미 뿐만 아니라 光學像이나 寫眞像 등도 포함된다.

한편 image sensor⁽¹⁾라고 하면 보통 imaging시스템의 최초 단계인 화상입력의 신호발생장치로 텔레비전, 카메라등의 撮像素子나 固体撮像素子(MOS, CCD) 등의 soft copy를 말하지만, 넓은 의미의 image센서란 광센서 즉, 光檢出器를 말하기도 하며 사진, 인쇄, 영상, 방송등의 각 분야에서 컴퓨터, 팩시밀리(facsimile), 비디오등의 출현으로 이제까지의 아날로그 화상기술에 디지털 화상기술을 전개한 종합기술 즉, image technology⁽²⁾가지를 포함한다고 볼 수 있다. 그러나 엄밀하게 말하면 image센서란 2次元 광센서들의 의미하며 그러므로 image센서를 설명하기 위하여 일반적인 광검출 방법부터 설명하기로 한다.

광검출 방법을 대별하여 다음과 같이 나눌 수 있다.

- (1) 内部光電効果 : 光電導效果, 光起電力 效果
- (2) 外部光電効果 : 光電子放出
- (3) 熱電效果
- (4) 焦電效果
- (5) 기타

현재 사용하고 있는 광검출기를 그 검출 파장에 따라 나누면 그림 1과 같다.

II. 内部 光電效果型 光센서⁽³⁾

반도체의 내부 광전효과에 의한 광센서는 광을 照射하여 電子-正孔을 만들거나(眞性型), 깊은 不純物準位에서 캐리어를 여기시키는(外因性型) 것이다. 일반적으로 半導體에 광을 조사하면 전기저항이 변화하는 光

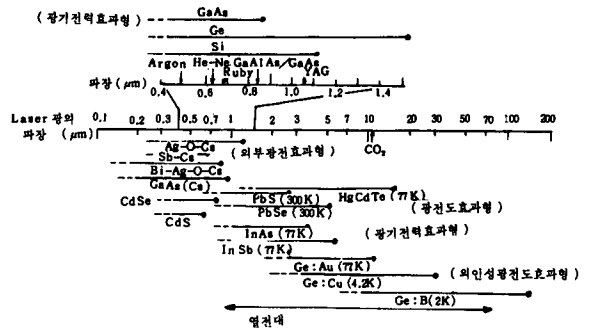


그림 1. 각종 센서의 검출범위

電導效果와 반도체중에 pn접합과 같은 空乏層이 있어서 起電力이 발생하는 光起電力 效果가 있다.

1. 光電導效果型

진성 광전도 효과에 대한 광의 한계파장 λ_c 는

$$\lambda_c = \frac{1.24}{E_g(eV)} (\mu m)$$

로 표시된다. 또한 진성형은 band간의 전이를 이용하므로 흡수계수가 $10^3 \sim 10^5 \text{cm}^{-1}$ 로 크며, λ_c 보다 단파장 영역의 光感度가 주로 표면 재결합으로 결정된다. 광전도 효과는 빛에 의해 자유 캐리어가 발생하고, 이들이 재결합할 때 까지 전극에 이끌린다. 그러므로 효율을 크게 하기 위하여 캐리어의 이동도와 수명이 긴 재료를 선택 할 필요가 있다. 이는 역으로 말하면 광전도형 센서의 응답속도를 아주 늦추는 원인이기도 하다 (표 1 참조).

그림 1에 표시한 바와 같이 각종 반도체의 吸收端은 가시부 영역에서 적외부 영역에 걸쳐 널리 분포하고 있다. 특히 카메라의 노출계나 가로등의 자동점멸기에는 CdS (2.41eV) 또는 CdSe (1.6eV)가 널리 사용되고 있다. 그리고 $\lambda_c > 1\mu m$ 의 영역에는 PbS (0.39eV),

표 1. 광전도 효과형 광센서의 특성

	최고 감도 파장 (μm)	암저항 (Ω)	응답시간 (sec)	D^* ($\text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$)
진성형 CdS	0.52~0.6	$(1\sim 100)\times 10^6$	$(2\sim 10)\times 10^{-2}$	-
PbS	0.8~2.5 (감도영역)	$(0.1\sim 1.6)\times 10^6$	$(1\sim 4)\times 10^{-4}$	5×10^{10}
PbSe	1.0~5.0 (감도영역)	$(0.1\sim 2.0)\times 10^6$	$(1\sim 2)\times 10^{-6}$	1.0×10^9
InAs	3.3	- (195K)	5×10^{-3}	3×10^{11}
InSb	5.3	$10^3\sim 10^4$ (77K)	5×10^{-6}	$(6\sim 10)\times 10^{10}$
$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ x=0.2	12	60~400 (77K)	$< 10^{-6}$	10^{10}
$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ x=0.2	14	52 (4.2K)	1.2×10^{-6}	1.7×10^{10}
외인성형 Ge: Au	6	4×10^5 (77K)	3×10^{-8}	$(3\sim 10)\times 10^9$
Ge: Hg	11	$(1\sim 4)\times 10^4$ (4.2K)	10^{-9}	4×10^{10}

(주) D^* : 수광기 단위면적에 관하여서 측정할 경우 1W의 입력에 대하여 얻어질 수 있는 SN비(대역폭 1Hz)를 나타낸다.

PbSe(0.27eV), InAs(0.33eV), InSb(0.18eV) 등이 있어서, 실온에서의 광검출 감도는 가시광으로부터 약 $3\sim 5\mu\text{m}$ 의 장파장 영역까지 이르고 있다. 이와 같이 금지대 폭이 작은 재료에서는 실온에서 작동시키면 熱로 여기되는 캐리어가 많으므로, 드라이 아이스 또는 액체질소로 냉각하여 장파장쪽의 검출감도를 증가시키고 있다.

진성 광전도 재료로서 최근 주목되어 온 것 중에서 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 와 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 등의 三元合金이 있다. 이 삼원합금의 장점은 파장영역을 마음대로 바꿀수가 있다. 예를 들면 HgTe($E_g = -0.3\text{eV}$)와 CdTe($E_g = 1.6\text{eV}$)로 삼원합금을 만들면 금지대폭은 $-0.3\sim 1.6\text{eV}$ 에서 연속적으로 변화한다. 이것들은 원래 장파장을 검출하는데 쓰려고 개발되었으나 CO_2 레이저($10.6\mu\text{m}$)를 이용한 赤外光通信과 高速의 적외 카메라의 개발에 유용하기도 하다. 금지 대중에 불순물준위를 포함하는 외인성센서에서는 기초 흡수단보다도 장파장쪽에 감도가 있다. 이러한 재료로 현재 실용화 되고 있는것은 거의가 Ge을 모체로 한 것이다. 이때 도우핑하는 불순물의 종류에 따라서 특성이 다르다.

2. 光起電力 효과형

여기에 속하는 광센서로는 포토다이오드 및 증폭작용을 갖게하는 포토트랜지스터와 애벌랜치 포토다이오드가 있다. 포토다이오드는 광조사에 의하여 반도체의 pn접합에 電子-正孔이 형성되면 소수의 캐리어는 확산되거나 空乏層내에서 드리프트되어 반대쪽 영역에 유입되어 光電流가 되는것을 말한다. 실리콘의 pn 접합은 최근의 소자 제작기술의 향상으로 그 특성이 현저하게 개선되었다.

일반적으로 광검출 소자로서는

- (1) $1/100\sim$ 수만 L_x 의 범위에서 출력전류가 직선적으로 변화한다.
- (2) 역방향전류(암전류)가 작고, 낮은 照度에서 SN비가 좋다.
- (3) 출력전압, 전류가 크다.

등이 요구된다. 특히 최근의 opto electronics에 있어서 낮은 조도(특히 $1L_x$ 이하)의 광검출이 필요하다.

포토 다이오드의 광응답속도는 캐리어가 전극간을 주행하는 시간 및 접합용량과 내부저항에 의하여 결정된다. Si 광검출소자는 受光面積이 넓으므로($\sim 5\times 5\text{mm}$) 주파수 특성은 RC로 결정된다. 접합면적의 감소에 따라서 접합용량을 충분히 작게 한 시점에서, pn접합의 주파수특성은 소수캐리어의 확산 즉 소수캐리어의 life time τ 로 정한다. 실리콘에서는 τ 가 크기때문에 주파수 특성은 일반적으로 나빠서 수 MHz까지 GaAs와 같이 τ 가 작은 재료를 사용하면 $\sim 100\text{MHz}$ 까지 가능하다. 그러나 일반적으로 고속동작을 목적으로 하는 경우에는 기판 n층위에 불순물 농도가 극히 낮은 i층을 형성하고, pin 구조로 하면 드리프트효과에 의하여 응답속도가 개선된다.

표 2에서 보는바와 같이 응답속도는 수백 ps~수 ns가 된다. Pin 포토다이오드에서는 접합을 가급적 표면 가까이 하여 소수캐리어의 확산의 영향을 줄이는 동시에 접합용량을 작아지도록 노력하고 있다.

금속-반도체 장벽 + 사용하면 photon이 공핍층내부에 흡수되어, 표면 재결합이 나타나지 않으므로 높은 광감도를 나타내고, 더우기 고속의 광검출소자가 만들어진다.

표 2. 각종 Photo diode의 특성

Photo diode	외장영역 (μm)	응답감도 (%)	수광면적 (cm^2)	용량 (pF)	응답시간 (sec)	동작온도 (K)	비고
Si n ⁺ -p	0.4~1	40	2×10^8	0.8 (-23V)	130p	300	APD
Si p-i-n	0.4~1.2	>90 at 0.9 μm	5×10^{-2}	3 (-200V)	7n	300	pin
Si p-i-n	0.6328	>90	2×10^{-5}	< 1	100p	300	
Ge n ⁺ -p	0.4~1.55	50	2×10^{-5}	0.8 (-16V)	120p	300	Ge의 APD
InAs p-n	0.5~3.5	>25	3.2×10^{-4}	3 (-5V)	<10 ⁻⁶	77	
Pb _{1-x} Sn _x Te	9.5	$\eta=60$	4×10^{-3}	-	~10 ⁻⁹	77	

n-Si-Au Schottky 장벽에서 0.1ns의 응답속도를 나타내고, nGaAs-Au에서는 4.18GHz의 마이크로파 변조 광照射로도 충분히 응답할 수 있음을 나타낸다. 또한 점접촉 포토다이오드는 접합용량을 작게 할 수 있어 30GHz정도의 고속응답도 가능하다. 그러나 이와 같은 포토다이오드는 증폭작용이 없다. 증폭작용을 가진 것에 포토트랜지스터와 애벌런치 포토다이오드(APD)가 있다.

그림 2 (a)는 npn형 포토트랜지스터의 에너지 띠의 구조를 나타낸다. 광조사에 의하여 여기된 전자는 콜렉터 공간층을 통하여 콜렉터 영역에 도달되나, 정공은 베이스 영역에서 퍼텐셜 우물에 갇히게 되고, 에미터 접합을 순방향으로 바이어스하게 된다. 따라서 광여기된 전자 이외의 다량의 전자가 에미터에서 베이스 영역으로 주입된다. 이것이 증폭된 전류량이다. 포토트랜지스터의 광증폭율은 베이스폭 및 에미터 접합부의 주입효율로 결정되고 있어 보통 수십~수백배이다. 특히 에미터영역의 재료로써, 베이스, 콜렉터보다도 금지대 폭이 넓은 재료를 사용한 헤테로 접합형 포토트랜지스터에서는 헤테로접합의窓효과와 高注入 효율때문에 높은 감광도를 얻을 수 있다. 종래 트랜지스터에서는 전류증폭율을 증가시키기 위하여 에미터의 캐리어농도를 높히는 방법을 사용했으나, 역으로 에미터의 불순물농도를 종래의 1/1000이하로 하고, 정공의 확산길이 이내의 곳에 새로이 캐리어농도가 높은 n⁺층을 형성하면, 캐리어 농도의 불연속으로 인하여 퍼텐셜벽이 에미터층 내에 생겨서 헤테로 접합과 같은 주입효율의 증대를 기대할 수 있다(그림 2 (b)). 이 소자는 LEC트랜지스터라고 불리우며, 전류증폭율 10,000배에 달하는 것이 제작되어 고성능 포토 트랜지스터로서도 유용하다. 바이폴라 트랜지스터와 같은 접합형 FET의 게이트접합에 흐르는 광전류를 이용하여 그 공핍층의 두께를 바꾸어 FET의 채널저항을 바꾸는 방법도 있다. 이는 미소한 광전류를 취하기 쉬운

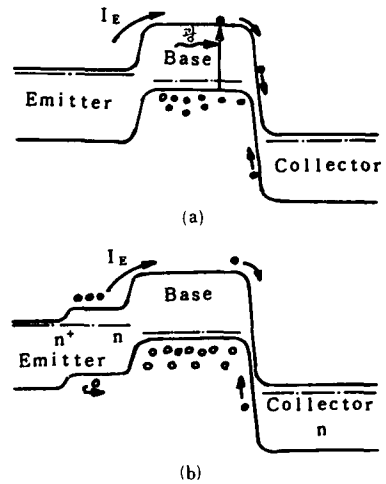


그림 2. (a) npn형 photo transistor의 energy band 구조
(b) LEC transistor의 구조

저항의 변화로 바꾸어서 큰 전압을 얻을 수 있는 이 점이 있으나 출력과 입사 광감도와와의 비례관계는 그다지 좋지 않다. 애벌런치 포토다이오드(APD)는 모든 반도체 광검출기중에서 가장 주파수 특성이 우수하고 고감도이다. 그림 3은 APD의 동작원리를 나타내고 있다. 우선 pn접합에 역방향 항복전압에 가깝도록 바이어스를 걸어둔다. 여기에 광이 들어가면 공핍층내에서 전자-정공이 생성되고(1차전류), 이들 캐리어는 공핍층내에서의 강한 電界에 끌려서 가속되어 높은 에너지를 얻는다. 그리고 공핍층 내를 주행하는 사이에 속박전자를 충돌 이온화한다. 이러한 충돌이 한꺼번에 일어나서 일차전류가 증배된다. APD는 광전자 증배관 보다도 동작전압이 낮고 종래의 트랜지스터회로와 잘 어울린다. 그리고 강한 광에도 劣化하지 않는다. 종래 APD의 최적 설계에서 문제되었던 것은 어떻게 완전한 pn접합을 실현할 것인가였다. 접합부에 불균일

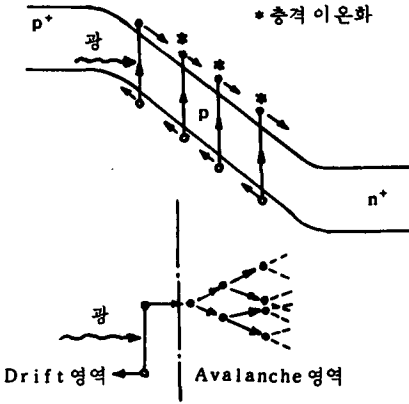


그림 3. Avalanche photo diode의 동작원리

이 존재하면 그점으로 부터 항복이 시작되고 공간적으로 같은 애발런치가 일어나지 않기 때문이다.

이 문제는 B와 Ga의 이중확산에 의하여 개선되어⁴⁾ 현재는 帶域積이 100GHz이상인 Si APD가 얻어졌다. 이러한 우수한 특성을 가진 APD에도 한가지 결점이 있다. 그것은 증폭율이 작을때 이외에는 입출력 특성이 선형이 아닌것이다. 따라서 아나로그 처리에는 좋지 못하나 펄스 변조방식의 광통신에는 적합하다. Si APD로 검출 할 수 있는 광의 파장은 0.4~1.1 μ m이며, He-Ne레이저, GaAs반도체 레이저, YAG 레이저 등 실용적인 레이저의 발진파장을 커버하고 있다.

APD 설계상의 중요한 점은 입사광을 空乏層 내부에서 만 흡수 시키는 것이다. Si의 흡수계수가 작은 것을 고려하면, GaAs/GaAlAs 반도체 레이저에서는 π 층(캐리어 농도가 낮은 P층)이 40 μ m, YAG 레이저(1.06 μ m)에서는 250 μ m의 π 층이 필요하다. 이는 공핍층의 주행시간을 길게 하는것이 되므로, 장파장의 광만큼 주파수의 특성이 떨어져 GaAs레이저에서는 GHz 이상은 무리이다. GHz 이상의 응답을 얻을 수 있는 재료로서 흡수계수가 큰 GaAs나 InGaAs를 이용한 APD의 개발이 기대되고 있다.

III. 外部 光電効果型 광센서

외부 광전효과형 광센서란 포토캐소드를 사용한 것을 말하고, 입사하는 光量子數에 따라서 물질표면에서 방출되는 전자의 수를 측정한다. 금속 물질내에서의 전도 전자와 진공과의 사이에는 일함수라고 불리는 퍼텐셜 벽이 있어 광을 照射하면 이 퍼텐셜 벽을 타고 넘어 물질표면으로 전자가 나온다. 그러므로 광전자 방출 재료로서는 일함수 ϕ_w 가 작은 물질이 적합하다. 일반

적으로 $\phi_w > 2eV$ 이며, 파장감도는 가시영역에서 자외부 영역에 걸쳐 있다. 흔히 사용되고 있는 재료로 AgCsO($\lambda_{max}=8500\text{\AA}$), Cs₂Sb($\lambda_{max}=4,000\text{\AA}$), Bi-Ag-O-Cs($\lambda_{max}=4,500\text{\AA}$) 등이 있다.

최근에 이르러 반도체를 이용한 포토캐소드가 주목을 받고 있으며, 보통 반도체의 가전자대에서 진공쪽으로 전자를 방출하는데는 적어도 금지대폭 Eg와 전자친화력 X의 합에 해당하는 에너지가 필요하며 이 값은 3~5eV 정도이다.

그런데 고농도로 도핑된 p형 반도체의 표면에 전자 친화력이 작은 Cs나 Cs₂O를 붙이면 그림 4에 표시하는 바와 같이 반도체의 밴드가 표면근처에서 굽으므로 전도대의 바닥 에너지준위와 진공준위가 거의 같아진다. 그러므로 이 경우에는 광조사에 의하여 금지대폭에 상당한 만큼의 에너지를 주기만 하면 전자가 진공으로 방출된다. Eg가 X보다 큰 경우에는 전자친화력은 (-)로 되고, 반도체중의 전도대의 밑바닥이 진공준위보다도 에너지가 높은 상태로 되어 광전자 방출의 확률은 한층 높아진다. 예컨대 GaP-Cs, GaAs-Cs₂O($X=0.7\sim 1.0eV$)에서는 (-)의 전자친화력이 나타나게 된다.

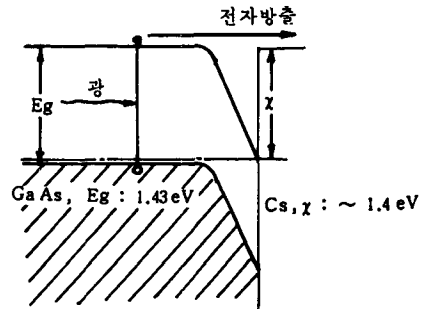


그림 4. P형 반도체에 Cs 등을 접합했을 때의 energy band구조

광전자 방출의 양자효율과 장파장쪽의 cathod off 점은 위에 표시한바와 같이 방출면에 사용한 재료로 결정되나, 단파장쪽의 cathod off 점은 광전자 방출면을 窓의 재료로 하는 경우가 많다. 광전자 방출면은 진공중에 두어야 하므로 입사광이 光電面에 도달할때 까지 窓을 통한다.

IV. Image센서

종래에는 image센서라고 하면 텔레비전용으로 대표되는 攝像管을 생각하는 경우가 많았다. 그러나 최근

에 이르러 固体撮像 디바이스가 많은 분야에서 이 撮像管을 대신하게 되었다.

撮像 디바이스는 다음과 같이 분류된다.

撮像管 { 광전자 방출형 撮像管
광전도형 撮像管

固体撮像 { X·Y지정 撮像方式 (MOS형)
신호전송 撮像方式 (CCD형, BBD형)

撮像管의 설명은 생략하기로 하고, 고체 撮像디바이스에 대해서만 언급하기로 한다.

撮像管에서는 전자 빔에 의하여 走査를 하고 있으나 固体撮像 디바이스에서는 전기적 스위치에 의하여 각 畫素에서 전기신호를 얻는 것이다. 이 때문에 하나의 디바이스상에 광전변환기능, 화소의 스윕기능 走査기능의 셋을 형성하게 된다. 말하자면 1장의 Si 웨이퍼상에 光像을 맺으면 웨이퍼에서 영상의 전기신호를 얻을 수 있다. 固体撮像 디바이스는 전기신호를 얻는 방법에 따라서 2종류로 분류된다. 그림 5 (a)는 MOS형 image센서로 대표되는 X-Y 지정방식이며, (X, Y)로 지정된 畫素에 전기 펄스를 준 순간에 영상신호를 얻는다. 한편 CCD와 같은 전하결합 소자에서는 신호의 自己 走査기능을 겸하고 있다.

하나의 화소는 겨우 $50\mu\text{m}$ 정도이므로 전기스윕치가 ON하는 순간에 흐르는 전류만을 검출하고 있어서 광감도가 매우 작아져 버린다. 그러므로 특수용도 이외에는 모두 1회의 走査와 다음 走査사이에 여기된 캐리어를 축적하는 구조로 되어 있다. 이것을 撮像 디바이스의 전하 축적 동작이라고 한다. 전하축적이 필요한 것은 撮像管에서도 마찬가지이다. pn접합(포토다이오드)을 畫素로서 지니고 있는 센서에서는 항상 역바이어스 상태로 되어 있다. 走査 펄스전압을 V_0 로 하면 走査펄스가 걸린 순간 pn접합에는 V_0 의 역바이어스가 걸려서 공간전하 영역이 넓어진다(그림 6). 주사펄스가 통과하면 pn접합은 개방상태로 된다. 이 상태에서 입사광에 의하여 캐리어가 여기되면 이들의 캐리어는 空乏層 容量에 축적되어 있는 전하를 방전하도록 작용하고, 공간전하 영역사이의 전위가 감소해진다. 다음 주사펄스 전압 V_0 가 인가되면 접합용량을 충전하기 위한 전류가 흘러 들어간다. 그 충전 전류를 영상신호로써 얻어낸다. 광입사가 없을 때 접합간의 전위는 발생 재결합전류에 의하여 감소하나 실리콘을 사용할 경우 수ms까지 전위의 변화는 거의 없다. 결국 공핍층내에 캐리어를 축적하므로써 비축적동작(주사펄스가 들어간 때의 광전류만을 얻어내는 동작)과 비교하면 표면위의 畫素의 수배만큼 감도가 커진다. 예

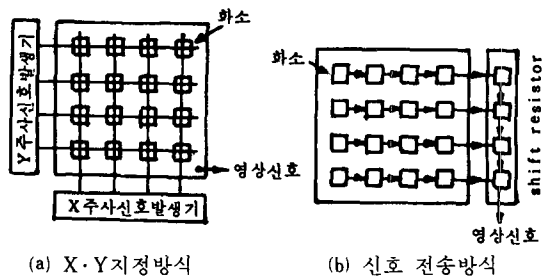


그림 5. Image 센서의 주사방법

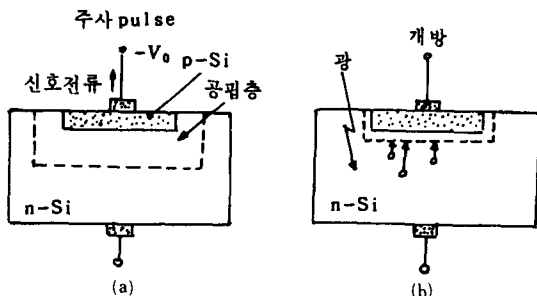


그림 6. pn접합에 있어서 전하축적효과. (a) 역 bias를 가한다. (b) 개방상태로 하여 캐리어를 축적한다. 다시(a)상태로 하면 축적되어 있던 캐리어를 방출하여 전류가 된다.

컨데 화소수를 200×200 으로 하면 4×10^4 배의 광감도 향상이 되어 전하 축적동작의 중요성이 이해된다.

그림 7은 금속-절연층-반도체로 이루어진 MOS캐패시터의 구조를 나타낸 것이다. 금속면을 p-Si로 하여 (-)로 바이어스하면 반전층이 형성되어 이층에 전하를 축적할 수가 있다. 대부분의 photon은 p층에서 흡수되어 전자-정공을 형성한다. 소수캐리어인 전자가 p층내로 확산하여 반전층에 도달하고 갇히게 된다. MOS캐패시터의 경우에도 광에 의하여 축적된 전하는 광전류에 비례한다.

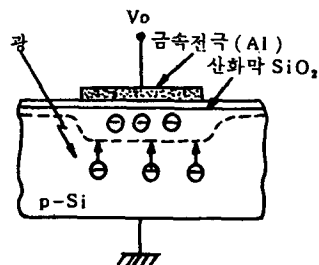


그림 7. MOS 캐퍼시터에 있어서 전하축적효과

그리고 역 디어스 전압이 인가된 순간 공핍층이 깊어져서 전위의 우물이 형성되나 시간이 경과함에 따라서 熱勵起에 의한 소수캐리어가 발생하여 표면쪽으로 반전층이 형성되게 되면 공핍층의 두께는 감소하므로, 이러한 전위의 우물이 만들어져서 소수 캐리어를 받아 들일 수 있는 상태는 熱起電力에 의한 소수캐리어가 발생하기 까지는 비정상 상태이다.

그림 8은 현재 최고의 집적도를 지닌 MOS LSI의 직접적인 응용예이고, 광전변환은 pn접합 포토다이오드로서 MOS트랜지스터의 소오스접합을 이용한다. 그리고 MOS트랜지스터 자신은 그림 8 (b)에 표시한 바와 같이 수직주사회로의 스위칭 트랜지스터로 되어 있다. 이 포토다이오드를 2중 게이트의 AND회로로 하여, (X, Y)를 지정하여 각 화소에 대체하도록 하고 (X, Y)의 두가지 방향으로 어레이(array)로 배치한 것이다. 이 (X, Y)의 각 라인을 시프트 레지스터로 주사하므로서 MOS트랜지스터를 순차적으로 작동시켜, 이것으로서 pn포토다이오드의 신호를 동일 출력선상에 영상신호로서 얻을 수 있다. 이 방식은 각 화소의 변환회로의 ON, OFF比가 $10^6 \sim 10^{17}$ 정도로 크게 얻어지므로 각 화소간의 상호 간섭을 거의 무시할 수 있는 특징이 있다.

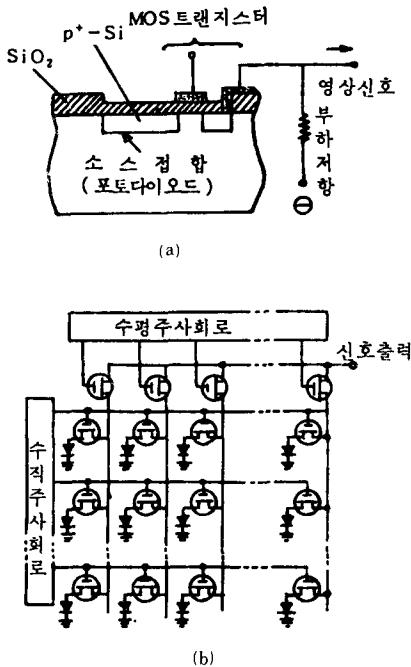


그림 8. MOS형 고체 image sensor의 구조와 회로구성

그림 9의 응용 예에서는 MOS 커패시터 2개와 이를 결합하는 P⁺ 확산영역이 구성 요소로 되어 있다. X, Y 양전극에 전압을 인가하면 절연층 밑에 반전층이 형성되어 광을 조사하면 반전층에 정공이 축적된다(a). 다음에 X라인의 전극이 零電壓으로 되면, 正孔은 퍼텐셜이 낮은 Y전극밑으로 흘러 들어간다(b). 그후 Y전극도 영전압으로 된다. 즉, (X, Y)로 나타내는 畫素가 ON으로 되면 반전층이 소실되므로 축적되어 있던 정공은 기관내부로 방출된다. n-Si내에서 정공이 재결합하므로써 신호전류가 외부로 빠져나간다. 이 구조를 CID(Charge Injection Device)라고 한다.

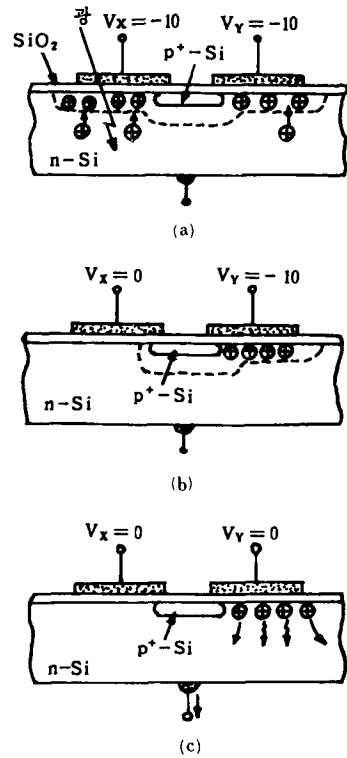


그림 9. CID(Charge Injection Device)의 구조와 동작

撮像 디바이스 자신이 감광기능과 自己走査기능을 겸비한 신호전송 撮像방식에는 벨 연구소에서 발표한 CCD⁶¹ (Charge Coupled Device), philips社에 의한 BBD⁶¹ (Bucket Brigade Device), 일본에서 연구되고 있는 PCD⁷¹ (Plasma Coupled Device) 등이 있다. CCD형 센서의 기본동작은 그림10에 표시한 바와 같이 3개의 전극중의 하나(전극A)에 다른두개(전극B, C) 보다 큰 전압V_{pl}를 인가하여 퍼텐셜 우물을 만든다.

이 상태에서 광을 조사하면 전자가 공핍층의 퍼텐셜 우물안에 갇힌다. 다음에 인접한 전극에 다시 큰 전압이 주어지면 전극A 밑에 축적된 소수캐리어는 전극간격이 작고, 이 사이에 전위장벽이 없다면 이전계로 끌려서 인접 전극밑으로 옮긴다. 전극 전압이 다시 최초의 상태로 돌아가면 전극 A 밑에 있던 소수캐리어는 우측의 전극밑으로 전송된다. 이와같이 3相구조의 CCD에서는 3 전극이 단위가 되어 1 畫素가 구성된다.

BBD는 그 동작이 CCD와 아주 비슷하나, 반도체 기관에 반대 전도형의 확산층이 있는 점만이 다르다. CCD 및 BBD는 내부에 재생기능을 갖추고 있지 않으므로 화소수가 증가함에 따라서 전송손실이 문제가 되어 있다. 전하재생 기능을 지닌 전하전송 소자로서 프라즈마 결합소자(PCD)가 있다.

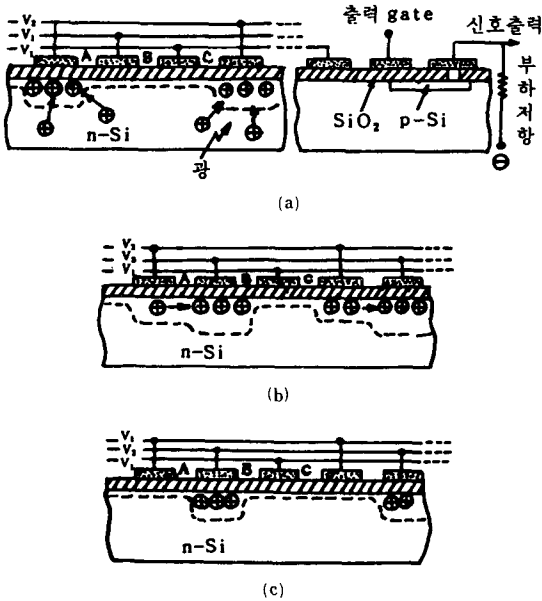


그림 10. CCD형 고해 image 센서의 구조와 carrier 전송방법

최근에 리모트센싱(remotesensing)에 대한 응용으로 적외선 영역에서의 2 차원 센서의 개발연구가 활발하다. 리모트센싱에서 문제되는 8~10 μ m의 파장영역에 감도를 갖게 하는 재료로서 Au 도-프(77K) Hg 도-프(30K), Cu 도-프(15K), Ge 등의 외인성 반도체 및 InSb(77K), Hg_{1-x}Cd_xTe(77K), Pb_{1-x}Sn_xTe(77K) 등의 진성형 반도체등이 있다. 이들은 어느것이나, 냉각하지 않으면 사용할 수 없다. 응답속도는 늦으나 상온에서 사용할 수 있고 더우기 감도가 높은 재료로써

TGS(Triglycine Sulfate), SBN(Strontium Barium Niobate), LiTaO₃, LiNbO₃, PbTiO₃ 등의 焦電結晶이 있다. 적외선에서의 2 차원센서는 주사방식에 따라 다음의 세가지로 분류된다.

- i) 광학주사(회전거울등)
- ii) 전자 빔 주사(적외선 비디콘)
- iii) 자기주사(全固体化카메라)

또 광센서의 배치상으로 분류하면, 다음과 같다. i) 단일소자, ii) 라인多素子(선상으로 배열되었음), iii) 매트릭스多素子(2 차원적으로 배열되었음).

현재 시판되고 있는 적외선 2 차원센서(적외카메라)는 거의 InSb 혹은 HgCdTe를 단일 광센서로써 사용하고 있어, 회전 또는 진동광학계를 사용하며 2 차원 주사를 행하는 방식이다. 한편 전자빔에 의하여 신호를 얻는 방식을 소위 파이로 비디콘이라 부르며, 검출기로서 焦電結晶을 사용하고 있다. 이 방식은 전자빔 주사이므로, 고속응답성을 기대할 수 있고 焦電結晶이므로 냉각하지 않고 실온에서 사용할 수 있다. 파장영역도 넓게(7~17 μ m) 취할 수 있는 등의 장점이 있으나, 분해능이 나쁜 단점이 있다. 금후는 焦電結晶의 개량이 파이로비디콘의 성능 향상의 열쇠가 될 것이다.

V. 電子寫眞에의 應用^{8,9)}

2 차원 광센서의 응용예의 하나로 영구적인 image(hard copy)를 얻는 방법에는 銀鹽사진, 電子사진, 디아조사진, 유리기 사진 및 photochromism 등 여러가지가 있다. 지면관계로 여기서는 전자사진에 대해서만 언급하기로 한다.

광에 의한 고체내의 光電現象을 이용하여 image를 얻는 畫像形成방식을 電子사진이라고 하며, 1938년 C. F. Carlson이 발견하였으며, 실용기기로 시장에 등장한 것은 1950년이다.

Battelle Memorial 연구소와 Xerox社가 공동개발하여 실용화 시킨것이 현재 흔히 사용하고 있는 Xerox 방식이며 그림11과 같이 5 단계로 되어 있다.¹¹⁾

- ① 감광층을 코로나방전(±)에 의해 帶電시켜 감광화한다.
- ② 露光에 의해 靜電潛像을 형성한다.
- ③ 토너에 의해 可視像을 형성한다.
- ④ 토너像을 종이와 같은 물질에 轉寫한다.
- ⑤ 熱 또는 시약증기에 의해 토너像을 용융 定着시킨다.

이상의 5 단계중에서 4 의 轉寫과정을 생략하고 감

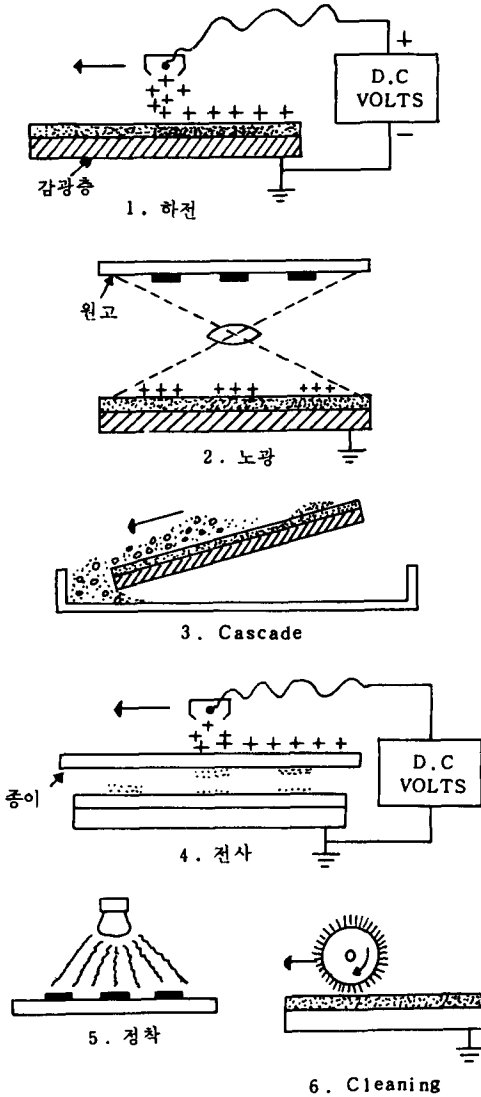


그림11. Xerox 방식의 기본과정

광체에 직접 토너상을 定着시키는 것을 electro-fax 방식이라고 한다.

感光체로 사용하고 있는 것 중에서 가장 널리 알려져 있는 것이 Se^{III} 이다. Se은 單斜晶系, 六方晶系, 非晶質의 3종류가 있으나 제록스 방식의 감광층에는 비정질 Se(순도: 99.9999%)이 사용되며 감광층은 Al, Cr 등의 금속판 혹은 드럼상에 진공증착하여 만든다. 증착층의 결정구조는 기판온도, 증착속도와 증착후의 냉각속도등에 의하여 변화한다. 일반적으로 10^{-4} Torr 이하의 진공도에서 기판온도를 45~75°C로 두께가 30 μ m 가 되도록 증착하면 비정질 Se이 얻어진다. 이와 같은

비정질 Se은 암흑상태에서 比抵抗이 $10^{12} \sim 10^{14} \Omega \cdot cm$ 정도이고, p형의 반도체 특성을 나타낸다. Se의 광흡수는 550 μ m로부터 자외부이고, 최대흡수는 400 μ m(3.1 eV)에 있다. Te의 첨가에 의하여 감광과장 영역을 가시부 전체 영역으로 확대 가능하지만, 저항치가 감소하므로 Te이 6~8% 혼합된 것이 최적적이다. 이 관계를 그림12에 나타내었다. 또한 전자사진 감광층의 코로나 방전에 의한 帶電特性을 그림13에 나타내었다. 수백V의 표면전위는 코로나 방전을 끈후에도 암감쇄가 적다. 그러나 광조사에 의한 전위는 급격히 감소한다.

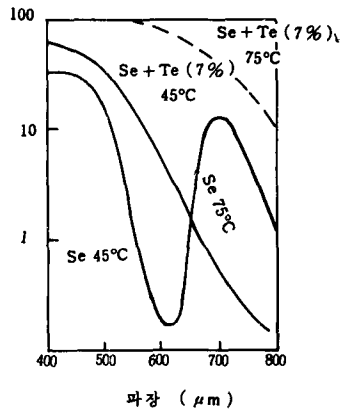


그림12. Se 증착막의 분광 감도곡선(온도는 기판온도)

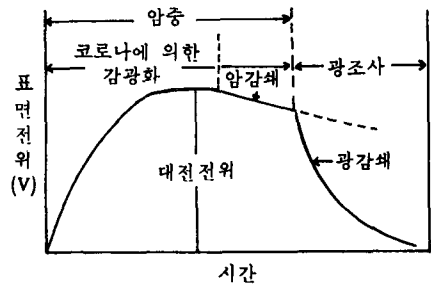


그림13. 전자사진 감광층의 정전특성

Se감광관의 코로나 방전에 의한 帶電의 모델은 그림14와 같다. 감광관은 전기적으로 障壁層, bulk층, 境界層, 電導性 支持체의 4층으로 되어 있으며, 장벽층은 표면의 (+)전하가 bulk로 주입되는 것을 방해하고 있다. Bulk층은 유전체이고 열적으로 勵起된 캐리어는 무시하며, 비교적 얇은 전자 트랩을 갖고, 경계층에 가까울수록 농도가 크다. 금속과 감광층과의 경계

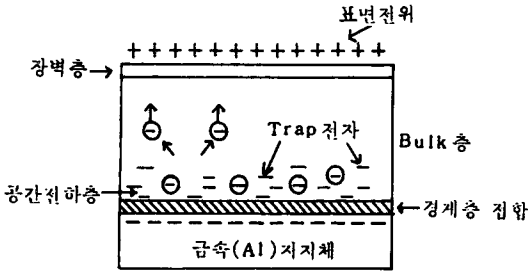


그림 14. 전자사진 감광판의 표면전위의 암감쇄 모델

층 접합은 대전에 의한 전계에 의하여 금속으로부터 bulk로 전자의 주입을 방해하는 장벽층이 되어 있으며 bulk층 내의 자유전자는 표면의 (+)전계에 끌려 표면의 (+)전하를 중화한다.

한편 광조사에 의한 표면전하의 光減衰는 그림 15에 나타내는 바와 같다. 흡수계수가 큰 광을 조사하면 광은 표면층에서만 흡수되고 그 부분에 전자-정공을 만든다. Se의 경우 P형이기 때문에 정공은 支持体의 (-)전하에 끌려 금속판 쪽으로 이동한다. 전자는 표면의 (+)전하를 중화시켜 표면전위를 감소시킨다. 정공은 bulk로 이동중에 정공트랩에 포획되어 殘留電位로 작용한다.

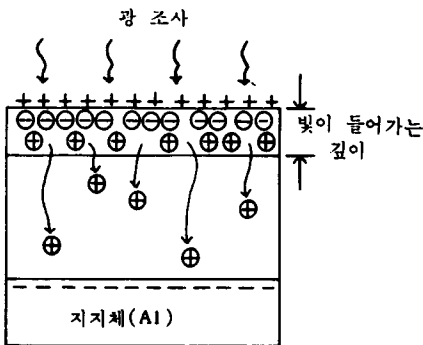


그림 15. 광조사에 의한 비정질 Se의 정공전도와 trap의 모델

1954년 RCA社에서 개발한 electro-fax 방식은 粉末狀의 光電導性 반도체와 結着劑수지에 의한 感光層을 형성한 것이다. 원리적으로는 제록스 방식과 동일하지만 감광층상에 형성된 토너화상은 転寫를 행하지 않고, 그대로 감광층 표면에 정착되어 hard copy가 된다는 점이 다르다. 이 방식에서 실제로 사용되고 있는 분말반도체^[12,13]는 주로 산화아연이며, 그 구조는 그림

16과 같다. 산화아연 이외에 산화납, 산화티탄과 같은 산화물, 황화카드미움, 황화아연과 같은 황화물, 그외에 Se화합물, Te화합물, 금속간 화합물, 유기반도체^[14] 등이 사용되고 있다.

산화아연은 n형 반도체로서 단결정 산화아연은 가시광에 대해서 투명하고, 전기저항은 실온에서 $10^2 \sim 10^6 \Omega/cm$ 정도이며 전도대에 있는 자유전자 농도는 $10^{16} \sim 10^{18}$ 개/cm³ 정도이다. 전자사진용의 분말상태의 산화아연은 입자지름이 0.05 ~ 1μ 정도의 미립자이고 가시광을 산란하기 때문에 백색의 분말로 보인다. 산화아연 분말의 대기중에 대한 자유전자 농도는 10^{16} 개/cm³ 정도의 값이 되고, 단결정에 비해 전기저항 ($10^{10} \sim 10^{14} \Omega/cm$) 이 현저하게 크다.

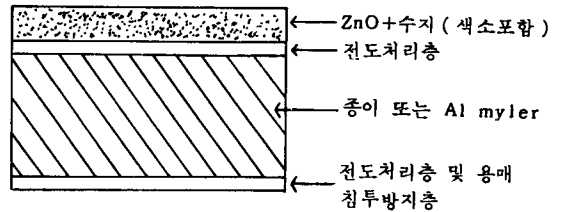
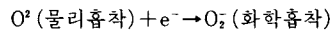
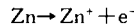
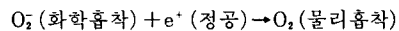


그림 16. 산화아연 감광지의 구조

자유전자는 실온에서 이온화된 격자간 아연원자로부터 공급되며 산화아연 표면에서 물리흡착된 산소에 트랩되어 표면전위 장벽을 형성한다.



따라서 분말의 입자지름이 작을 수록 比表面的이 크게 되고, 산화아연의 광학적 성질은 표면이 지배적으로 영향을 끼친다. 이와같이 산화아연은 단결정 일때는 반도체이지만 분말 일때는 화학 흡착된 산소 때문에 절연체가 되어 버린다. 이 에너지 밴드 모델을 그림 17에 나타냈다. 산화아연의 고유흡수광 (385μm) 을 照射하면 전자-정공이 결정 내에 생성되고 정공은 (+)의 전하를 갖고 있기 때문에 표면화학흡착 산소 O₂에 트랩되며 전자는 전도대에서 전도에 기여한다.



이렇게 해서 산화아연의 표면으로부터 산소의 光脱着이 일어난다. 이와같이 표면전위장벽의 감소와 전도전자의 증가에 의하여 광전도가 관측된다.

산화아연은 자외부에 광감도를 나타내는 백색이지만 색소증감에 의하여 가시부에 감도를 갖게할 수 있다. 이 방법으로는, 산화아연을 H₂S로 처리하면 ZnO 표

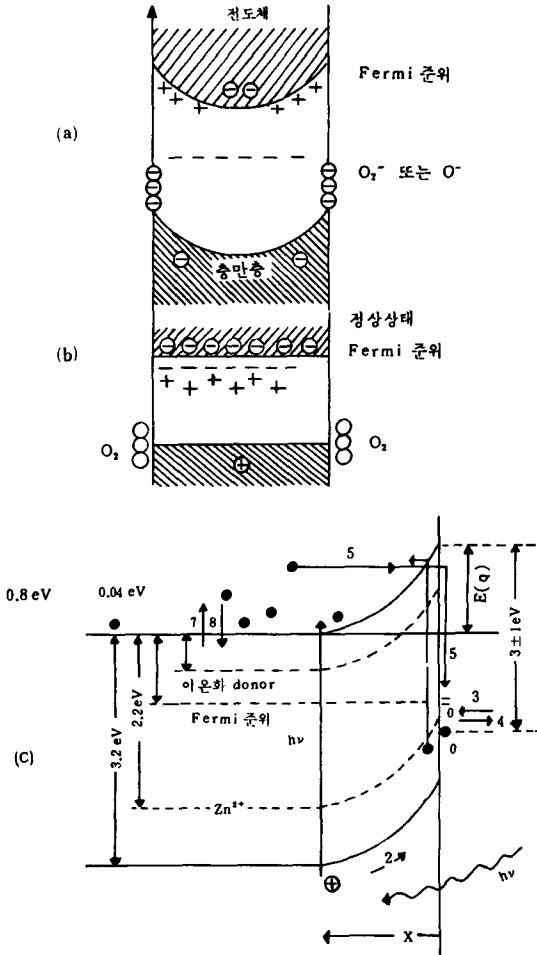


그림 17. 산화아연 입자의 band model

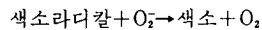
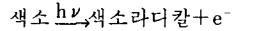
- (a) 산화아연 미분말에 산소가 화학흡착한 상태
- (b) 광탈착한 상태
- 1, 2 : 광흡수에 의한 정공-전자대의 생성
- 3, 4 : 물리흡착 산소와 분위기 개소와의 교환
- 5, 6 : 표면의 전자레벨과 전도대와의 전자 교환
- 7, 8 : donor 준위와 전도체와의 전자교환

면에 ZnS의 박막이 형성되고 그것을 가열하면 불균 일한 ZnO와 ZnS의 錯化合物이 생성된다. 이와같이 열처리된 ZnO는 (+), (-)의 어느쪽의 코로나로도 대전 가능하며 이때 광감도가 증가한다.

粉末狀 無機半導體의 감광과장 영역을 확장시키기 위하여 색소증감(혹은 분광증감)을 한다. ZnO, CdS, TiO₂ 등의 粉末狀 無機半導體와 유기반도체에 대해서 증감색소가 되는 것은 대단히 많은 종류가 있으며 일

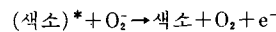
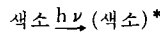
반적으로 실험된 색소의 대표적인 예는 트리페닐메탄 계 색소, 크산틴계 색소, 시아닌계 색소 등을 들 수 있다. ZnO는 400 μm 이하의 자외선 광에 의하여 광전 도를 일으키지만 가시광에서는 감도를 갖고 있지 않다. 그러나 ZnO에 증감색소를 흡착시키면 색소가 흡수하는 가시부로부터 적외부에 걸쳐 광범위하게 광감도를 나타낸다. 증감색소로서는 -COOH, -SO₃H, -OH 등의 極性基를 갖는 것이 ZnO 표면에 강하게 흡착되어 유효한 증감성을 나타낸다. 메칠렌블루, 크리스탈바이 오렛 등의 염기성 색소는 일반적으로 ZnO에 대한 흡착이 약하고 증감성 또한 낮지만 ZnO를 루이스산에 의하여 표면처리를 행하면 이러한 색소도 잘 흡착하여 증감이 이루어 진다고 알려지고 있다. 색소증감의 메카니즘에 대하여는 아직 정확하게는 알려지지 않았으나 현재 전자이행설과 에너지이행설의 2가지 메카니즘이 제안되고 있다.

전자이행설은 다음과 같이 설명된다. ZnO 표면에 흡착된 색소는 광흡수에 의하여 여기되고 그 여기전자 에너지 준위가 반도체의 전도대의 에너지 준위보다도 높은 경우는 여기전자는 색소로부터 반도체의 전도대에 주입되어 전도에 기여한다. 전자를 준 색소 라디칼은 화학흡착 산소 O₂와 결합해서 기저상태의 원래의 색소로 돌아가고 동시에 물리흡착 산소가 생기며 ZnO의 전위장벽이 감소한다.



원래상태로 돌아간 색소분자는 광흡수-여기-ZnO에 전자의 주입-화학흡착 산소로부터의 전자공급의 과정이 반복된다.

에너지이행설은 다음과 같이 설명된다. 흡착색소가 광흡수에 의하여 여기되고 勵起三重項狀態로 된다. O₂와 같은 표면트랩준위에서 그 에너지를 준 전자를 여기해서 반도체의 전도대에 주입한다. 주입된 전자는 전도에 기여하며 물리흡착산소가 생기고 색소는 다시 기저상태로 돌아간다.



따라서 ZnO의 표면 전위장벽이 감소하고 그 과정은 반복된다. 여러 종류의 감광성 물질이 색소에 따라 분광증감되는 것은 실용적으로 銀塩寫眞, 電子寫眞, 光重合폴리머 등에 대해서는 극히 중요한 현상이다.

VI. 맺는말

이상 광센서를 중심으로 한 光檢出器와 image 센서

및 그 응용에 대하여 간략하게 살펴보았다. 여기서 언급한 것 외에도 많은 광검출기 및 image 센서들이 있으나 다음기회에 언급하기로 한다.

Imaging 시스템에 있어서 입력된 화상신호를 화상처리한 경우, 데이터양이 더욱 막대해짐과 동시에 고속처리가 요구되고 있다. 이러한 정보처리에는 고속메모리로서 磁氣디스크, 磁氣테이프 및 光디스크 등이 쓰여지기 시작하고 있다. 앞으로도 메모리 디바이스의 高密度 小型化, 高速化 및 저렴화에 대한 연구가 계속 될 것이며, 특히 컴퓨터에 의한 디지털 수치 처리에 의한 급속한 발전은 醫用, 산업, 우주용등의 화상정보처리에 실용화의 박차를 가하고 있는 실정이다. 그러나 첨단기술을 표방하고 있는 우리로서 image에 대한 연구가 다소 부진한 것은 아닌가 자문자답해 본다. 아울러 본 image 센서 해설은 高橋 清 編著의 “센사技術入門”에서 많은 참고를 했음을 밝혀둔다.

參 考 文 獻

- [1] 和久井孝太郎, 印刷雜誌, 67, 3, 1984.
- [2] 月見里礼次郎, 吉田兼記, “イメージング テクノロジー”, 化學と工業 第38卷, 6號, pp. 422~425, 1985.
- [3] 高橋清編著, “센사技術入門”, 工業調査會, pp.

- 40, 1979.
- [4] K. Nishida, J. Matsui & M. Nakajima, Meeting of Electrochem. Soc. Extend. Abs., pp. 450, 1971.
- [5] W.S. Boyle & G.E. Smith, Bell Syst. Tech. J., 49, 587, 1970.
- [6] F.L.J. Sangstar & K. Teer, IEEE J. Solid state Circuits, SC-4, 131, 1969.
- [7] 鈴木, 水島 Japan J. Appl. Phys. Supplement, 41, 40, 1972.
- [8] R.M. Schaffert, *Electro-photography*, The Focal Press, 1965.
- [9] W. Wiedemann, The 2nd International Conference on Electrophotography, Oct., 1973.
- [10] C.F. Carlson: U.S. Pat. 2, 297, 691, 1938.
- [11] H.W. Henkels, *The Electrical Properties of Selenium*, doctorate dissertation Univ. of Pennsylvania, 1953.
- [12] 篠原功, 土田英俊, 草川英昭編著, 記録用材料と感光性樹脂, 學會出版センター, pp. 33, 1979.
- [13] 日本化學會編, “無機光化學”, 學會出版センター, pp. 180, 1983.
- [14] 電子寫眞學會, “シンポジウム電子寫眞用有機感光体の現状, 1985. *

電子工業 技術人力 便覽 發刊

금번 본 학회에서는 산학협동위원회의 주관으로 '84년부터 추진해 오던 전자공업기술인력카드를 수집, 편집하여 電子工業技術人力便覽으로 발간하기에 이르렀습니다.

電子工業技術人力便覽에는 각 대학교, 연구소 및 산업체에서 전자공학 및 인접학문 분야의 전문직에 참여하시는 분들의 기술인력을 조사, 수록하였습니다. 電子工業技術人力便覽이 여러분에게 많은 도움이 되리라고 생각합니다.

이에 대한 자세한 문의는 학회 사무국(568-7800, 568-7489)으로 연락하여 주시기 바랍니다.