

## 비정질 실리콘 이미지 센서



류재일  
(경희대 물리학과)



장진  
(경희대 물리학과 교수)

### 1. 센서의 정의

인간은 센서(sensor)라는 단어가 생기기 전부터 센서를 이용했다. 나침반으로 방위를 감지했고 온도계를 만들어 온도를 측정했다. 센서라는 단어는 인간의 오감(시각, 청각, 미각, 촉각, 후각) 및 상태를 총칭하여 표현하는 라틴어의 "sens(-us)"에서 유래된 것으로, 1967년 미국의 McGraw-Hill 출판사가 펴낸 "English-German Technical Engineering Dictionary(2nd ed.)"에서 최초로 출현하였다. 센서는 인간의 감각 기관에 잘 비유되는데, 인간은 눈과 귀로 사물과 소리를 인식하고, 피부로 촉감과 온도를 감지한다. 이것에 대응하는 역할을 하는 것이 물리량 감지 센서이며, 코와 혀로 냄새와 맛을 식별하는 역할에 대응하는 것이 화학량 감지 센서이다. 현재 사용되는 센서에는 인간의 오감을 모방하는 것 뿐 아니라, 오감의 한계를 넘는 높은 감도를 가진 것(온도, 각속도, 속도 센서 등)이나 오감으로는 얻을 수 없는 정보를 감지하는 것(자기, 가스, 초음파센서 등) 또는 인간이 들어갈 수 없는 가혹한 환경의 정보를 감지하는 것(방사선센서 등)도 있다. 그림 1에는 인간의 오감에 비유되는 센서의 종류를 보여주고 있다.<sup>1)</sup>

센서의 정의는 관점에 따라 개념적 차이가 상당히 클 수 있지만, 대체로 "측정 대상의 물리량이나 화학량을 선택적으로 포착하여 유용한 신호(주로 전기적 신호)로 변환, 출력하는 장

치"라고 정의할 수 있다. 센서는 외부로부터의 자극이나 신호를 선택적으로 감지해야 하는 본질적 기능과 이 감지된 원초적 신호를 유용한 전기적 신호로 변환하는 기능을 갖추고 있어야 하며, 기본적으로 우수한 감도(sensitivity), 선택도(selectivity), 안정도(stability) 및 복귀도(reversibility)를 갖추어야 한다. 이것을 센서의 특성상 필수적으로 구비해야

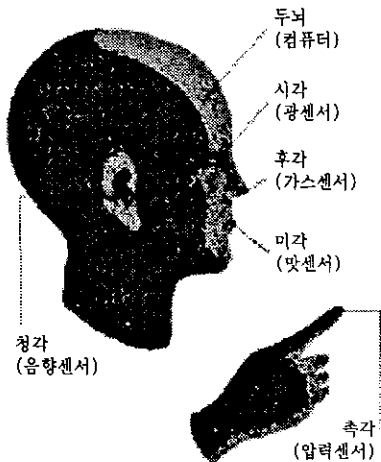


그림 1. 인간의 오감(시각, 청각, 미각, 촉각, 후각)에 비유할 수 있는 센서

할 기본요건(basic requirements)이라 하며, 이 기본요건 중에서도 가장 중요한 것은 감도이다. 또한 센서는 기본적인 요건 외에도 높은 기능성, 적용성, 규격성, 생산성, 보존성 등의 다양한 부대요건(subsidiary requirements)을 구비해야 한다. 이러한 기본요건 및 부대요건을 우수하게 많이 구비할 수록 센서는 높은 신뢰성(reliability)을 갖는 것이다.

센서의 그 기준에 따라 매우 다양하게 분류할 수 있다. 센서의 재료나 검출하고자 하는 대상, 센서의 구성 방법, 검출의 원리나 검출된 신호의 방식, 센서의 기능, 에너지 변환 방식 및 센서의 응용에 따라서 분류가 가능하다. 표 1에는 대략적인 센서의 분류가 제시되어 있으며, 표 2는 센서 재료에 따른 응용에 대한 분류가 나타나 있다.

표 1. 센서의 분류

분류방식	센서의 종류
구성 재료	반도체센서, 금속센서, 세라믹센서, 고분자(유기물)센서, 효소센서, 미생물센서, 복합재료센서 등
검출 대상	광센서, 방사선센서, 기계량센서, 전자기센서, 음파(초음파)센서, 온도센서, 습도센서, 성분센서 등
구성 방법	기본센서: 광, 음향, 가스, 압력, 온도, 자기, 습도, 바이오센서 등 조립센서: 유량, 유속, 속도, 거리, 위치, 변위, 중량, 가속도, 회전수, 회전각, 레벨, 두께센서 등 응용센서: 로봇용, 자동차용, 우주탐사선용, 방화용, 사무기기용 센서 등
검출 원리	물리센서, 화학센서, 생물센서
검출 신호	아날로그센서, 디지털센서, 주파수형 센서, 두값형 센서
작용 방식	능동형센서, 수동형센서
검출 방식	광학적, 역학적, 열역학적, 전자기적, 전기화학적, 촉매화학적, 효소화학적, 미생물학적 등
센서 기능	전기센서, 속도센서, 자기센서, 가속도센서, 광센서, 변위센서, 유량센서, 방사선센서, 압력센서, 유속센서, 분석센서, 진동센서, 진공도센서, 바이오 센서, 음향센서, 온도센서 등
변환에너지 공급방식	에너지변환: 태양전지, 압전형 가속센서, 열전대, 형상기억합금 등 에너지제어: 포토트랜지스터, 포토다이오드, 서미스터 등
응용 분야	가전기기, 자동차, FA, OA, 메카트로닉스, 연구, 산업기기, 농수산용 등

표 2. 센서 재료에 따른 응용분야

센서재료	응용분야	
반도체	실리콘	광센서, 압력센서, 가속도센서, 진동센서, 유량센서 등
	III-V 족	Photo emission diode, laser diode, solar cell, infrared photodetector, visible photodetector 등
	II-VI족	Photoconductive cell, photo emissive diode, solar cell, ultrasonic device 등
세라믹	저항변화	온도, 가스, 습도, 이온센서 등
	자성변화	온도센서 등
	압전효과	위치, 가속도, 속도센서 등
	초전효과	온도, 광, 가스, 이온센서 등
	유전율변화	습도센서 등
광 파이버	편광	전류, 전압, 온도센서 등
	위상	전류, 전압, 온도, 유속, 진동, 압력센서 등
	광량	온도, 진동, 압력, 음향, 이미지센서 등
	주파수	유속, 가속도, 진동, 압력센서 등
고분자복합재료	습도, 산소, 가스, 이온, 생화학센서 등	

## 2. 센서의 종류

응용범위가 다양하여 여러 장치들의 부품으로 널리 사용되는 센서를 다음에 있어서, 다음의 응용분야에 따른 주요 센서(광센서, 온도센서, 레벨센서, 유량센서, 압력센서, 길이/변위센서, 습도센서, 가스센서, 기타 센서)의 원리나 특징을 간략히 살펴봄으로서 센서에 대한 이해를 도울 수 있다.

### 2.1 광센서

광센서는 입사한 광에너지로 여기된 전자에 의해 발생한 도전율의 변화와 기전력을 이용하는 양자형(포토다이오드, 포토트랜지스터 및 비정질 실리콘 박막 트랜지스터)과 적외선 에너지의 흡수에 의한 온도변화를 이용하는 열형(초전형 적외선센서와 서모파일 thermopile)이 있다. 양자형은 감도와 응답성은 양호하지만, 파장 의존성이 있고, 열형은 양자형과는 반대로 파장 의존성은 없으나 감도가 낮은 경우, 응답속도가 지연되는 단점이 있다.

### 2.2 온도센서

일반적인 온도센서로는 열전대(bimetal 서미스터(thermister) 그리고 백금온도센서가 있다. 두 종류의 금속선 접합점 사이의 온도차에 의해 발생하는 열기전력(제어백 효과)을 이용하여 넓은 범위의 온도(-270~2600 ℃)를 측정할 수 있는 온도센서를 열전대(bimetal)라고하며, JIS 규격은 K/E/J/T/B/R/S 등의 열전대가 있다. 서미스터는 'Thermally Sensitive Resistor'로부터 유래된 말로서, 음의 온도계수를 가진 것을 NTC서미스터, 양의 온도계수를 가진 것을

PTC서미스터라고 부른다. NTC서미스터의 대부분은 Mn, Ni, Co, Cu 등의 금속산화물 반도체로 만들어지며, 일반적으로 서미스터라고 하면 NTC타입을 의미한다. 온도가 올라가면서 저항값이 증가하는 (양의 온도계수) 금속의 성질을 이용한 온도센서가 '온도측정저항체'이다. 저항체로는 백금, 동, 니켈 등이 있는데, 백금은 융점(1786 ℃)이 높고, 화학적, 전기적으로 안정되어 있으며, 탄성이 우수하고 가늘게 가공이 가능하며, 저항온도특성이 직선에 가까워서 온도센서를 제작하기에는 적합한 재료이다. 백금을 이용한 온도측정센서는 특성이 안정적이며, 측정온도의 범위가 -200~650 ℃로 넓어서 정밀한 온도측정이 가능하다.

### 2.3 레벨센서

저장, 반응용기에 있는 액체나 고상분체 등의 양을 파악하거나 배관, 용기에서 흐름유무를 파악하고자 할 때 사용되는 센서로서 측정방식에 따라 접촉식과 초음파식, 진동식, 방사선식 등의 비접촉식으로 구분할 수 있다.

### 2.4 유량, 유속센서

유체의 종류와 흐름상태, 온도와 압력, 설치 장소 등에 따라 풍속센서, 유체센서(flow sensor) 등이 있다. 풍속센서는 공기의 흐르는 속도 또는 풍량을 계측하는 센서로서, 온도센서를 자기발열시켜 풍속과 센서의 발열량이 비례하는 것을 이용하고 풍속을 전압으로 변환하여 계측한다. 풍속센서의 풍력검출 소자에는 백금선 등의 열선이 일반적이지만 최근에는 서미스터와 트랜지스터 등을 이용하는 반도체 방식도 있다. 유체센서는 감지부 내부에 내장된 발열원이 매체(액체나 기체)의 흐름에 따른 에너지량의 변화를 평가하여 스위칭 출력하는 calorimetric 원리에 의해 작동한다.

### 2.5 압력센서

변위, 변형, 자기, 열전도율, 진동수 등을 이용하여 압력을 계측한다. 통상적으로 압력으로는 게이지압: 대기압을 기준으로 그보다 큰 경우에는 '+'압, 작은 경우에는 '-'압으로 표시한다. 통상 압력이라고 하면 이 게이지압을 의미한다. 차압: 두가지 유체간의 압력차를 말하며, 절대압: 게이지압과 차압은 상대적인 압력이지만, 진공을 기준으로 하면 절대압이 된다. 즉 기압계 등으로 사용하는 압력센서는 이 절대압을 측정한다. 일반적인 응용은 반도체식 압력센서가 고감도 저가격이지만, 100 ℃를 넘는 고온에서의 사용이나 부식가스내에서와 같은 악조건에서의 압력 측정은 반도체식 이외의 압력센서가 사용된다.

### 2.6 길이/변위센서

거리 또는 위치변화를 아날로그값으로 취할 수 있는 센서를

의미하며 회전위치센서, 직선위치센서, 초음파나 레이저를 이용한 거리센서, 그리고 진동, 가속도센서가 있다.

회전위치센서는 FA(Factory Automation)와 OA(Office Automation)분야에서 모터와 로봇 등의 제어용으로 없어서는 안되는 중요한 센서이며, 단순한 회전량 외에도 회전속도 검출센서로도 이용되고 있다. 포텐셜메터와 같은 아날로그 방식과 리졸버와 같은 아날로그식이면서도 절대각도의 정밀측정이 가능한 센서도 있다.

직선위치센서는 기계적인 변위량과 거리, 길이를 측정하는 센서로서 로터리 엔코더(회전위치센서)와 마찬가지로 FA와 OA분야에서 많이 사용되고 있다. 직선위치센서는 마이크로 스위치와 리미트 스위치 등이 있지만, 접촉식은 수명과 신뢰성 정밀 검출에 한계가 있어서 현재는 비접촉식이 주로 사용되고 있다.

초음파센서는 음파의 메아리 현상을 이용한 것으로, 음파를 발생시키는 emitter에서 발생한 음파가 되돌아온 시간차를 분석하여 물체의 유무를 감지한다. 레이저센서는 광삼각 방식을 이용한 정밀 거리 측정장치로 수십 cm에서 수 m 지점에 있는 물체의 거리를 정밀하게 측정할 수 있으며, 소형 레이저 포인터 범 생성 광학계 및 고해상도 linear CCD(Charge Coupled Device) 영상 광학계로 구성된다.

진동센서와 가속도센서는 충격 또는 가속도를 측정하는 센서로서, 일반적으로 물체에 응력을 가하면 전기를 발생하는 압전소자를 이용할 수 있다.

### 2.7 습도센서

습도센서의 측정방식은 물분자나 수증기가 가지는 물리적인 성질을 이용하는 것과 흡수형 물질의 물리적 변화를 이용하는 것이 있다. IC제조기술과 센서의 복합화에 따라 FET(Field Effect Transistor)습도센서나 박막형 온습도센서 및 수정습도센서가 개발되었다.

### 2.8 가스센서

가스센서는 메탈가스와 프로판가스 등의 가연성가스 또는 CO와 유화수소 등의 독성가스 외에 알코올 등 각종 가스농도를 검출하는 센서로서, 저위, 진류, 공진주파수, 전기전도도, 열량, 열전도도, 굴절률, 흡수파장, 광흡수량 등의 물리량을 이용하여 가스를 검출하거나, 화학반응, 전기화학반응, 화학적흡착, 화학발광 등의 화학적 성질을 이용하여 검출하는 방법이 있다.

### 2.9 기타

그외에도 Shunt저항형, CT형, Hole CT형, 공심형, 플렉스 게이트, 광파이버형 등의 전류측정센서나, Hall 효과를 이용한 소자와 앰프를 내장한 Hall IC, 자기저항효과를 이

용한 자기저항소자, B-H 커브를 가진 코어를 자기포화 할 때 발생하는 고주파를 이용한 플렉스케이프형 자기센서 등이 있다. 또한 생물을 뜻하는 바이오와 센서를 결합한 신조어인 바이오센서는 당뇨병을 체크하는 혈당센서에서 유래하였는데, 생명공학과 관련, 한국기업이 도전할 만한 분야로 손꼽힌다.

### 3. 비정질 실리콘을 이용한 이미지센서 (Image Sensor)

이상에서 여러가지 센서에 대하여 간략하게 살펴보았다. 이후로는 21세기의 새로운 센서의 개척 분야로 주목받고 있는 비정질 실리콘을 이용한 이미지센서(혹은 광센서)의 원리와 응용에 대하여 기술한다.

일반적인 광센서는 포토다이오드나 포토트랜지스터가 있다. 포토다이오드는 입사광량에 따른 출력전류의 직선성이 좋으며, 온도변화에 따른 변화가 적으며, 응답속도가 빠르고, 측정 오차가 적은 특징을 가지고 있다. 이미지 센서는 이러한 광센서가 화소로 구성되는 어레이(array)를 구성한 센서로 생각할 수 있는데, CCD(Charge Coupled Device)와 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) 이미지센서 그리고 비정질 실리콘을 이용한 이미지센서가 있다.

CCD는 1969년 Bell Lab의 Boyle, Smith에 의해 그 구조가 제안된 이래 영상 신호를 전기 신호로 바꿔 주는 "전자 눈"의 역할을 하는 반도체 소자이다. 반도체의 눈부신 발전에 힘입어 가정, 교육, 의학, 산업, 우주 산업 등에 이르는 넓은 응용 분야를 가진다. CCD는 영상 입력을 필요로 하는 분야에서는 중요한 역할을 하고 있으며 사람의 눈, 사진기의 필름과 같은 역할을 하는 반도체 소자이다.

CMOS 이미지센서(혹은 접촉 이미지센서)는 1967년 FairChild, RCA등이 활발히 개발을 하기 시작한 이후, 1979년 일본의 Hitachi사가 개발에 주력을 하다가 Fixed Pattern Noise (FPN)를 비롯한 noise 문제로 인하여 화질이 CCD에 비해서 열등하고, CCD에 비하여 회로가 복잡하며, packing density가 낮고 가격 측면에서 CCD에 비해서 차이점이 없고, chip size가 큰 이유로 인하여 1989년에 MOS형 이미지센서의 개발을 포기하고 CCD 개발로 전환을 하였다. 그 이후 1990년 NHK/Olympus에서 amplified MOS Imager (AMI)를 발표하였고, 1993년 Edinburgh 대학에서 최초의 CMOS형 camera chip을 발표한 이후로 같은해 JPL에서 CMOS형 Active Pixel Sensor(APS)를 발표하여, 1995년 이후 미국 대학 및 연구기관에서 본격적인 CMOS 이미지 센서에 대한 개발이 시작되었다.

특징을 살펴보면 CCD 이미지센서의 경우 공정이 CMOS에 비해서 상대적으로 어렵고, CMOS의 경우 random access가

가능하나, CCD는 불가능한 점 등이 있다. 1990년대 후반 및 최근에는 CMOS 공정기술의 발달 및 signal processing algorithm의 개선등으로 인하여 기존의 CMOS 이미지센서가 가지고 있던 단점들이 극복되기 시작하였으며, 나아가서 선택적으로 CCD 공정을 CMOS에 적용하여, 제품의 질이 기존에 비해서 훨씬 개선되었으며, 이미지센서의 시장용 CCD와 양분할 정도로 기술력이 급격히 상승하고 있다. 그러나 CCD나 CMOS 이미지센서의 경우에는, 이미지를 얻기 위한 광학계를 필요로 하여 디바이스의 부피가 증가하고 추가의 광학 장치를 설치하여야하는 단점이 있다.

비정질 실리콘을 이용한 이미지센서는 어레이 구성방식에 따라 리니어(linear) 이미지센서와 2D(Dimensional) 이미지센서가 있다. 일반적으로 리니어 이미지센서는 팩시밀리(facsimile)나 디지털 복사기(digital copying machine) 등의 영상처리 장치에서 영상 판독기(image reader)로 사용되며, 2D 이미지센서는 정보화 시대로 발전함에 따라 개인을 식별하는 인식장치인 지문 감식기, 디지털 X-ray 검출기나 문서 입력장치 등에 적용되고 있다. 그림 2에는 해상도와 검출 면적에 따른 리니어 및 2D 이미지센서의 응용예가 나타나 있다.<sup>[2]</sup>

이러한 영상 판독기로 사용되는 이미지센서는 내부(혹은 외부) 광원으로부터 빛을 받아 피사체에 반사된 빛의 세기에 따라 비정질 실리콘에서 전자-정공쌍이 형성되어 전하를 발생시키고, 화소의 캐패시터에 전하를 저장하며, 저장된 전하를 구동회로를 통해서 외부로 출력하는 장치이다.<sup>[3]</sup> 특히, 광센서를 구성하는 어레이 패널(pannel)의 제조 공정은 TFT-LCD(박막 트랜지스터 액정표시장치: Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)의 그것과 유사한 여러 가지 단계의 공정들

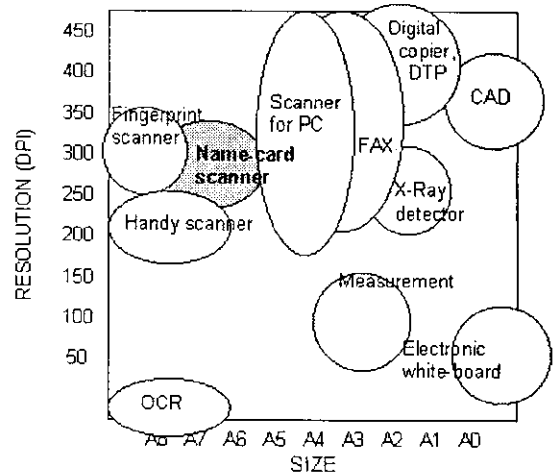


그림 2. 해상도 및 검출 면적에 따른 이미지 센서 응용의 예

이 복합적으로 이루어져 있으며, 광센서의 일부분인 TFT가 형성되는 부분은 여러 번의 포토리소그래피(photolithography) 공정을 거쳐야 한다. 또한 광센서는 두개 이상의 TFT가 배열 되어 있으며, 광원에서 피사체로 빛을 받아들이는 개구부가 구성되어 있다.

상술한바와 같이 빛을 받아 동작하는 광센서는 일반적으로 다이오드와 같은 2 단자 소자가 쓰였으나, 근래 들어 반도체 산업의 발전에 따라 3 단자 소자인 TFT가 사용된다. 특히 광센서의 감지부는 액티브층(active layer)이 비정질 실리콘인 TFT가 사용되는데, 이는 비정질 실리콘이 빛에 민감한 성질을 띄고있기 때문이다. 즉 비정질 실리콘 박막이 빛에 노출되면 전기전도도가 크게 변함으로 인해 저항이 암상태(dark state)와 비교해서 작아지게 된다. 이미 기술한 바와 같이 비정질 실리콘 TFT는 암상태와 광상태에서의 전기적 특성이 변화되는데, 이러한 특성을 이용한 장치가 비정질 실리콘을 이용한 TFT형 광센서이다.<sup>(4)</sup> 그림 3에서는 경희대에서 개발한 3단자 소자인 TFT형 광센서의 암전류와 광전류의 전류비(Dynamic Range)를 보여주고 있다.

그림 4에는 LG-Philips LCD사에서 SID'00에서 발표한

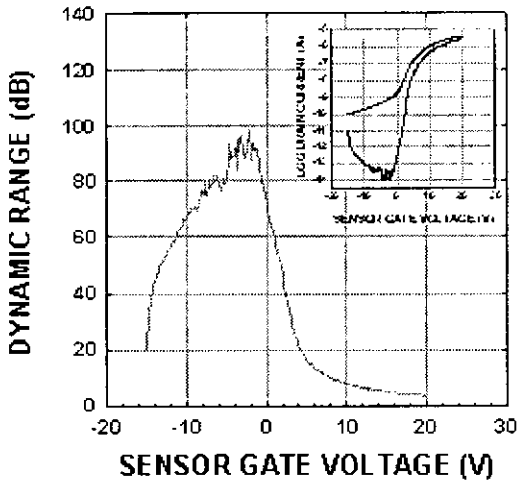


그림 3. TFT형 광센서의 암전류와 광전류의 전류비(Dynamic Range)

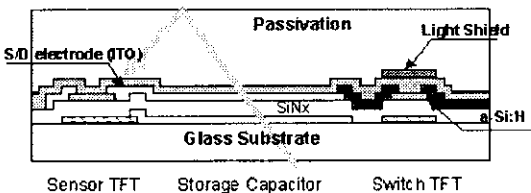


그림 4. 비정질 실리콘 박막 트랜지스 터형 광센서의 단면도

비정질 실리콘 TFT형 광감지소자의 단면도가 나타나 있다.<sup>(5)</sup> 스위치 TFT, 충전 캐패시터 그리고 센서 TFT의 세부부분으로 구성되며, 충전 캐패시터부는 투명전극을 사용하여 개구부를 동시에 형성함으로써 감광도를 향상시켰다.

비정질 실리콘을 이용한 2D 이미지 센서는 빠른 이미지 처리속도, 이미지의 디지털 데이터화, 고해상도, 경량, 박형 등의 장점들로 인해서, 주로 지문 감식기, 디지털 X-ray 검출기나 문서 입력장치 등에 적용되고 있다.

의학용으로 널리 사용되고 있는 진단용 X-ray 검사방법은 X-ray 감지 필름을 사용하여 촬영하고, 필름 현상과 인화과정을 거쳐게 된다. 이러한 방법은 검사결과를 얻기위한 시간이 필요하고 필름보관에 따른 공간 및 분실, 훼손의 문제를 가지고 있다. 근래에 들어서 이러한 단점을 극복할 수 있는 비정질 실리콘을 이용한 디지털 X-ray 이미지센서가 연구, 개발되었다. 디지털 X-ray 이미지센서는 비정질 실리콘 TFT를 스위칭 소자로 사용하며, 수광부를 비정질 실리콘 TFT나 PIN 다이오드로 구성한다. 자료의 디지털 데이터 베이스화가 가능하며, 원격지의 실시간 진료가 가능하고, 촬영에서 검사에 소요되는 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 장점이 있다. 그림 5에는 디지털 X-ray 이미지센서의 구조에 대한 모식도가 나타나 있다. 외부에서 입사된 X-ray가 이미지센서 상부에 위치하는 phosphor에 의하여 가시광으로 변환되며, 이미지센서의 수광부인 비정질 실리콘 PIN에서 이를 감지하여 이미지를 디지털화 하게 된다. 그림 6은 디지털 X-ray 이미지센서에 의한 영상의 예를 보여주고 있다.

지문 감식기와 문서 입력장치도 비정질 실리콘 이미지 센서의 중요한 적용예라고 할 수 있다. 인터넷을 통한 금융의 발달 및 개인 보안의 필요성 증대와 함께 지문을 이용한 개인 식별 장치의 중요성이 높아지고 있으며, 휴대가 가능한 소형 문서 입력장치의 수요도 증가하고 있다. 이에대한 적절한 해결방안으로 비정질 실리콘을 이용한 이미지 센서에 대한 연구, 개발

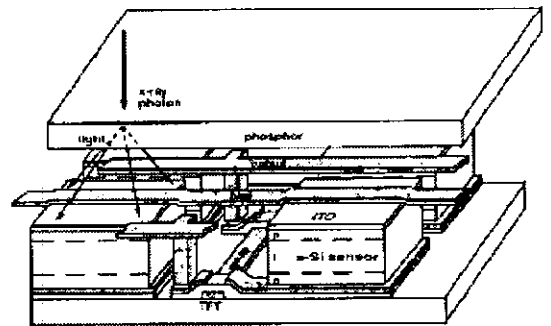


그림 5. 디지털 X-ray 이미지센서의 구조에 대한 모식도

이 활발하게 진행되고 있다. 그림 7은 비정질 실리콘 이미지 센서를 이용한 지문 감식기의 응용제품의 예를 보여주고 있으며, 그림 8에는 인포웨이브사에서 SID'00에서 발표한 비정질 실리콘 이미지센서를 이용한 문서 입력장치의 예가 나타나 있다.<sup>16)</sup>



그림 6. 디지털 X-ray 이미지센서에 의한 영상의 예

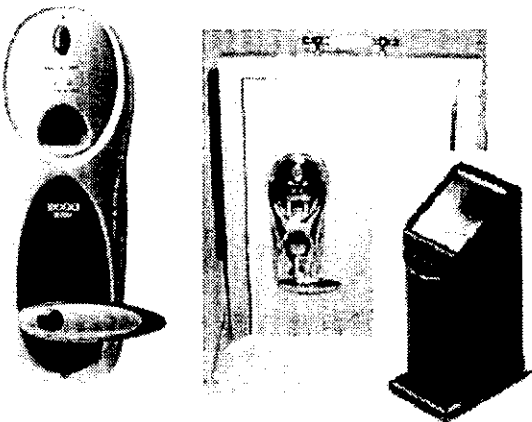
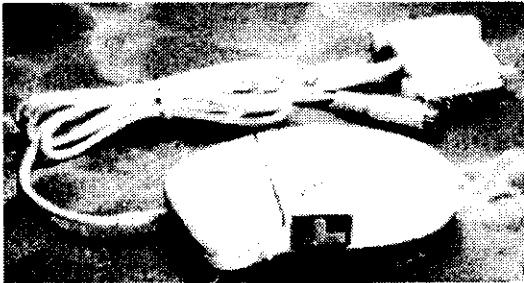


그림 7. 비정질 실리콘 이미지센서를 이용한 지문 감식기의 응용제품의 예

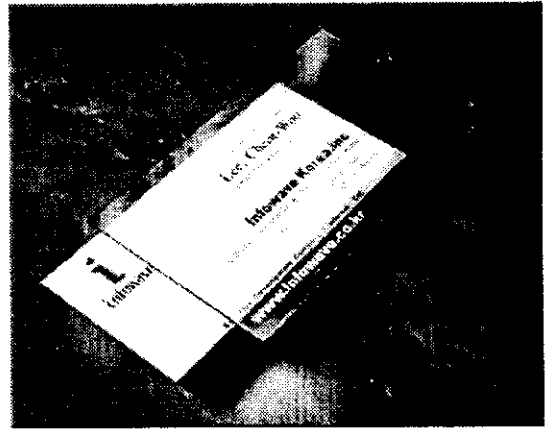


그림 8. 비정질 실리콘 이미지센서를 이용한 문서 입력장치의 예

#### 4. 맺음말

본고에서는 센서에 대한 정의와 응용에 따른 분류를 기술하였으며, 비정질 실리콘을 이용한 이미지센서(혹은 광센서)에 대한 원리 및 응용제품을 살펴보았다. 비정질 실리콘을 이용한 이미지 센서는 TFT-LCD를 비롯한 반도체 기술의 발달과 데이터의 디지털화를 향한 세계적 조류에 힘입어 활발히 연구, 개발되고 있다. 다양한 응용성을 가지는 센서분야에서 비정질 실리콘을 이용한 이미지 센서는 기존의 센서분야에서 실현하지 못한 소형, 박형, 고품질의 특성을 바탕으로 새로운 분야를 개척하였으며, 앞으로도 더 많은 연구, 개발이 수행되어 응용 분야를 넓혀갈 것이 예상된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] "Thin Film Resistive Sensors", edited by P. Ciureanu and S. Middelhoek (IOP Publishing, New York, USA, 1992) Chap. 1.
- [2] M. Hayase and H. Arita, "Full-contact type linear image sensor by amorphous silicon", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 192, 413~422 (1990).
- [3] S.M. Sze, Physics of semiconductor devices, (John Wiley & Sons, Inc. 1981, 2nd edition) Chapter 13.
- [4] M.J. Powell, I.D. French, J.R. Hughes, N.C. Bird, O.S. Davies, C. Glasse and J.E. Curran, "Amorphous silicon image sensor array", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 258, 1127~1137 (1992).
- [5] J.H. Kim, J.K. Lee, Y.G. Chung and B.J. Moon, 'Fingerprint scanner using a-Si:H TFT-array'.

SID 00 Digest, 353~355 (2000).

- (6) J.I. Ryu, S.H. Won, G.J. Jang, C.W. Lee, S.T. Jung and J. Jang, "A novel amorphous silicon phototransistor array for name card reading", SID'00 Digest, 356~359 (2000).

## 저 자 약 력

**성명 : 류 재 일**

**❖약력**

- 경희대학교 물리학과 전공
- 2001년 박사학위 취득예정
- 현 (주)실리콘디스플레이(SDTECH) 개발이사

**❖E-mail**

jailryu@tftlcd.khu.ac.kr

**성명 : 장 진**

**❖약력**

- 1977. 2            서울대 물리학과 학사
- 1979. 2            한국과학원 물리학과 석사
- 1982. 8            한국과학기술원 이학박사
- 1982. 8 ~ 현재    경희대 교수
- 1993. 1 ~ 현재    AMLOD국제 Workshop 및 SID 프로  
                          그램 위원회 위원