

CMOS 이미지 센서의 기술현황

과거에는 CCD 이미지 센서가 전자적으로 외부의 이미지 정보를 얻을 수 있는 거의 유일한 소자였다. 그러나, 1993년부터 미국 NASA에서 고화질의 이미지 센서 소자로 CMOS를 이용하려는 연구를 시작했다. CMOS 기술은 현재의 모든 메모리소자와 마이크로프로세서 등 실리콘을 사용하는 거의 모든 전자소자에 이용되고 있기에 CCD 이미지 소자에 비하여 여러 가지 장점이 있다. 특히, 단일칩으로 집적화된 CMOS 이미지 센서는 CCD 이미지 센서에 비하여, 전체 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있는 장점을 부가적으로 얻을 수 있다.

글 : 신경식, 주병권, 백경갑¹, 이영석², 김근섭³, 이윤희, 박정호⁴
한국과학기술연구원 정보재료 및 소자연구센터, 대전대학교 전자공학과¹, 청운대학교 전자공학과²,
서울시립대학교 전자공학과³, 고려대학교 전자공학과⁴

CMOS 이미지 센서와 CCD 이미지 센서의 비교

지난 시기 동안 CCD(Charge-coupled device) 이미지 센서가 전자적으로 외부의 이미지 정보를 얻을 수 있는 거의 유일한 소자였다. CCD의 제작에는 특별한 공정이 요구되며, 이를 위한 많은 연구가 이루어져왔다. 응용분야 또한 디지털 카메라, PC 비디오 카메라, 장난감 등 다른 전자소자들에 널리 이용되어 왔다.

1993년에 NASA의 JPL(Jet Propulsion Laboratory) 연구소에서는 CCD 이미지 센서와 경쟁력 있는 고화질의 이미지 센서 소자로 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)를 이용하려는 연구를 시작하였다. CMOS 기술은 현재의 모든 메모리소자와 마이크로프로세서 등 실리콘을 사용하는 거의 모든 전자소자에 이용되고 있기에, CMOS 기술을 이용한 이미지 소자는 CCD 기술을 이용한 이미지 소자에 비하여 저가격과 다른 전자회로와의 집적화에 용이성, 저전력 특징을 지니게 된다. 또한 단일칩으로 집적화된 CMOS 이미지 센서는 CCD 이미지 센서에 비하여, 전체 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있는 장점을 부가적으로 얻을 수 있다. 이에 대

하여 각각의 장점을 CCD 이미지 센서와 구체적으로 비교하여 보면 다음과 같이 분류할 수 있다.

■ 저전력 특성

CMOS 이미지 센서는 CCD 이미지 센서가 여러 위상의 5~15V의 전압을 필요로 하는 데 반해 3.3V 또는 5V의 단일 전원으로 동작할 수 있으며, CCD 이미지 센서에 비하여 10배 이상의 저전력 특성을 얻을 수 있다. 이러한 장점은 디지털 카메라, PC 비디오 카메라, 노트북 컴퓨터, 휴대통신용 카메라 등에 응용할 수 있는 이점을 지니게 된다.

■ 시스템 집적화의 용이성

CMOS 이미지 센서를 이용하여, 같은 칩상에 신호처리부를 집적화 할 수 있으며, ADC(analog-to-digital converter)를 집적화하여 디지털로 직접 변환할 수도 있다. 이렇게 변환된 데이터는 컴퓨터나 다른 디지털 처리를 사용하는 시스템과의 연결을 용이하게 할 수 있다. 또한 DSP(Digital Signal Processing) 기능을 집적화하여 데이터의 압축을 동일 칩 내에

서 이를 수 있고 화상회의나 무선통신 제어기술 등을 포함할 수도 있으며, 각각의 응용 분야에 맞는 시스템을 단일 칩상에서 구현할 수 있다. 이렇게 집적화된 시스템은 전체 시스템의 안정화에 유리한 장점을 지니게 된다.

■ 저가격

이미지 센서에 사용되는 CMOS 기술은 다양한 집적회로에서 사용되기 때문에, 생산성을 높일 수 있고 제작 가격을 낮출 수 있다.

현재 CMOS 이미지 센서의 화질은 현재 중저가에서는 CCD 이미지 센서의 화질과 대등한 단계이며, 단지 고가의 고품질 이미지 센서 소자로는 개발단계에 있다. CMOS 이미지 센서는 맑은 날 실외에서의 촬영에서는 뛰어난 성능을 보이지만, 광량이 적은 조건(예를 들면, 실내)에서는 촬영에 어려움이 있다. 이는 이미지 센서의 각 화소당 차지하는 광센서의 비를 나타내는 FF(Fill Factor)가 CCD 이미지 센서에 비하여 낮기 때문이다. CCD 이미지 센서에서는 거의 100%의 FF를 갖지만, CMOS 이미지 센서의 경우 각 화소마다 검출회로가 있기 때문에 FF는 낮아지게 된다. 이러한 낮은 FF는 CCD 이미지 센서에 비하여 더 많은 노광시간을 필요로 한다. 낮은 FF를 해결하기 위하여 때로는 마이크로 렌즈를 각 화소마다 설치하기도 한다.

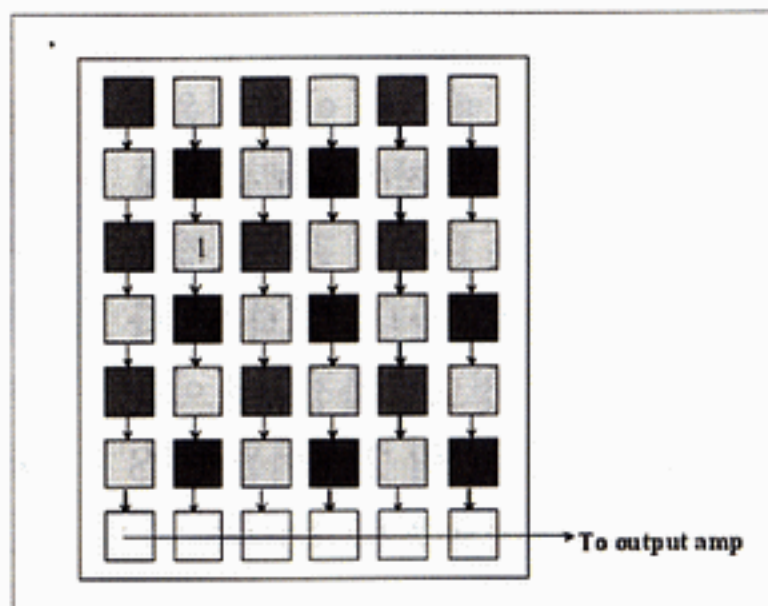
CMOS 이미지 센서의 동작 원리

CMOS 이미지 센서의 동작 원리를 CCD 이미지 센서와 구분하기 위해서

는 우선 CCD 이미지 센서의 동작 원리를 파악해야 한다. 동작 원리는 그림 1을 가지고 설명하기로 한다.

CCD 이미지 센서에서 광 센서는 외부의 빛을 받아 빛의 양에 따른 전하를 발생하게 된다. 발생된 전하는 촬영된 물체의 이미지 정보를 갖고 있는 것이다. 이들 정보를 검출하기 위해서 이들 전하를 외부로 직접 이동시키는 역할을 하게 CCD 소자이다. 그림에서 보이듯이 촬영 물체의 이미지 정보를 갖고 있는 전하는 외부의 클럭에 따라 행단위로 다음 행으로 이동하며, 맨 밑단까지 이동된 전하는 외부의 증폭기(또는 레지스터)로 이동되어 이미지 정보를 검출하게 된다. 이 때 각각의 이동되는 순서에 따라 화소의 위치가 정해진다. 예를 들어 그림에서 1로 표시된 화소의 정보는 맨 밑 하단까지 이동하기 위해서 4번의 클럭이 요구되어진다. 이렇게 이동된 후 5번째 클럭이 발생하기 전에 맨 밑 하단의 행에는 6번의 클럭으로 모두 증폭단으로 이동되어진다. 이때 1로 표시된

그림 1. CCD의 간략한 동작원리

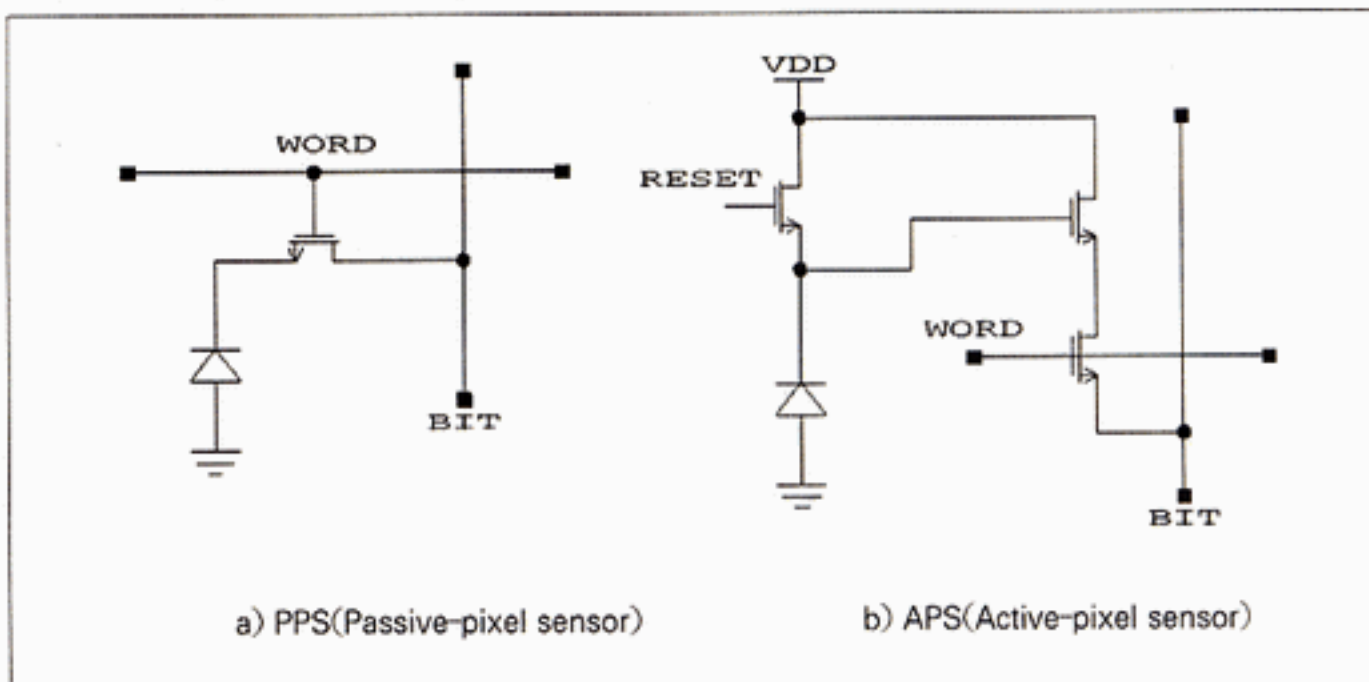


화소는 5번째 클럭에서 이동되므로 이 화소의 위치는 클럭의 수에 따라 알 수 있다. 이렇게 전체 화소가 모두 외부 증폭기로 이동한 후 전체 화소는 리셋 신호에 의하여 초기화된 후, 다음 이미지 정보를 얻게 되는 과정으로 동작하게 된다.

이와 달리 CMOS 이미지 센서는 전하들이 전송되는 것이 아니라, 초기 각 화소 단위에서 광검출을 하게 된다. 이러한 광검출은 CMOS 회로에 의하여 이루어지게 되는 것이다. CMOS 이미지 센서는 PPS(Passive-pixel sensor)와 APS(Active-pixel sensor)로 분류된다

PPS는 1960년대에 이미지 센서

그림 2. CMOS 이미지 센서의 분류



소자로 사용되기 시작했다. PPS는 이미지에 잡음이 많이 섞이는 문제점을 지니고 있기 때문에, 이들 잡음을 제거하기 위한 부가적인 단계를 필요로 한다. APS는 PPS와 관련된 잡음을 줄이는 역할을 한다. 각 화소마다의 회로는 잡음정도를 측정하여 이를 제거하게 된다. 그림 2는 이들 PPS 회로와 APS회로를 보이고 있다.

PPS는 메모리소자와 비슷한 어드

레싱 방법으로 동작을 하게 된다. 그림에서 워드(word) 신호를 인가하여, 광센서에 축적된 정보를 비트(bit) 라인을 통해 읽게 된다. APS의 구조를 살펴보면, 리셋 신호는 광센서의 초기화를 하는 과정을 하며, 신호를 읽기 위한 워드 라인으로 구성되어 있다. APS의 동작시의 동작 특성을 그림 3에 나타내었다. APS는 어레이로 할 때 고정 패턴 잡음

(Fixed Pattern Noise)이 발생하는 문제점을 지니고 있다. 이는 APS에서 각 화소마다 고유의 증폭기를 가지고 있는데, 이들 증폭기 간의 이득과 오프셋의 차이로 인하여 비롯된다. 사람의 눈은 매우 민감하여 이들 잡음이 수평 또는 수직으로 연속하여 발생 시, 화상에 일정한 잡음성분이 보이게 된다. 이러한 고정패턴잡음은 그림 4의 CDS (Correlated double sam

pling)라 불리는 기술을 사용하여 제거할 수 있다. 이들의 원리는 각 화소에서 읽은 정보를 sample signal과 sample reset 경로로 나눈 뒤에 다시 차동 증폭기로 sample signal에서 sample reset 신호를 차감함으로써 고정잡음을 제거할 수 있으며, 오프셋 또한 제거할 수 있다 이를 통하여 고정패턴잡음을 사람이 인식하지 못하는 수준까지 낮출 수 있다.

멀티미디어 응용분야에 사용되는 카메라의 기본 구조는 그림 5에 보이고 있다. 각각의 모듈의 기능은 응용분야에 따라 다르지만, 기능적으로 카메라 하드웨어와 소프트웨어로 나눌 수 있다. 하드웨어는 이미지 정보를 획득하는 센서, 검출기, 증폭기 등에 해당하며 소프트웨어는 노광 제어, 자동 초점 제어, 자동 색상조절 또는 이미지를 압축하는 일련의 과정 등으로 분류할 수 있다. CMOS 이미지 센서에서 화소의 수가 점점 증가함에 따라 전체 시스템의 처리속도 또한 증가되어야 한다. 이렇게 화소가 증가함에 특히 A/D 변환에서의 고속화가 요구되어진다. 이러한 요구에 각 행마다 A/D 변환기를 위치시키거나, 또는 각 화소마다 A/D 변환기를 삽입하는 경우도 있다. 각 행마다 A/D 변환기를 위치한 경우를 그림 6에 보였다.

카메라가 색을 인식하기 위해서는 센서의 표면에 적당한 색의 컬러 필터가 필요하다. 이러한 컬러필터에는 부가형(Red, Green, Blue)과 감쇄형(Magenta, Cyan, Yellow)이 있으며, 일반적으로 감쇄형이 효율면에서 우수한 것으로 알려져 있다. 컬러 필터는 사진식각공정 등으로 각 화소

그림 3. APS의 동작 특성

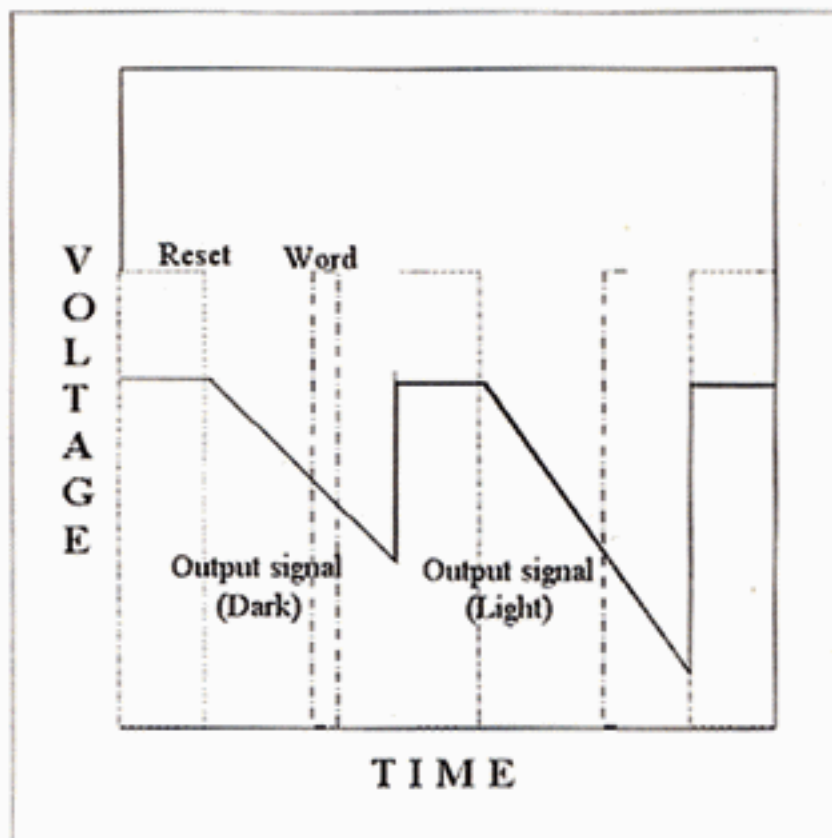


그림 4. CDS 회로

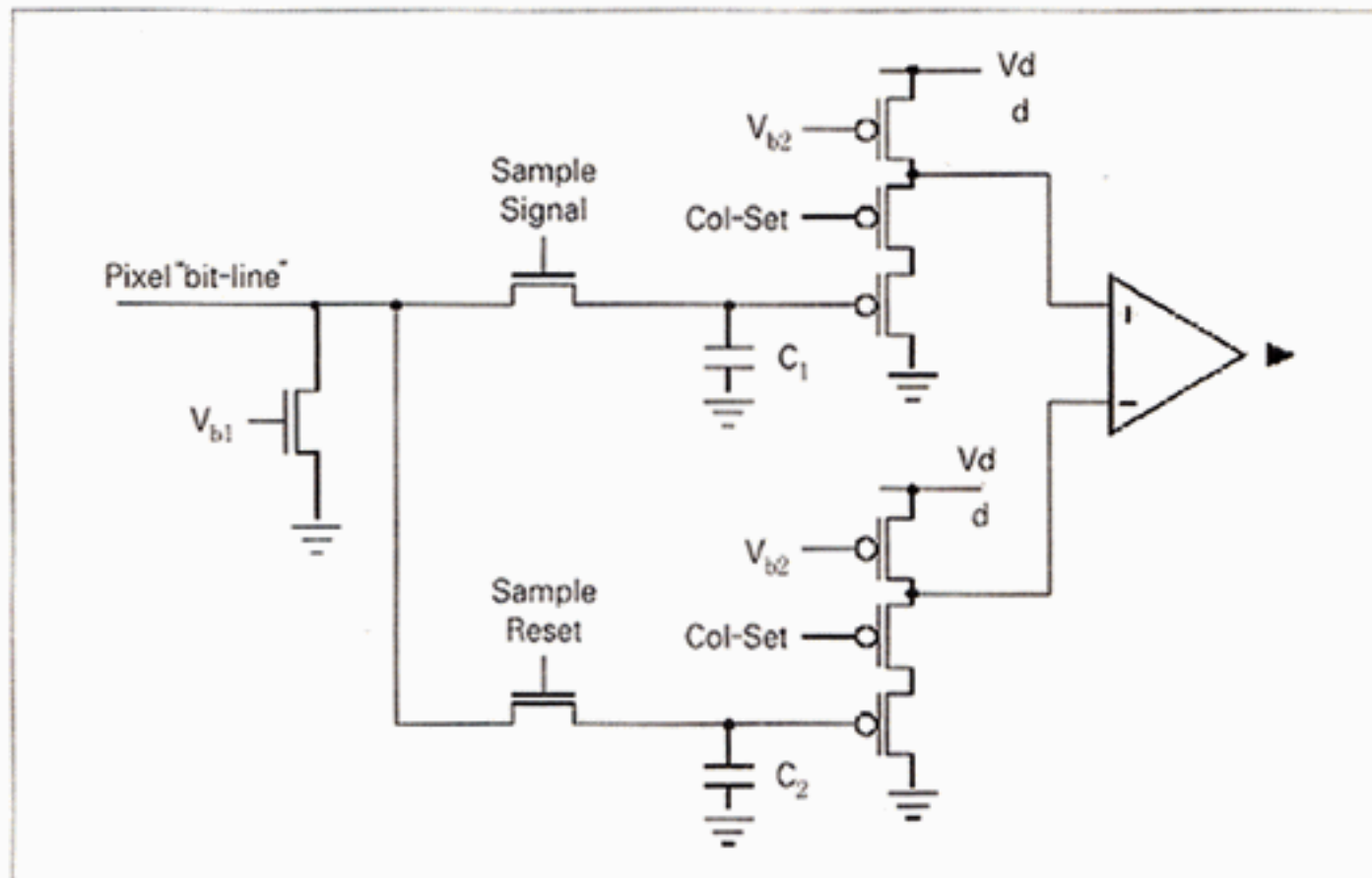


표 1. Prohibit에서 생산되는 CMOS 이미지 센서 규격

SPECIFICATIONS (June 2, 1999)	PB-0100	PB-0300	PB-0720	PB-1024
Array Format	Total : 360H×304V (109,440 pixels) Optical : 360H×296V (106,560 pixels) CIF ref. : 352H×288V (101,376pixels)	Total : 640H×487V (311,680 pixels) Optical and VGA ref. : 640H×480V (307,200 pixels)	Total : 1296H×750V (972,000pixels) Optical : 1296H×740V (959,040pixels) HDTV ref. : 1280H×720V (921,600pixels)	Total : 1040H×1040V (1,081,600 pixels) Optical : 1024H×1024V (1,048,576pixels)
Pixel Size and Type	7.9 m×7.9m Active-pixel photodiode	7.9m×7.9m Active-pixel photodiode	7.9m×7.9m Active-pixel photodiode	10.0m×10.0m Active-pixel photodiode
Optical Format	1/5inch	1/3inch	2/3inch	1inch
Frame Rate	0-39frames/sec.	0-39frames/sec.	0-60frames/sec.	0-500+ frames/sec.
Maximum Data Rate	6Mbytes/sec. (master clock 24MHz)	24Mbytes/sec. (master clock 24MHz)	375Mbytes/sec. (master clock 74.25MHz)	528Mbytes/sec (master clock 66MHz)
Power	100mW @ max. data rate	300mW @max. data rate	250mW @ max. data rate	100mW @ 60fps, 450mW @ 500fps
Digital SNR @ 1 lux	>20dB (10 : 1) green pixels measured, faceplate illuminance at 30Hz	>20dB(10 : 1) green pixels measured, faceplate illuminance at 30Hz	n/a	n/a
Internal Intra-Scene Dynamic Range	75dB	75dB	75dB	72 dB
Supply Voltage	+3.3V	+5.0V	+5.0V	+3.3V
Output	8-bit color(SRGB) or monochrome digital video	8-bit color(SRGB) or monochrome digital video	10-bit monochrome digital video through 4 parallel ports	8-bit monochrome digital video through 8 parallel ports
CDS	On-chip	On-chip	On-chip	On-chip
ADC	On-chip 8-bit serial	On-chip 8-bit column parallel	On-chip 10-bit column parallel	On-chip 8-bit column parallel
Auto-Exposure	On-chip, with manual override	On-chip, with manual override	n/a	n/a

그림 8. SoundVision사의 CMOS 이미지 센서를 이용한 카메라의 사진

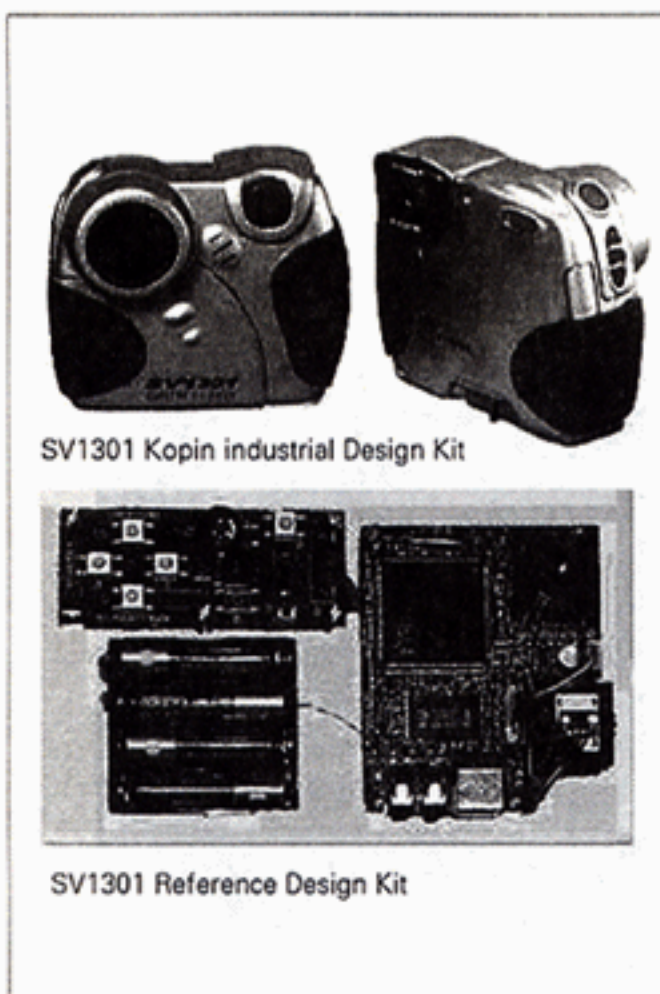
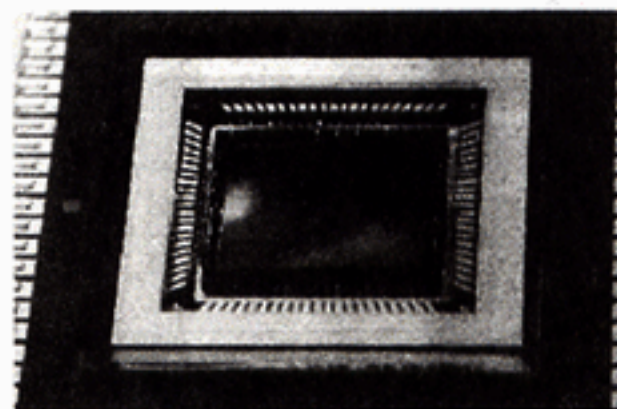


그림 9. IMEC의 CMOS 이미지 센서 칩



한 카메라의 사진을 그림 8에 보이고 있다.

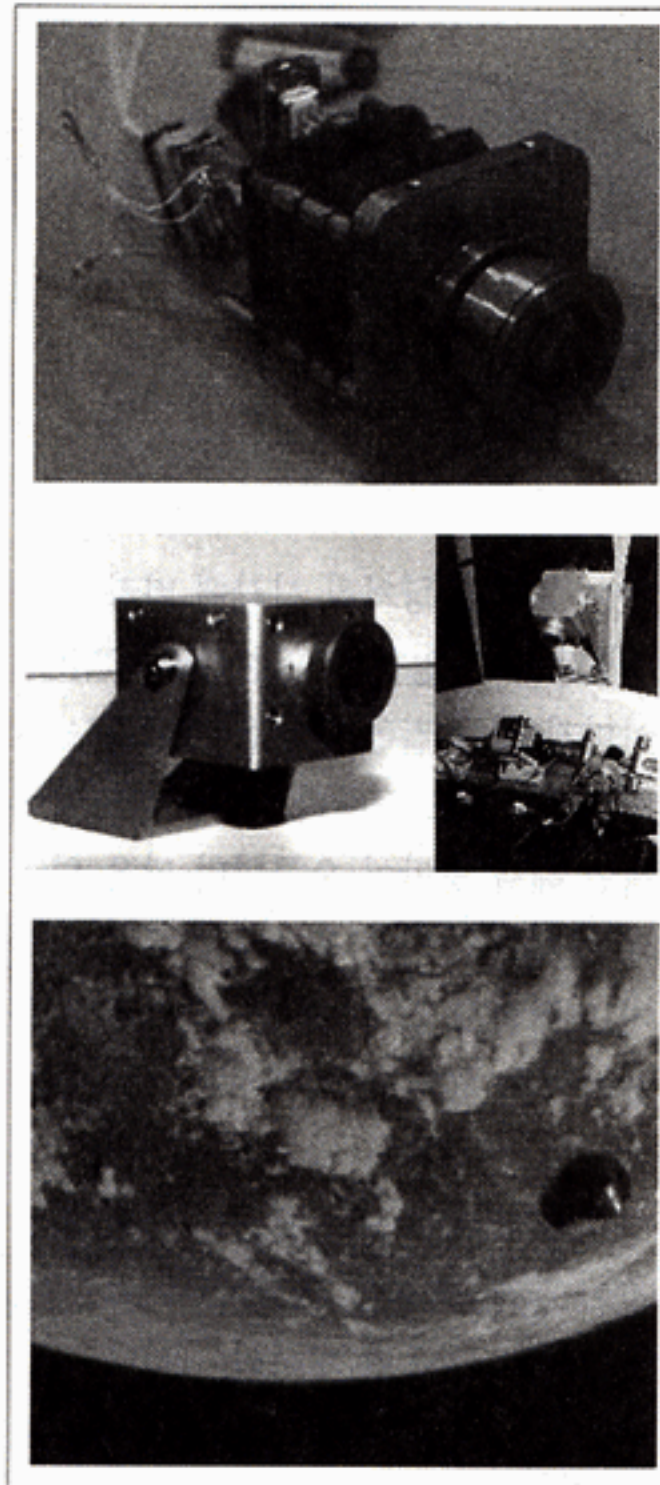
사진에서 보이듯이 CMOS 이미지 센서 칩 위에 렌즈를 부착하였으며 DSP 프로세서 칩과 같이 하나의 기판을 이루는 것을 알 수 있다. 또한 동작 전압이 6V로 구성되어 있다. 위의 제품은 HP(現 애질런트 테크놀로지

스) 640×480 CMOS 이미지 센서와 10비트 A/D 변환기로 구성되어 있다. 위의 상위 기종으로 2000×1600의 해상도를 가진 SVmini-209 제품도 시판중에 있다.

IMEC에서는 APS를 채용한 1280×1024의 해상도를 가진 그림 9의 칩을 생산 중이며, 이 칩의 화소 당 크기는 7μm이다. 또한 동작 전압은 5V이고 10비트 A/D 변환기를 채용하였다. FF(Fill Factor)는 58%로 상당히 높은 것으로 알려져 있다.

그림 10은 IMEC에서 1999년 12월 10일에 Ariane 504로 궤도에 올려진 European XMM(X-ray telescope)에 탑재된 VMC(Visual Moni

그림 10. IMEC의 우주 촬영 카메라 및 사진



toring Camera)의 사진과 1997년 Ariane 2에 의해 궤도에 올려진 위성
에 탑재된 VTS(Visual Telemetry
System)의 사진을 보여주고 있다.

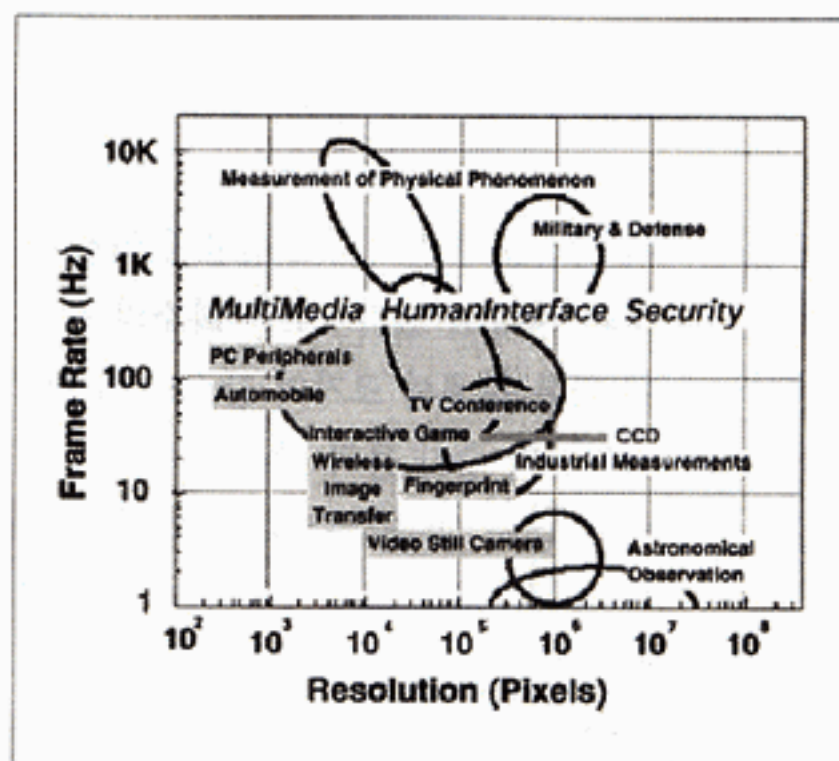
이들은 모두 APS를 채용한 CMOS
이미지 센서로 VTS의 경우, 우주환경
에서도 이상 없이 촬영에 성공하였다.

VTS 카메라의 경우 6×6×5cm의
크기에 200g 정도의 무게를 갖는다.
사용된 CMOS 이미지 센서 칩은
FUGA-15d 모델로 해상도는 512×
512, FF는 15%이며 8비트 A/D변환
기를 가지고 있다. VMC의 경우 사용
된 칩은 IRIS-1 모델로 해상도 640×
480으로 화소 당 14μm의 크기를 갖
고 있으며, FF는 72%이고 8비트

표 2. VMC(Visual Monitoring Camera)와 VTS(Visual Telemetry System)에 사용된 칩

모델명	FUGA15d	IRIS-1
해상도	512×512(APS)	640×480 (APS)
화소크기	12.5 μm	14 μm
Fill Factor	15%	72%
구동전압	5V	5V
색	black&white and RGB-color	black&white: RGB
FPN(Fixed Pattern Noise)		0.62
암전류		725 pA/cm ²
A/D 변환기	8bit	8bit

그림 11. CMOS 이미지 센서의 응용분야



A/D를 가지고 있다. 이들 칩에 대하
여 표 2에 나타내었다. IMCE의 경우,
계속해서 우주항공분야에 CMOS 이
미지 센서를 응용할 계획으로 있다.

일본 미쓰비시는 컬러 인공망막칩
M64282FP를 발표했다. 이 회사에
서 생각하는 CMOS 이미지 센서의
응용분야는 그림 11과 같이 해상도
에 따라 분류하고 있다. 보통 CMOS
이미지 센서의 프레임 레이트를 10
~1KHz이고 해상도를 10³~10⁵로
보기에 주로 보안분야나 자동차 응용
분야, 상호작용 게임(interactive
game) 분야 등에 적용될 것으로 전
망하고 있다.

또 다른 일본 업체인 도시바에서 생
산하는 CMOS 이미지 센서 칩을 그

림 12에 보였다. 지난해 5
월 개인 멀티미디어용으로
1/7인치 크기의 10만 화소
급 CMOS 이미지 센서를
발표하였다. 이 크기는 가
장 작은 CMOS 이미지 영
상 센서 칩으로 구동 전압
이 2.8V, 전력소비가
15mW이다. 그림 12의 오
른쪽 사진은 97년도에 발
표한 칩으로 해상도는 100
만 화소급으로, 전력소비가
약 30mW이다. 또한 구동

전압은 3.3V이다.

현대전자는 코아로직과 공동으로
지문인식기용 CMOS 이미지 센서 칩
(모델명 : HB7122B)을 개발했다.
CMOS 이미지 센서 기술을 기반으로
「지문인식기용 제반 로직(logic)」을
내장하여 단일칩(Single Chip)으로
개발한 것이다. 이미지 센서 칩은 보
안성을 위해 컴퓨터 마우스와 키보드,
사무실 도어록 등에 사용되는 다양한
형태의 지문인식 장치와 최적의 연결
을 위한 인터페이스 로직(Interface
Logic) 기술이 적용되었다.

CMOS 이미지 센서의 다른 응용
분야는 초소형 비행체의 영상 촬영
장치로 사용할 수 있다. 초소형 비행
체는 MAV(Micro Aerial Vehicle)로

그림 12. 일본 도시바사의 CMOS 이미지 센서 칩

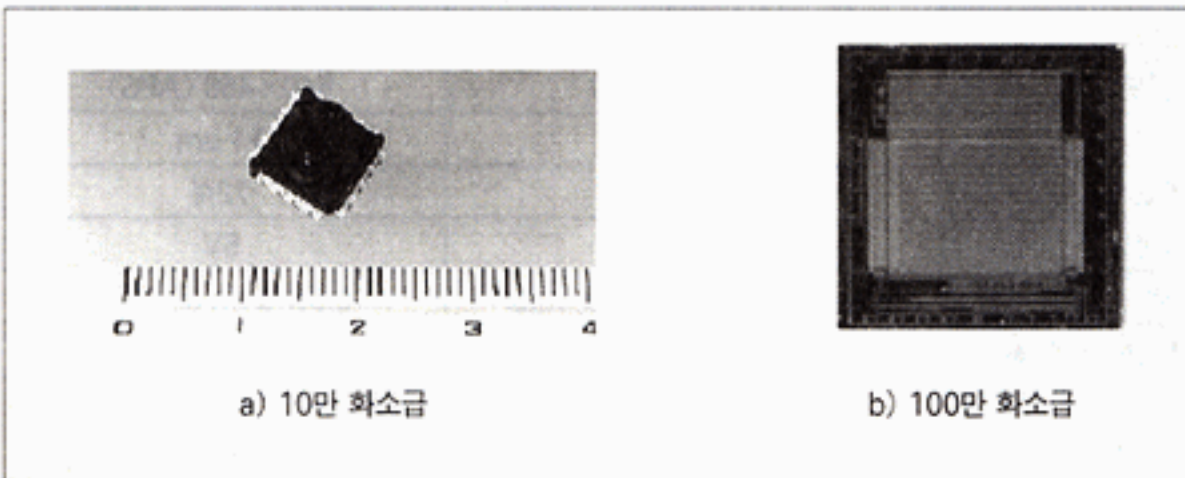
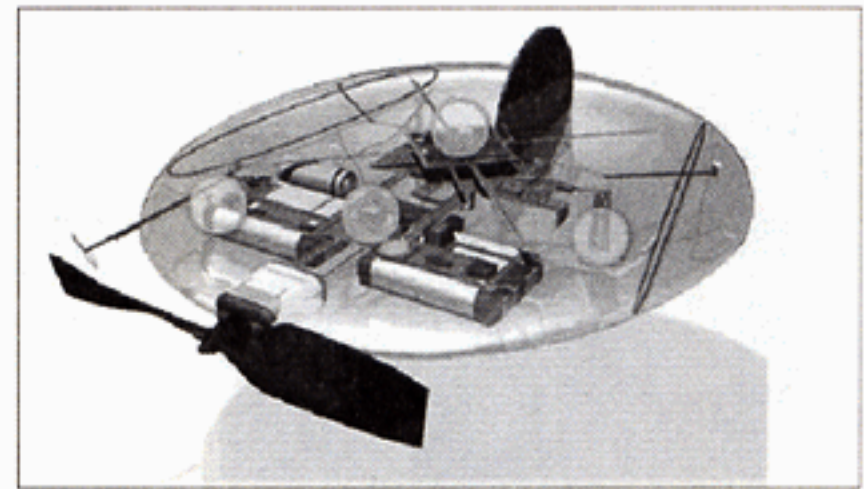


그림 13. MAV 시스템의 예



불리며 미국의 DARPA(Defence Advanced Research Projects Agency) 등에서 연구되어지고 있다. MAV에서 가장 중요한 것은 소형화와 경량화 그리고, 저전력 특성이 요구되어진다. 이러한 특성은 기존의 CCD 이미지 센서보다 CMOS 이미지 센서가 뛰어나기 때문에 많은 곳에서 CMOS 이미지 센서를 도입할 것으로 기대된다.

앞으로의 과제

현재 많은 곳에서 CMOS 이미지 센서에 대한 관심이 커지고 있다. 하지만, 아직 100만 화소 이상급에서는 CCD

이미지 센서에 비하여 화질이 떨어지는 단점이 있다. 이는 앞서 기술한 것처럼 CMOS 이미지 센서의 경우, CCD 이미지 센서에 비하여 FF가 낮아 광감도가 떨어지고 잡음에 약한 특성을 지니고 있다. 또한 화소의 증가에 따른 광센서 크기의 감소와 더불어 암전류의 증가 등과 같은 문제가 발생하며 더욱 잡음 특성이 악화될 것이다. 이에 대한 해결 방안으로 소프트웨어적인 방법으로 DSP 칩에 의한 이미지 개선을 이룰 수 있으나, 만일 실내에서 사진을 찍었는데 찍은 후 몇 초 동안 DSP 칩이 화상처리를 하는 동안 기다려야 한다면, 혹은 동화상을

찍는 동안 화상처리 시간에 따라 전체 전송속도에 영향을 미친다면 CMOS 이미지 센서 칩을 이용한 카메라는 외면 당할 지도 모른다. 이에 하드웨어적인 해결 방안이 요구되며 많은 외국의 업체들은 이들 문제의 해결을 위하여 노력하고 있다. 또한, CMOS의 응용분야를 넓히기 위해서는 해상도와 프레임 레이트를 증가시키는 연구와 더불어 적외선 영상장치나 X선 영상장치 등에 적용할 수 있는 기술 개발이 병행되어야 할 것이다. ㄹ

문의처 : 신경식 ksshin@kist.re.kr
TEL : 958-5773

참고문헌

1. Kempainen, Stephen, "CMOS Image Sensors : Eclipsing CCDs in visual information" EDN, Oct 9, 1997
2. Denyer, Peter, "CMOS vs CCD" Vision White Paper,
Website : <http://www.vvl.co.uk/whycmos/whitepaper.htm>, 1999
3. Bell Labs Licenses 'Camera on a chip' Technology,
<http://www.bell-labs.com/news/1998/july/15/1.html>, 1999
4. <http://www.photobit.com/> (Photobit사 홈페이지)
5. <http://dmz4.imec.be/fuga/> (IMEC사 홈페이지)
6. <http://www.vvl.co.uk> (Vision사 홈페이지)