

전자식 셔터와 A/D 변환기가 내장된 CMOS 능동 픽셀 센서

윤형준* · 박재현*** · 서상호* · 이성호* · 도미영* · 최 평* · 신장규*†

A CMOS active pixel sensor with embedded electronic shutter and A/D converter

Hyung-June Yoon*, Jae-Hyoun Park***, Sang-Ho Seo*, Sung-Ho Lee*,
Mi-Young Do*, Pyung Choi*, and Jang-Kyoo Shin*†

Abstract

A CMOS active pixel sensor has been designed and fabricated using standard 2-poly and 4-metal 0.35 μm CMOS processing technology. The CMOS active pixel sensor has been made up of a unit pixel having a highly sensitive PMOSFET photo-detector and electronic shutters that can control the light exposure time to the PMOSFET photo-detector, correlated-double sampling (CDS) circuits, and an 8-bit two-step flash analog to digital converter (ADC) for digital output. This sensor can obtain a stable photo signal in a wide range of light intensity. It can be realized with a special function of an electronic shutter which controls the light exposure-time in the pixel. Moreover, this sensor had obtained the digital output using an embedded ADC for the system integration. The designed and fabricated image sensor has been implemented as a 128×128 pixel array. The area of the unit pixel is $7.60 \mu\text{m} \times 7.85 \mu\text{m}$ and its fill factor is about 35%.

Key Words : CMOS active pixel sensor, PMOSFET photo-detector, electronic shutter, 8-bit two-step flash A/D converter

1. 서 론

이미지 센서는 크게 두 가지 영상 소자로 분류할 수 있다. CCD(charge coupled devices)와 CIS(CMOS image sensor)가 그것이다. CCD는 높은 성능과 낮은 잡음에 장점을 가지고 있고, CIS는 집적도와 경제적 측면에서 장점을 가지고 있다. 그러나 두 소자의 장점과 단점이 서로 상반되기 때문에, 두 소자의 각기 다른 장점을 이용한 제품으로 이미지 센서 시장을 양분하고 있다^[1-3].

본 연구는 CIS의 성능 향상과 시스템 집적화를 목적으로 행하여졌다. 이를 통해서, CCD에 비해서 CIS의 단점인 낮은 성능을 보완하고, 장점인 집적화를 부각하고자 함이다. 특히 다양한 밝기의 빛에서 이미지 센서가 안정적으로 동작하기 위해서, 고감도의 PMOSFET 광검출기와 전자식 셔터를 사용하였다. 또한 시스템 집

적화를 목적으로 8-bit two-step flash A/D 변환기를 사용하였다.

본 연구에서는 2-poly 4-metal 0.35 μm 표준 CMOS 공정을 이용하여서 128×128 CMOS 능동 픽셀 센서를 설계 및 제작하고 그 특성을 측정하였다.

2. 설 계

2.1. 단위 픽셀

그림 1과 그림 2는 각각 본 연구에서 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서의 블록 다이어그램과 단위 픽셀의 회로도 및 레이아웃을 나타낸다. 설계 및 제작된 단위 픽셀의 넓이는 $7.60 \mu\text{m} \times 7.85 \mu\text{m}$ 이며 개구율(fill factor)은 약 35%이다. 또한 수광부 역할을 하는 PMOSFET 광검출기의 채널 폭과 길이는 각각 $1 \mu\text{m}$, $0.6 \mu\text{m}$ 이다. 그림 2(a)에서 M_{PHOTO} 로 명명된 MOSFET이 PMOSFET 광검출기이다. PMOSFET 광검출기의 특징은 일반 광검출기와 비교하여서 높은 감도를 지닌다는 것이다^[4].

그림 2(a)에서 알 수 있듯이, 본 연구에서 사용된

*경북대학교 전자공학과 (Department of Electronics, Kyungpook National University)

**한국전자부품연구원 (Korea Electronics Technology Institute)

†Corresponding author: jkshin@ee.knu.ac.kr

(Received : March 23, 2005, Accepted : May 9, 2005)

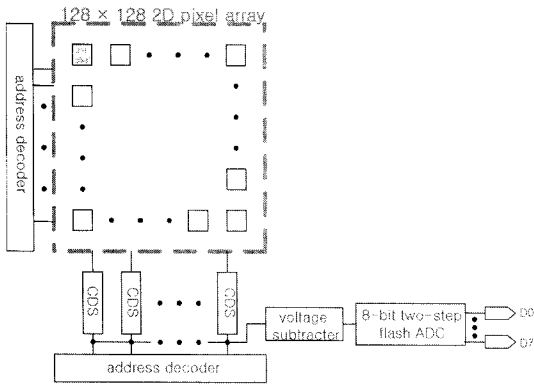


그림 1. 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서의 블록 다이어그램

Fig. 1. The block diagram of the designed and fabricated CMOS active pixel sensor.

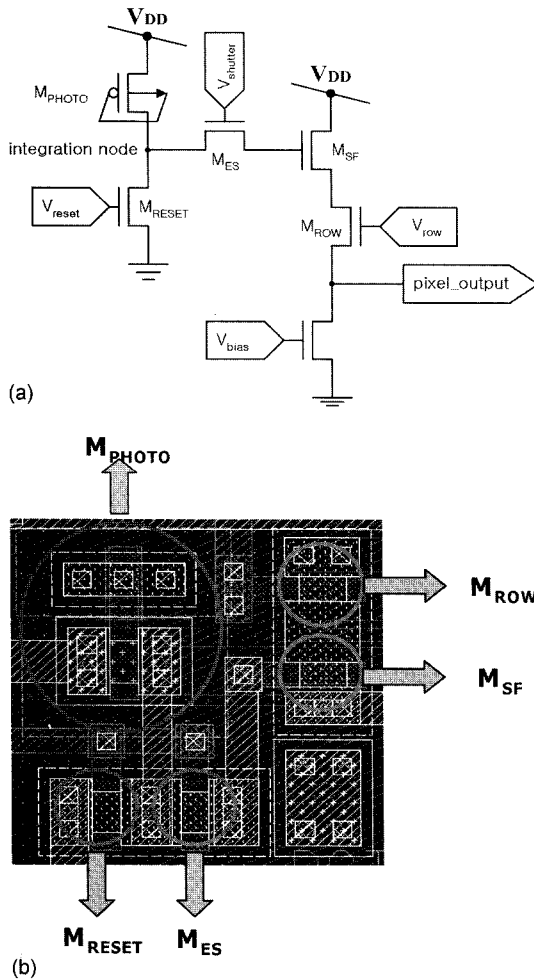


그림 2. 단위 픽셀 (a) 회로도 (b) 레이아웃
Fig. 2. The unit pixel (a) Schematic (b) Layout.

PMOSFET 광검출기는 게이트와 n-well이 묶여져 부유되어 있다. 여기에 빛이 조사되면, 빛에 의해서 전자 및 전공들이 생성되고, 생성된 전자들은 n-well쪽으로 이동하게 된다. 따라서 n-well의 전위는 낮아지게 된다. 게이트와 n-well이 묶여져 있는 구조적 특성으로 인해서 게이트 전위 역시 낮아지며, 낮아진 게이트 전위에 의해서 전자, 전공의 생성은 가속된다. 이러한 이유로 인해서, 본 연구에 사용된 PMOSFET 광검출기는 비교적 높은 광감도를 지니는 것이다.

앞서 설명한 바대로, 본 연구에서는 광검출기의 광조사 시간을 조절하기 위해서 전자식 셔터를 사용하였다. 그림 2(a)에서 M_{ES} 로 명명된 NMOSFET이 전자식 셔터의 역할을 한다. 전자식 셔터는 필름 카메라의 셔터처럼 광조사 시간을 조절하는 역할을 한다^[7]. 즉 광검출기에서 발생한 광전하가 기생 커패시터에 축적되는 시간을 제어함으로써, 단위 픽셀 내에서 광조사 시간을 조절할 수 있는 것이다^[8-10]. 기생 커패시터에 축적된 광전하의 공통 드레인 증폭기에 의해서 전압의 형태에서 전류의 형태로 변환되고, 다시 공통 부하

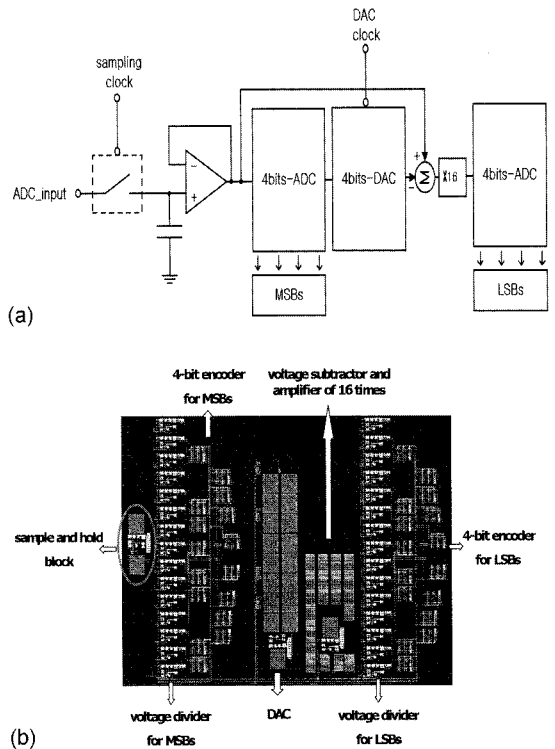


그림 3. 8-bit two-step flash A/D 변환기 (a) 블록 다이어그램 (b) 레이아웃
Fig. 3. 8-bit two-step flash A/D converter (a) Block diagram (b) Layout.

MOSFET을 통해 전압의 형태로 픽셀 출력 신호가 얻어진다.

2.2. 8-bit two-step flash A/D 변환기

본 연구에서는 시스템 집적화를 위해서 8-bit two-step flash A/D 변환기를 설계하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용된 8-bit two-step flash A/D 변환기의 블록 다이어그램과 레이아웃이다. 8-bit two-step flash A/D 변환기는 변환 속도에서 장점을 보이는 flash A/D 변환기를 두 단계로 사용함으로써, 비교적 정확하고 빠른 A/D 변환과 A/D 변환기가 차지하는 면적을 줄이는 특징이 있다^[11]. 그림 3(a)에서 알 수 있듯이, 첫 번째 샘플 클럭에서 상위 4-bit의 신호를 얻어내고, 뒤이어 DAC 클럭으로 하위 4-bit의 신호를 얻어낸다.

2.3. CMOS 능동 픽셀 센서

그림 4는 본 연구에서 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서의 제어신호, 그리고 레이아웃을 나타낸다. 그림 4(a)에서 ‘integration time’으로 표기된 부분이 점선으로 표현된 이유는, 전자식 셔터의 개방 시간을 조

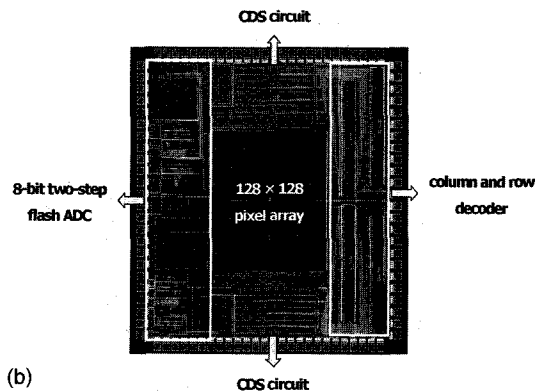
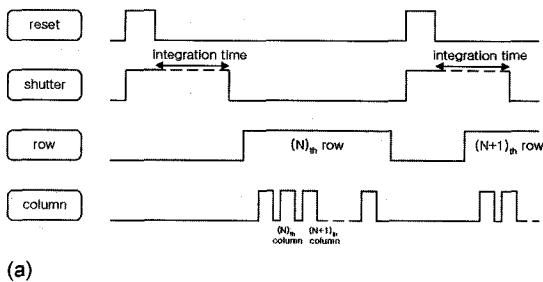


그림 4. 설계된 CMOS 능동 픽셀 센서 (a) 제어 신호의 시간 흐름도 (b) 레이아웃
Fig. 4. Designed CMOS active pixel sensor (a) Timing diagram of the control signal (b) Layout.

절함으로써, 광검출기의 광조사 시간을 조절할 수 있음을 의미하기 때문이다. 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서의 면적은 4 mm × 4 mm이다.

본 연구에서 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서의 동작 원리는 다음과 같다. 나열된 행과 열의 픽셀 array는 내부 픽셀 선택 회로에 의해서 하나씩 선택되어지며, 선택 되어진 단위 픽셀에서 얻어진 광신호는 CDS(Correlated Double Sampling) 회로를 통한 다음 8-bit two-step A/D 변환기에 의해서 8-bit의 디지털 출력값을 가진다.

3. 측정 결과

3.1. 단위 픽셀

본 연구에서는 CMOS 이미지 센서에서 일반적으로 이용되는 광검출기인 포토 다이오드와 포토 바이폴라 트랜지스터를 사용하지 않고, 향상된 성능의 PMOSFET 광검출기를 사용하였다. PMOSFET 광검출기의 향상된 성능은 앞서 수행된 포토 다이오드, 포토 바이폴라 트랜지스터, PMOSFET 광검출기의 비교 연구에서 증명하였다^[5,6]. 또한 백색광원을 이용한 PMOSFET 광검출기의 전압-전류 특성을 그림 5에 나타내었다. 그림 5를 통해 알 수 있듯이, 광변화에 따르는 PMOSFET 광검출기의 전압-전류 특성은 일반 PMOSFET의 게이트 전압 변화에 따르는 전압-전류의 특성과 유사함을 알 수 있다.

그림 6은 실내 형광등 조명아래서 전자식 셔터의 개방 시간을 달리 하면서 단위 픽셀의 출력 전압을 측정 한 결과이다. 그림 6에서 (a), (b), (c)로 표현된 파형은

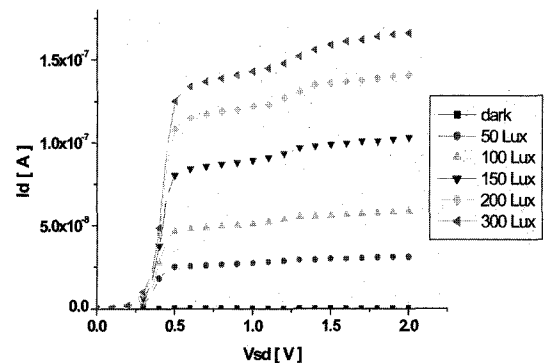


그림 5. PMOSFET 광검출기의 빛의 세기에 따른 전압-전류 특성
Fig. 5. The Vsd-Id curves of the PMOSFET photo-detector with different light intensity.

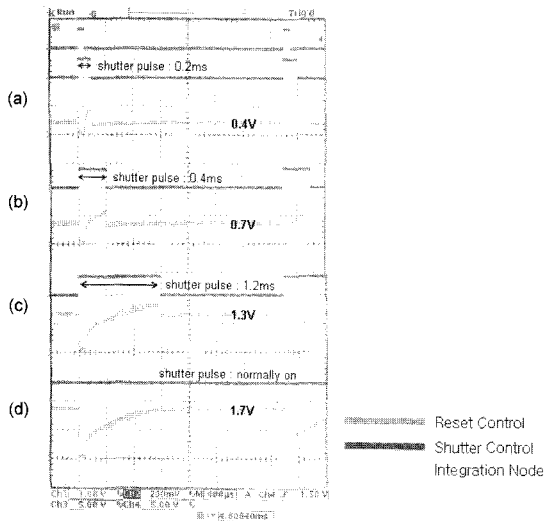


그림 6. 실내 형광등 조명아래서 전자식 셔터의 개방 시간에 따른 CMOS 능동 픽셀의 출력 전압: (a) 0.2 ms (b) 0.4 ms (c) 1.2 ms (d) normally on

Fig. 6. The pixel output voltages with varying shutter open time at the room light: (a) 0.2 ms (b) 0.4 ms (c) 1.2 ms (d) normally on.

각각 0.2 ms, 0.4 ms, 1.2 ms의 시간동안 전자식 셔터의 개방을 의미한다. 또한 (d)의 경우에는 단위 주기 동안 줄곧 전자식 셔터를 개방하였다. 그 결과 동일한 빛 아래에서 전자식 셔터의 개방 시간을 조절하여 픽셀의 출력 전압을 조절할 수 있었다. 이는 빛이 강할 경우 셔터의 개방 시간을 줄이고, 빛이 약할 경우 전자식 셔터의 개방 시간을 늘려서 광세기에 다소 자유로운 동작을 가능하게 하고, 궁극적으로 보다 정확한 영상을 얻는 필름 카메라의 셔터 기능과 동일한 것이다.

향상된 광특성의 PMOSFET 광검출기를 이용한 픽셀에 셔터의 기능을 가미함으로써, 본 연구에서 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀은 빛의 강도에 무관하게 좋은 광특성을 얻을 수 있다.

3.2. CMOS 능동 픽셀 센서

그림 7은 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서에 광변화를 주면서 디지털 출력 값을 측정된 결과이다. 출력된 결과는 CMOS 이미지 센서의 특징인 임의선택 방식으로 행과 열의 교점에 놓여진 픽셀에서 얻어졌다. 또한 전자식 셔터의 개방시간을 포함하는 모든 제어 신호는 동일한 상태에서 단지 빛의 변화만을 주어서 출력 신호를 얻었다. 그림 7을 통해서 어느 정도의 정보 손실을 확인할 수 있으나, 전반적으로 빛의 변화에

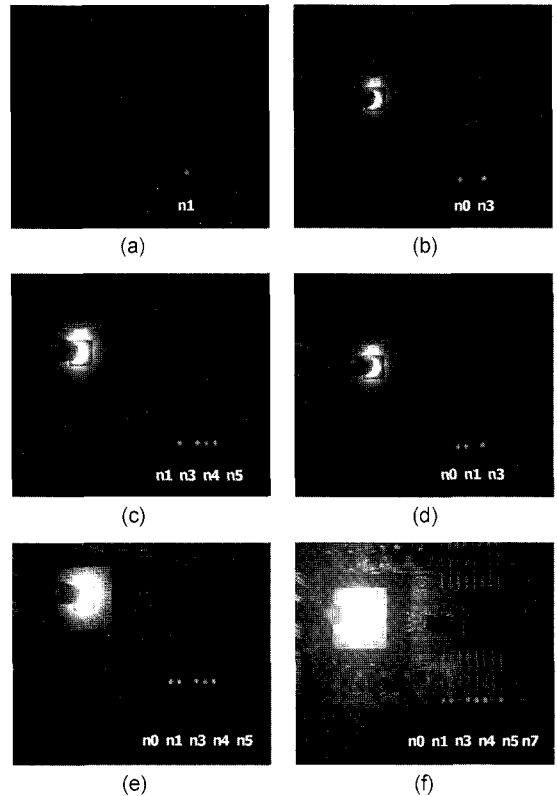
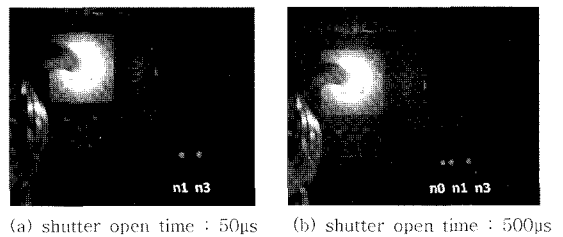


그림 7. 광변화에 따른 이미지 센서의 디지털 출력: (a) dark (b) 400 Lux (c) 800 Lux (d) 1,500 Lux (e) 3,000 Lux (f) 20,000 Lux

Fig. 7. The digital output of the sensor with varying light intensity: (a) dark (b) 400 Lux (c) 800 Lux (d) 1,500 Lux (e) 3,000 Lux (f) 20,000 Lux.

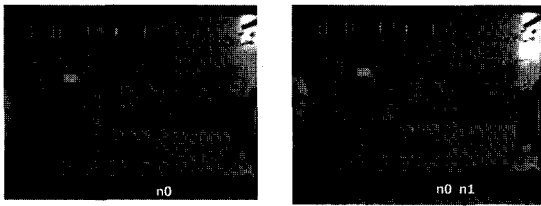


(a) shutter open time : 50µs (b) shutter open time : 500µs

그림 8. 강한 광(1000 lux)에서 셔터 개방 시간의 변화에 따른 이미지 센서의 디지털 출력
Fig. 8. The digital output of the sensor with varying shutter open time at strong light intensity.

따라서 충실한 응답 신호를 확인할 수 있다.

그림 8과 그림 9는 셔터의 기능을 확인하기 위해, 동일한 밝기에서 셔터의 개방 시간 변화에 따른 디지털 출력 결과를 나타내었다. 그림 8과 그림 9를 통해서,



(a) shutter open time : 2ms (b) shutter open time : 4ms

그림 9. 약한 광(200 lux)에서 셔터 개방 시간의 변화에 따른 이미지 센서의 디지털 출력

Fig. 9. The digital output of the sensor with varying shutter open time at weak light intensity.

셔터의 개방 시간을 제어함으로써 센서의 출력 신호를 제어할 수 있음을 확인하였다. 이는 빛의 세기가 강할 경우 셔터의 개방 시간을 줄이고, 빛이 약할 경우 셔터의 개방 시간을 늘림으로써 픽셀 내 기생 커패시터의 광전하 축적 시간을 조절할 수 있기 때문에 가능한 것이다. 결과적으로, 셔터를 이용함으로써 CMOS 능동 픽셀 센서의 출력 신호 제어가 가능함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 $0.35\ \mu\text{m}$ 2-poly 4-metal 표준 CMOS 공정을 이용하여 CMOS 능동 픽셀 센서를 설계 및 제작하였다. 설계 및 제작된 CMOS 능동 픽셀 센서는 PMOSFET 광검출기를 이용하여 우수한 특성의 광신호를 얻을 수 있었다. PMOSFET 광검출기의 입사광의 변화에 따른 전압-전류 특성 곡선은 일반 PMOSFET의 게이트 전압 변화에 따른 전압-전류 특성 곡선과 유사하였다. 단위 픽셀은 전자식 셔터를 포함하여 다섯 개의 NMOSFET과 한 개의 PMOSFET 광검출기로 구성되어 있으며, 면적은 $7.6\ \mu\text{m} \times 7.85\ \mu\text{m}$ 이고 개구율은 약 35%이다. 구현된 단위 픽셀은 전자식 셔터를 이용하여서 픽셀 내에서 광조사 시간을 조절할 수 있으며, 이는 곧 광세기에 다소 자유로운 이미지 센서의 구현으로 이어졌다. 그리고 광신호 출력을 8-bit two-step flash A/D 변환기를 통해 얻음으로써 CMOS 능동 픽셀의 장점 중 하나인 시스템 집적화를 구현하였다. 광세기의 변화에 따른 8-bit 디지털 신호의 출력은 빛의 변화에 따른 충실한 응답을 보여주었다. 따라서 출력되는 디지털 신호를 영상 신호 처리 시스템을 이용

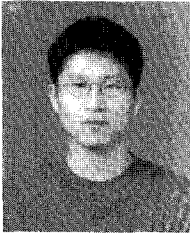
하여서 2-D 영상으로의 구현이 가능하리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-03-02) 지원으로 수행되었습니다.

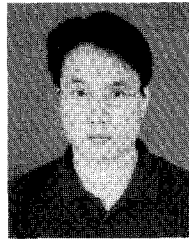
참고 문헌

- [1] E. R. Fossum, "Digital camera system on a chip", *IEEE Micro*, vol. 18, issue. 3, pp. 8-15, 1998.
- [2] E. R. Fossum, N. Terannishi, A. J. P. Theuwissen, and J. Hynecek, "Forward special issue on solid-state image sensors", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 50, no. 1, pp. 1-3, 2003.
- [3] C. Brown, "http://www.eet.com/article/showArticle.jhtml?articleId=1830_5338".
- [4] W. Zhang and M. Chan, "A high gain N-well/gate tied PMOSFET image sensor fabricated from a standard CMOS process", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 48, no. 6, pp. 1097-1102, 2001.
- [5] J. H. Park, S. H. Seo, I. S. Wang, H. J. Yoon, J. K. Shin, P. Choi, Y. C. Jo, and H. Kim, "Highly sensitive PMOSFET photodetector and its application to CMOS active pixel sensor", *Sensor and Materials*, vol. 15, no. 7, pp. 361-370, 2003.
- [6] 서상호, 박재현, 이준규, 왕인수, 신장규, 조영창, 김훈, "고감도 능동픽셀센서를 위한 PMOSFET 광검출기의 특성", *센서학회지*, 제12권, 제4호, pp. 149-155, 2003.
- [7] T. Harris, "How cameras work", <http://entertainment.howstuffworks.com/camera>.
- [8] C. H. Aw and B. A. Wooley, "A 128×128 -pixel standard-CMOS image sensor with electronic shutter", *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. 31, no. 12, pp. 1922-1930, 1996.
- [9] M. Wany and G. P. Israel, "CMOS image sensor with NMOS-only global shutter and enhanced responsivity", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 50, no. 1, pp. 57-62, 2003.
- [10] O. Y. Pecht, B. Pain, C. Staller, C. Clark, and E. Fossum, "CMOS active pixel star tracker with regional electronic shutter", *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. 32, no. 2, pp. 285-288, 1997.
- [11] B. Razavi, "Principles of data conversion system design", IEEE press, New York, 1995.



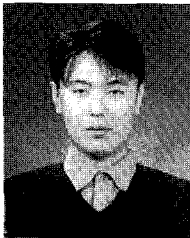
윤형준

- 1977년 7월 28일생
- 2003년 경북대학교 전자·전기 공학부 졸업(공학사)
- 2005년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)



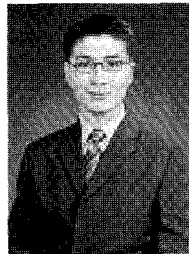
박재현

- 1971년 9월 6일생
- 1994년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 현 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
- 주관심 분야 : nano-scaled photodetectors, CMOS Image Sensors



서상호

- 1979년 5월 4일생
- 2002년 경북대학교 전자·전기 공학부 졸업(공학사)
- 2004년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 현 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
- 주관심 분야 : MOSFET-type photodetectors, CMOS Image Sensors



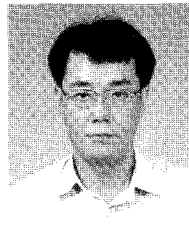
이성호

- 1978년 9월 11일생
- 2004년 경북대학교 전자·전기 공학부 졸업(공학사)
- 현 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정
- 주관심 분야 : MOSFET-type photodetectors, current-mode CMOS Image Sensor



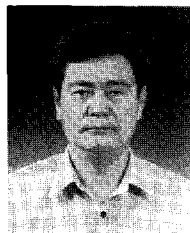
도미영

- 1980년 4월 9일생
- 2004년 경북대학교 전자·전기 공학부 졸업(공학사)
- 현 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정
- 주관심 분야 : SOI MOSFET devices, CMOS Image Sensors



최평

- 1980년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1985년 Ohio State Univ. Dept. of Electrical Eng. 졸업(공학박사)
- 1990년 Georgia Institute of Tech. Dept. of Electrical Eng. 졸업(공학박사)
- 1990년 ~ 현재 경북대학교 전자공학과 교수
- 주관심 분야 : ASIC 설계 및 CAD



신장규

- 1978년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1991년 미국 콜로라도 주립대학교 전기공학과 졸업(공학박사)
- 1995년 ~ 1997년 일본 토요하시 기술과 학대학교 교환 교수
- 1980년 ~ 현재 경북대학교 전자공학과 교수
- 주관심 분야 : CMOS Image Sensor, Silicon Retina, DNA Sensor, MOSFET Sensor