

Charge Pump 회로를 이용한 능동 픽셀 센서의 동작 범위 개선

김경도 · 서상호 · 서민웅 · 신장규[†]

Dynamic range improvement of active pixel sensor using charge pump circuit

Kyoung-Do Kim, Sang-Ho Seo, Min-Woong Seo, and Jang-Kyoo Shin[†]

Abstract

Wide dynamic range active pixel sensor(APS) using a charge pump circuit has been designed by using 2-poly 4-metal 0.35 μm standard CMOS technology. The structure of the proposed APS is similar to the structure of the conventional 3-Tr APS. The proposed unit pixel consists of one photodiode and three MOSFETs. Using a charge pump circuit, the dynamic range of the proposed APS is increased, compared to the conventional 3-Tr APS.

Key Words : CMOS image sensor, APS, charge pump

1. 서 론

최근 디지털 카메라, 캠코더, 휴대폰 등과 같은 휴대용 기기들에서 이미지 센서의 사용이 증가하고 있다^[1]. 이러한 휴대용 기기들에 사용되는 영상 검출 소자로서 charge coupled devices(CCD)와 CMOS image sensor(CIS)가 있다.

CCD는 양자 효율이 좋고, 좋은 잡음 특성을 가지고 있어 양질의 영상출력을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 제작 시 특별한 공정이 필요하고, 높은 전원 전압을 요구한다는 등의 단점이 있다^[1]. 휴대용 기기들에 사용되는 전원은 대부분 전지이며, 전지는 전원 공급의 한계를 가진다. 그러므로 휴대용 기기들의 전력 소모를 줄일 필요성이 있으며, 이를 위해 전원전압이 감소되는 추세이다. 따라서 CCD의 동작에 높은 전원 전압이 필요하다라는 점은 휴대용 기기들에 CCD가 사용되는데 문 제점으로 작용하고 있다.

반면 CIS는 CCD에 비해 낮은 전원 전압으로도 동작이 가능하므로 CCD보다 휴대용 기기들에 적용되기에 적합하다. 그러나 CIS는 CCD에 비해 감도가 낮고,

잡음이 많으며, 동작 범위가 좁다는 등의 단점이 있다. CIS의 이러한 단점들을 극복하고자 하는 연구들이 이루어지고 있으며^[2,3], 특히 전원 전압의 감소로 인해 줄어드는 동작 범위를 늘리기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 CMOS 이미지 센서의 단위 픽셀로 많이 사용되고 있는 일반적인 3-Tr 능동 픽셀 센서(active pixel sensor, APS)에 charge pump 회로^[4]를 적용해 낮은 전원 전압에서도 넓은 동작 범위를 가지는 능동 픽셀 센서를 설계 및 제작하였고, 그 특성을 측정하였다.

2. 이론 및 동작원리

그림 1은 일반적인 3-Tr APS의 회로도이고, 그림 2는 본 연구에서 제안한 APS의 회로도 및 레이아웃이다. 두 회로 모두 하나의 포토다이오드와 세 개의 MOSFET으로 구성되어 있는 3-Tr APS 구조이며, 두 회로의 차이점은 charge pumping을 위해 공통 소스 증폭기의 드레인에 구형파가 인가된다는 점이다. 본 연구에서 제안한 APS에 구형파를 인가하여 charge pumping을 함으로써 제안한 APS의 reset 직후 전하 집적 노드(N_{int}) 전압이 일반적인 3-Tr APS의 reset 직후 전압보다 높아져 이미지 센서의 동작 범위가 증가하게 된다.

경북대학교 전자공학과(Department of Electronics, Kyungpook National University)

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

(Received : January 23, 2008, Accepted : March 4, 2008)

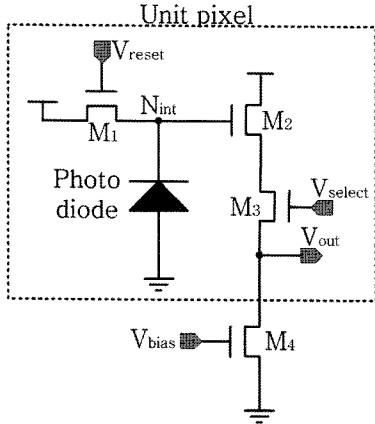
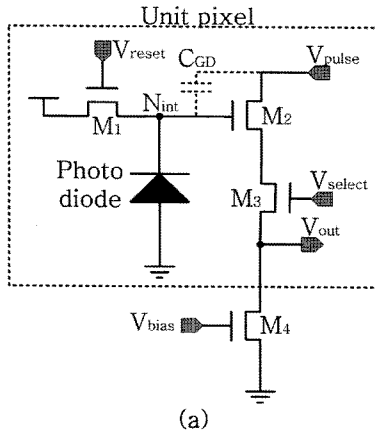
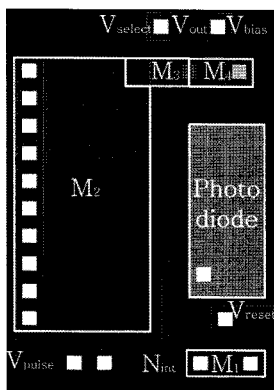


그림 1. 일반적인 3-Tr APS의 회로도
Fig. 1. Schematic of the conventional 3-Tr APS.



(a)



(b)

그림 2. 본 연구에서 제안한 APS (a) 회로도, (b) 레이아웃
Fig. 2. Proposed APS (a) schematic, (b) layout.

그림 3은 제안한 APS의 단위 픽셀에 사용되는 제어 신호로써 (a)는 픽셀의 리셋 신호, (b)는 V_{pulse} 단자에

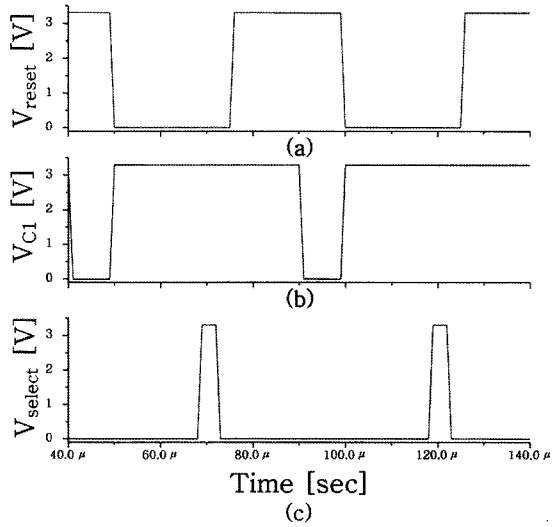


그림 3. 단위 픽셀의 제어신호 (a) V_{reset} , (b) V_{pulse} , (c) V_{select}
Fig. 3. Control signal of unit pixel (a) V_{reset} , (b) V_{pulse} , (c) V_{select} .

인가하는 구형파 신호, (c)는 픽셀을 선택하기 위한 신호이다. 리셋 신호와 선택 신호는 일반적인 3-Tr APS에 사용되는 신호와 동일하며, 구형파 신호는 제안한 회로에서 charge pumping을 위해 사용하는 제어 신호이다.

본 연구에서 제안한 APS의 기본 동작 원리는 다음과 같다. 제안한 APS의 단위 픽셀에 그림 3과 같은 제어 신호를 인가하면 reset 직후 N_{int} 의 전압은 공통 소스 증폭기의 게이트와 드레인 사이의 커패시터 C_{GD} 에 의해 charge pumping⁴⁻⁷⁾되어 일반적인 3-Tr APS의 reset 직후 전압보다 높아진다. 제안한 APS의 reset 직후 N_{int} 전압이 일반적인 3-Tr APS의 reset 직후 전압보다 높아지는 원리는 그림 4와 그림 5를 통해 쉽게 설명할 수 있다. 그림 4는 charge pumping 시 전하의 이동을 나타낸 것이고, 그림 5는 charge pumping 시 N_{int} 의 전위 우물 변화를 나타낸 것이다.

V_{pulse} 가 기준 전압(GND)인 기간 동안 N_{int} 의 전압은 V_{reset} 이며, 정공들이 C_{GD} 와 N_{int} 의 기생 커패시터 C_{Nint} 에 축적된다. V_{pulse} 가 V_{DD} 로 변하면서 C_{GD} 에 축적되어 있던 정공들은 C_{Nint} 로 나눠지게 되고, 그 결과 N_{int} 의 전압은 기존의 reset 직후 전압(V_{reset})보다 높아진다. 식 (1)은 V_{pulse} 가 GND인 기간 동안 C_{GD} 와 C_{Nint} 에 축적되는 정공의 양이고, 식 (2)는 V_{pulse} 가 V_{DD} 로 변한 후 즉, charge pumping 된 후의 C_{GD} 와 C_{Nint} 의 정공 양이다. 외부 영향에 의한 전하의 변화가 없다고 가정하면 charge pumping 전후에 C_{GD} 와 C_{Nint} 에 축적된 총전하

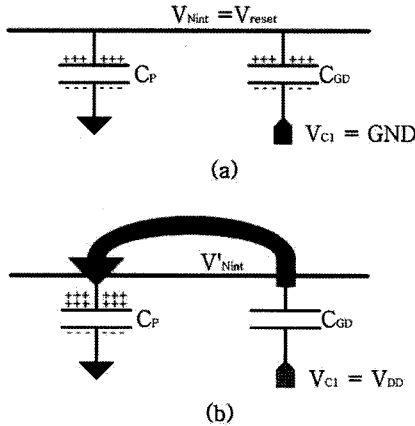


그림 4. Charge pumping 시 전하의 이동
 (a) charge pumping 전, (b) charge pumping 후
 Fig. 4. At charge pumping, moving of the charge
 (a) before charge pumping, (b) after charge pumping.
 량은 같으므로 식 (1)과 (2)로부터 charge pumping 후의 N_{int} 의 전압을 구해 보면 식 (3)과 같다.

$$Q = (C_{Nint} + C_{GD}) \times V_{reset} \quad (1)$$

$$Q' = C_{Nint} \times V'_{reset} + C_{GD}(V'_{reset} - V_{DD}) \quad (2)$$

$$V'_{reset} = V_{reset} + \frac{C_{GD} \times V_{DD}}{C_{Nint} + C_{GD}} \quad (3)$$

식 (3)에서 알 수 있듯이 charge pumping을 함으로써

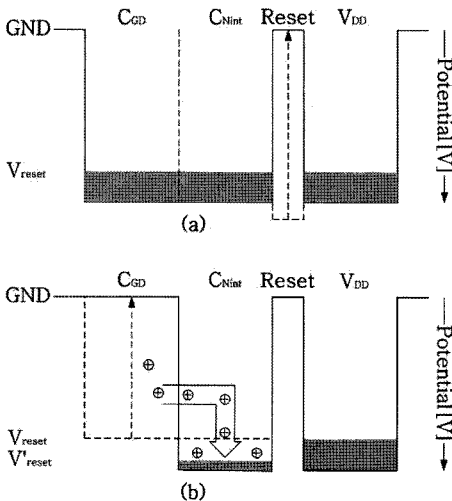


그림 5. Charge pumping 시 전하 집적 노드의 전위 우물
 (a) charge pumping 전, (b) charge pumping 후
 Fig. 5. At charge pumping, potential well of the integration node
 (a) before charge pumping, (b) after charge pumping.

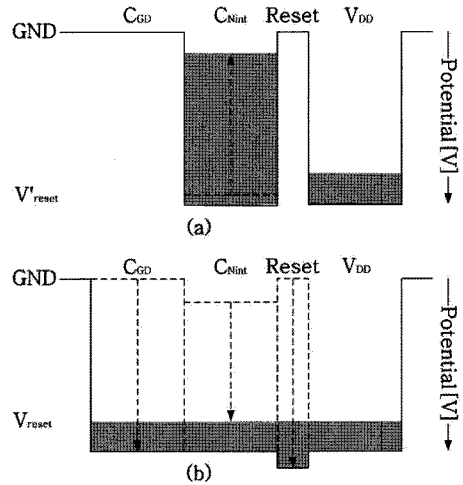


그림 6. 전하 집적 노드의 전위 우물
 (a) 전하 집적 기간, (b) reset 기간
 Fig. 6. Potential well of the integration node
 (a) during integration, (b) during reset.

N_{int} 의 전압이 $\frac{C_{GD} \times V_{DD}}{C_{Nint} + C_{GD}}$ 만큼 증가하였다.

Charge pumping 후 광검출기에서 빛의 세기에 비례하여 생성된 전하가 C_{Nint} 에 축적되면 N_{int} 의 전압은 낮아진다. N_{int} 의 전압이 낮아지는 속도는 빛의 세기에 비례한다. 이 때 N_{int} 의 전위 우물 변화를 그림 6 (a)에 나타내었다.

빛의 세기에 비례하여 낮아진 N_{int} 의 전압은 공통 드레인 증폭기(M_2)와 픽셀 선택 스위치(M_3)를 거쳐 출력된다. N_{int} 의 전압이 출력된 후 N_{int} 는 reset 신호에 의해 V_{reset} 로 reset되며, 그림 6 (b)와 같은 전위 우물의 변화를 나타낸다. 이와 같은 동작을 통해 본 연구에서 제안한 APS는 일반적인 3-Tr APS보다 동작 범위가 더 넓어지게 된다.

3. 모의실험 및 측정 결과

그림 7은 C_{GD} 의 크기에 따른 charge pumping을 모의실험 한 결과로써 그림 (a)는 C_{GD} 의 크기에 따른 N_{int} 의 전압이고, 그림 (b)는 C_{GD} 와 C_{Nint} 의 상대적 크기에 따른 N_{int} 의 전압 증가를 나타낸다. 그림 (a)와 (b)에서 알 수 있듯이 C_{GD} 의 크기가 증가함에 따라 N_{int} 의 전압은 더욱 증가한다. 그러나 그림 (b)와 식 (3)에서 알 수 있듯이 C_{GD} 의 크기 증가에 따른 N_{int} 의 전압 증가는 선형적이지 못하며, 식 C_{GD} 의 크기가 커질수록

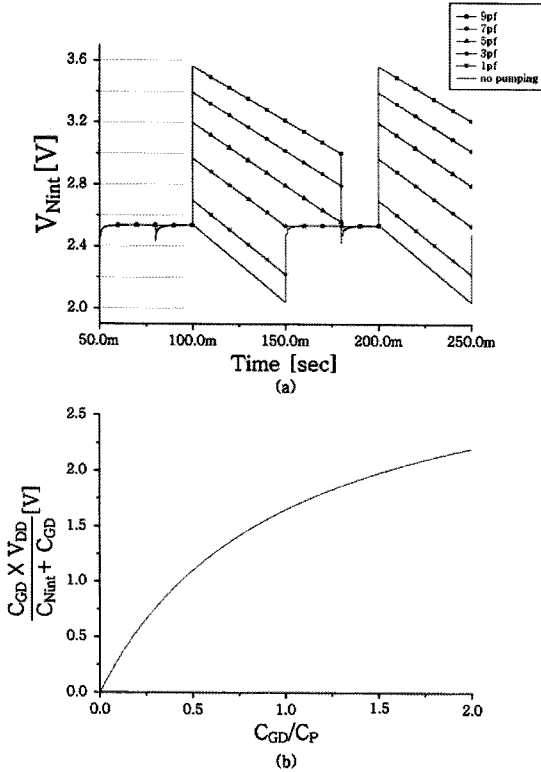


그림 7. Charge pump의 모의실험 결과
 (a) N_{int} 의 전압, (b) C_{GD} 의 증가에 따른 V_{Nint}
 Fig. 7. Simulation result of charge pump
 (a) voltage of N_{int} , (b) V_{Nint} as increase of C_{GD} .

charge pumping 시 N_{int} 의 전압 증가는 작아지는 것 또한 모의실험으로부터 알 수 있다.

그림 8은 일반적인 3-Tr APS의 모의실험 결과로써

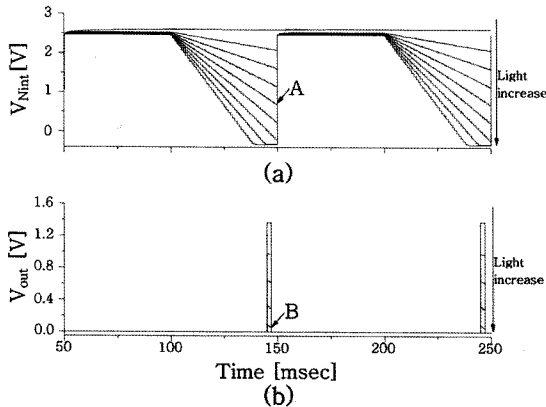


그림 8. 일반적인 3-Tr APS의 모의실험 결과
 (a) N_{int} 의 전압, (b) 출력 전압
 Fig. 8. Simulation result of conventional 3-Tr APS
 (a) voltage of N_{int} , (b) V_{out} .

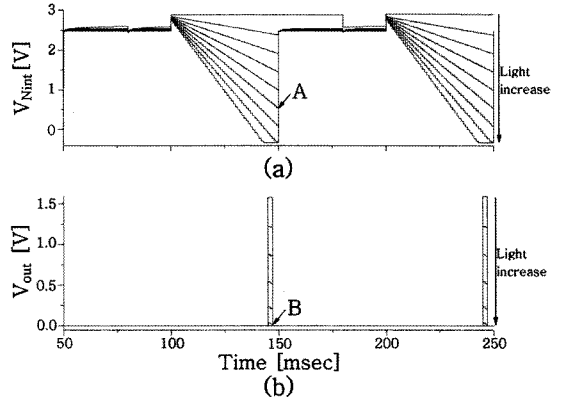


그림 9. 제안한 APS의 모의실험 결과
 (a) N_{int} 의 전압 (b) V_{out} 의 전압
 Fig. 9. Simulation result of the proposed APS
 (a) voltage of N_{int} , (b) V_{out} .

(a)는 N_{int} 의 전압이고, (b)는 출력 전압이다. 그림 8에서 확인할 수 있듯이 reset 직후 N_{int} 은 약 2.5 V로 reset되며, 이후 빛에 의해 생성된 광전류에 의해 N_{int} 의 전압과 출력 전압은 낮아진다. N_{int} 의 전압이 공통 드레인 증폭기의 문턱전압보다 낮아지는 A지점에서 출력 전압은 포화가 일어나며, 이 때의 출력 전압은 그림 (b)에 표시된 B 지점이다.

그림 9는 본 연구에서 제안한 APS의 모의실험 결과로써 (a)는 N_{int} 의 전압이고, (b)는 출력 전압이다.

그림 9의 (a)에서 N_{int} 에 charge pumping이 되면 N_{int} 의 전압이 기존의 reset 직후 전압보다 약 0.25 V 높아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 8과 9의 포화되는 빛의 세기를 비교해 보면 본 연구에서 제안한 APS가 charge pumping에 의해 N_{int} 의 전압 범위가 넓어짐

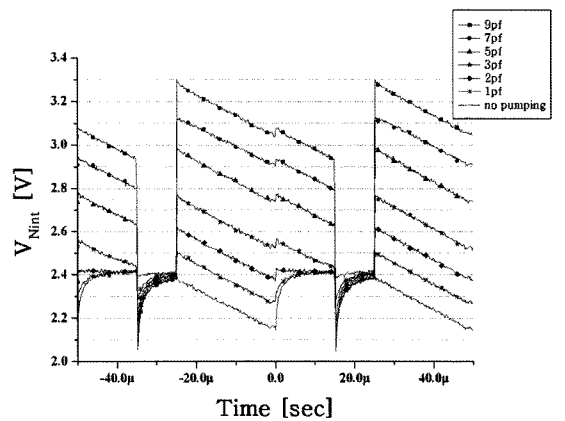


그림 10. Charge pump 회로의 측정 결과
 Fig. 10. Measurement result of the charge pump circuit.

으로써 일반적인 3-Tr APS보다 포화되는 빛의 세기가 증가한 것을 확인 할 수 있다.

그림 10은 제안한 APS에서 C_{GD} 의 크기에 따른 charge pumping 후의 N_{int} 의 전압을 측정된 결과로 그림 7의 (a) 모의실험 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다.

그림 11과 12는 출력 전압의 측정 결과이다. 그림 11은 일반적인 3-Tr APS의 출력 전압이고, 그림 12는 본 연구에서 제안한 APS의 출력 전압이다. 측정 결과를 통해 일반적인 3-Tr APS는 약 114,000 lux에서부터 출력 전압이 포화되는 것을 확인할 수 있으며, 제안한 APS는 약 125,000 lux에서 출력 전압이 포화되는 것을 확인할 수 있다. 모의실험에서 확인한 것과 같이 제안한 APS의 reset 직후 N_{int} 전압이 charge pumping에 의해 일반적인 3-Tr APS의 reset 직후 N_{int} 전압보다 약

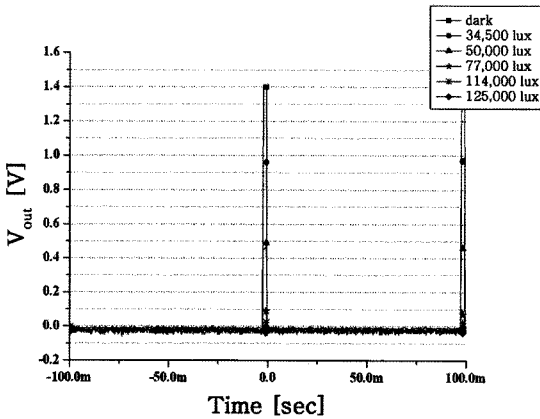


그림 11. 일반적인 3-Tr APS의 측정 결과
Fig. 11. Measurement result of conventional 3-Tr APS.

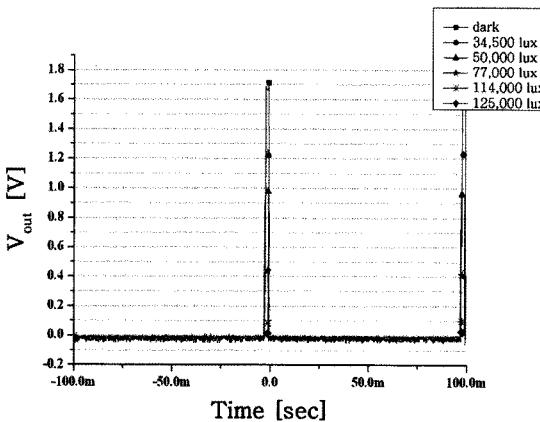


그림 12. 제안한 APS의 측정 결과
Fig. 12. Measurement result of the proposed APS.

0.25 V 상승함으로써 출력 전압 역시 약 0.25 V 증가한 것을 확인할 수 있다. 그 결과 본 연구에서 제안한 APS가 일반적인 3-Tr APS보다 더 강한 빛에서 포화가 되며, 이는 제안한 APS의 동작 범위가 증가하였다는 것을 의미한다.

제안한 APS의 모의실험 및 측정 결과를 통해 일반적인 3-Tr APS에 charge pump 회로를 사용하면 reset 직후 N_{int} 전압이 증가하여 더 넓은 동작 범위를 가지는 CMOS 이미지 센서를 구현할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 charge pump 회로를 이용해 동작 범위를 개선한 APS를 제안하였다. 제안한 APS는 일반적인 3-Tr APS와 동일한 구조이며, 공통 소스 증폭기 드레인에 구형파가 인가되는 것이 특징이다. 그리고 C_{GD} 를 이용하여 일반적인 3-Tr APS와 동일한 전원 전압을 사용하였을 때 제안한 APS는 전하 집적 노드의 최대 동작 전압 범위가 증가하였다. 본 연구에서는 제안한 회로에 대해 모의실험을 수행한 후, 2-poly 4-metal 0.35 μm 표준 CMOS 공정을 통해 칩을 제작하고 그 특성을 측정하였다. 측정 결과 일반적인 3-Tr APS는 114,000 lux에서 출력 전압이 포화되는 반면, 본 연구에서 제안한 APS는 125,000 lux에서 출력 전압이 포화되었다. 이로부터 본 연구에서 제안한 charge pump 회로를 사용한 APS가 일반적인 3-Tr APS보다 동작범위가 더 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 본 연구에서 제안한 charge pump 회로를 사용한 APS를 통해 더 넓은 동작 범위를 가지는 CMOS 이미지 센서를 구현할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 BK21과 IDEC(Integrated circuit Design Education Center)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] M. Bigas, E. Cabruja, J. Forest, and J. Salvi, "Review of CMOS image sensors", *Microelectronics*, vol. 37, pp. 433-451, 2006.
- [2] S. H. Seo, J. H. Park, J. K. Lee, I. S. Wang, J. K. Shin, Y. C. Jo, and H. Kim, "Characteristics of a PMOSFET photodetector for highly-sensitive active pixel sensor", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 12, no. 4,

- pp. 149-155, 2003.
- [3] H-J Yoon, J-H Park, S-H Seo, S-H Lee, M-Y Do, P. Choi, and J-K Shin, "A CMOS active pixel sensor with embedded electronic shutter and A/D converter", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 14, no. 4, pp. 272-277, 2005.
- [4] J. S. Brugler and P. G. Jespers, "Charge pumping in MOS devices", *IEEE Trans. Elect. Dev.*, vol. ED-16, no. 3, pp. 297-302, 1969.
- [5] V. Prabhakar, T. Brozek, Y.D. Chan, and C. R. Viswanathan, "LDD charge pumping - direct measurement of interface states in the overlap region", *IEDM*, pp. 45-48, Dec. 1995.
- [6] J. F. Dickson, "On-chip high-voltage generation in NMOS integrated circuits using an improved voltage multiplier technique", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. SC-11, pp. 374-378, June 1976.
- [7] Y-Y Chai, and E-H Jung, "Design of charge pump circuit for analog memory with single poly structure in sensor processing using neural networks", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 12, no. 1, pp. 51-56, 2003.



김 경 도

- 2006년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업(공학사)
- 현 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : CMOS image sensor, analog circuit design

서 상 호

- 센서학회지 제12권 제4호, p.149 참조
- 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정



서 민 응

- 2007년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업(공학사)
- 현 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : CMOS image sensor, charge pump

신 장 규

- 센서학회지 제3권 제1호, p.26 참조
- 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수