

CMOS 이미지 센서용 n-p-n-p 적층형 색 검출기

송영선, 윤일구

연세대학교 전기전자공학과

The n-p-n-p layer stacked color detector for CMOS image sensor

Youngsun Song, Ilgu Yun

Department of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University

Abstract : In this paper, the simulation of the n-p-n-p layer stacked color detector is presented. A color detector based on vertically integrated structures of silicon can overcome color moiré or color aliasing effect. The color detector is designed to separate the fundamental chromatic components at each junction and exhibits maxima of the spectral sensitivity at red, green, and blue region, respectively. From this result, it is observed that the spectral response can be controlled by the doping concentration and structure of the devices.

Key Words : color detector, spectral sensitivity, color moiré, color aliasing effect

1. 서 론

저전력, 'camera-on-a-chip'이 가능한 높은 집적도 등의 장점을 갖는 CMOS 이미지 센서의 발전은 최근 몇 년간 빠른 발전을 거듭하여 CCD에 버금가는 고화질의 이미지 프로세싱을 가능케 하였다. 특히 저사양 이미지 캡처 시스템과 모바일 응용 플랫폼에서 CMOS 이미지 센서의 점유율은 CCD를 이미 능가하였다. 그러나 모자이크 패턴의 color filter array(CFA)를 사용함으로써 발생하는 color moiré 나 color aliasing effect와 같은 부수적 에러와 1개의 픽셀 구성에 있어 4개의 부픽셀을 사용하는 비효율적 구조, 디지털 이미지 프로세스의 복잡도 증가 등의 보완성 문제가 여전히 남아있다.

따라서 본 연구에서는 이런 문제점들을 극복하기 위해 새로운 구조의 색 검출기를 제안하였다. 물질로 입사하는 R(red), G(green), B(blue) 파장의 흡수 깊이가 각각 다르다는 점을 착안하여 세 개의 흡수 영역이 수직으로 적층된 구조의 색 검출기를 연구하였다. 화학적 컬러 필름의 강광층 구조와 같이 n형 실리콘과 p형 실리콘이 교대로 적층된 n-p-n-p 구조에서 각 접합이 감광층의 역할을 하여 R, G, B의 신호를 검출하게 된다. 또한 각 n, p층에 위치한 4개의 전극을 통해 검출된 RGB 신호들을 동시에 읽어낼 수 있게 된다.

2. 소자의 구조

본 연구에서 살펴보고자 하는 색 검출기의 구조는 그림 1과 같다. 실리콘 기판에 입사하는 RGB 광원의 각 파장별 흡수 영역을 결정하기 위해 각층의 두께를 photogeneration rate를 조사하여 적합한 epitaxial layer 로 성장된 두께로 결정하였다. 결정된 junction 깊이로부터 RGB 영역에 해당하는 공핍층의 두께는 각 층의 도핑 농도를 고려하여 결정하였으며 이에 따른 B 영역의 테스트 구조와 구조 변수는 표 2에 명시하였다. 테스트 구조 결과를 그림 2와 그림 3

에 도시하였다. 테스트 구조 1, 2, 3은 Junction 1의 깊이만을 변수로 적용하였으며, 테스트 구조 4, 5, 6은 Junction 1의 깊이를 70 nm에 고정시키고 p₁의 도핑 농도만을 조정하여 테스트를 실시하였다. G 영역과 R 영역도 위와 같은 테스트 구조를 적용하여 색 검출기의 구조에 반영하였으며 이에 따른 각 n₁, p₁, n₂, p₂층의 두께와 도핑 농도는 표 1에 명시하였다.

표 1. 색 검출기 구조 변수.

층	두께	도핑농도
n ₁	70nm	9×10 ¹⁹ /cm ³
p ₁	830nm	7×10 ¹⁹ /cm ³
n ₂	600nm	6×10 ¹⁹ /cm ³
p ₂	1000nm	1×10 ¹⁸ /cm ³

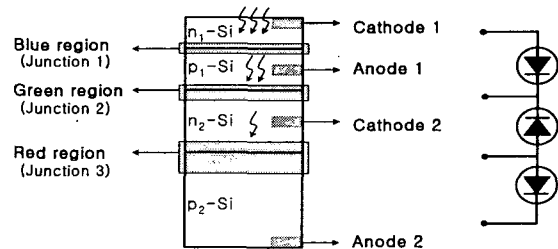


그림 1. n-p-n-p 적층형 색 검출기 구조.

표 2. Blue 영역 테스트 구조 변수.

테스트 구조	Junction 1 깊이	테스트 구조	p ₁ 도핑 농도
1	20 nm	4	8×10 ¹⁹ /cm ³
2	70 nm	5	4.5×10 ¹⁹ /cm ³
3	130 nm	6	1×10 ¹⁹ /cm ³

또한 RGB 해당 신호를 동시에 읽기 위해 4개의 전극을 각 n₁, p₁, n₂, p₂층 사이에 위치시켜 3개의 p-n 포토다이오드가 직렬로 연결된 구조를 갖게 하였다.

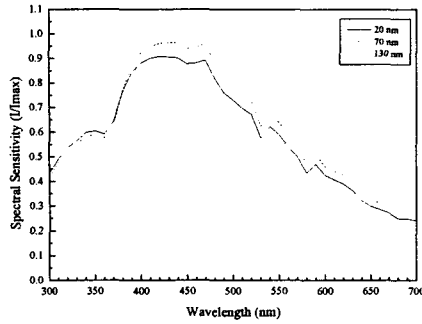


그림 2. Junction 깊이 변화에 따른 spectral sensitivity.

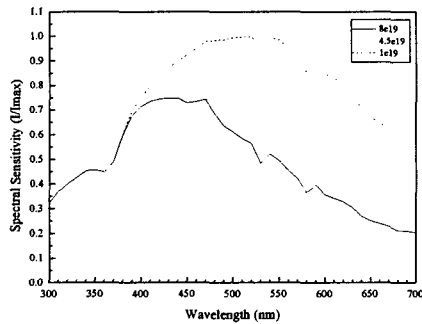


그림 3. p₁ 도핑 농도 변화에 spectral response.

3. 결과 및 검토

그림 4에서는 역방향 바이어스 1V, 광원 세기 0.1 mW/cm²에서 시뮬레이션 된 spectral sensitivity를 전류 최대값에 대한 전류의 비율(I/Imax)로 도시하였다. 이를 통해 R, G, B 스펙트럼 영역에서 각각 해당 공핍층으로부터 발생한 광전류가 우위에 있음을 알 수 있다. 표 3는 각 색 영역 파장, 460nm(blue), 530nm(green), 600nm(red)에 대한 전류 밀도와 암전류 밀도 및 dynamic range를 명시하였다. 위의 결과로부터 파장에 따른 신호 분리가 가능함을 알 수 있었으나, spectral sensitivity의 FWHM(full width at half maximum)에 해당하는 파장 영역이 넓어 효과적 검출에 어려움이 있음을 알 수 있다. 또한 암전류에 대해 80dB 이하의 dynamic range를 보임으로써 소자구조 개선이 필요함을 알 수 있다.

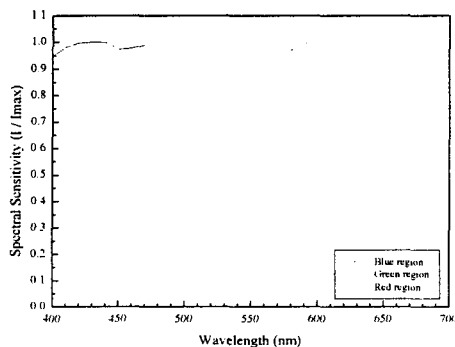


그림 4. Spectral sensitivity.

표 3. 색 영역별 전류 밀도 및 dynamic range.

Color	Current density (A/cm ²)		
	Junction 1	Junction 2	Junction 3
Blue	5.89E-5	3.85E-5	1.06E-5
Green	3.84E-5	4.63E-5	3.10E-5
Red	2.83E-5	4.10E-5	3.79E-5
Dark	3.73E-8	1.06E-8	7.85E-9

Color	Dynamic range (dB)		
	Junction 1	Junction2	Junction 3
Blue	63.97	71.20	62.61
Green	60.25	72.80	71.93
Red	57.60	71.74	73.68

* Light intensity : 0.1 mW/cm²

Reverse Bias : 1V

4. 결론

본 연구에서는 RGB 색신호를 4개의 부 픽셀과 CFA 사용 없이 검출할 수 있는 n-p-n-p 적층형 색 검출기에 대해 알아보았다. 위의 결과들로부터 깊이에 따라 형성된 B 영역, G 영역, R 영역 각각에서 해당 색파장의 신호가 우위에 있음을 확인하였다. 따라서 적층형 구조의 색 검출기로부터 RGB 신호를 동시에 검출할 수 있음을 알 수 있었으며, 기존의 CFA를 사용한 색 검출기의 color moiré나 color aliasing effect를 제거할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 80 dB에 못 미치는 dynamic range와 spectral sensitivity의 넓은 FWHM이 해결 문제로 남아 있다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

- [1] F. Irrera, F. Lemmi, and F. Palma, "Transient behavior of adjustable threshold a-Si:H/a-SiC:H three-color detector", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 44, No. 9, 1997.
- [2] D. Knipp, H. Stiebig, J. Fölsch, and H. Wagner, "Four terminal color detector for digital signal processing", J. of Non-Cryst. Solids, Vol. 227-230, p. 1321, 1998.
- [3] D. Knipp, P. G. Herzog, and H. Stiebig, "Stacked Amorphous Silicon Color Sensor", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 49, No. 1, p. 170, 2002.
- [4] R. F. Lyon and P. M. Hubel, "Eyeing the Camera: Into the Next Century", Proc. IS&T/SID Tenth Color Imaging Conf. : Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications, Scottsdale, Arizona, p. 349, 2002.