

SOI NMOSFET을 이용한 Photo Detector의 특성

Properties of Photo Detector using SOI NMOSFET

김종준*, 정두연**, 이종호***, 오환솔*

(Jong-Jun Kim*, Doo-Yeon Chung**, Jong-Ho Lee***, and Hwan-Sool Oh*)

Abstract

In this paper, a new Silicon on Insulator (SOI)-based photodetector was proposed, and its basic operation principle was explained. Fabrication steps of the detector are compatible with those of conventional SOI CMOS technology. With the proposed structure, RGB (Red, Green, Blue) which are three primary colors of light can be realized without using any organic color filters. It was shown that the characteristics of the SOI-based detector are better than those of bulk-based detector. To see the response characteristics to the green (G) among RGB, SOI and bulk NMOSFETs were fabricated using 1.5 μm CMOS technology and characterized. We obtained optimum optical response characteristics at $V_{GS}=0.35$ V in NMOSFET with threshold voltage of 0.72 V. Drain bias should be less than about 1.5 V to avoid any problem from floating body effect, since the body of the SOI NMOSFET was floated. The SOI and the bulk NMOSFETs shown maximum drain currents at the wavelengths of incident light around 550 nm and 750 nm, respectively. Therefore the SOI detector is more suitable for the G color detector.

Key Words : SOI, Photodetector, Color image sensor, CMOS, Optimum bias, Green color

1. 서 론

실리콘 반도체 기술의 발달로 기존에 이미지 센서 기술로 각광을 받아왔던 CCD (Charge Coupled Device)와 더불어 CMOS 형으로 이미지 센서를 구현할 수 있게 되어, 최근 활발히 연구되고 있다[1,2]. CMOS 이미지 센서는 CCD 기술에 비해 기존의 CMOS 기술로 그대로 이용할 수 있으며, 수광 다이오우드 주변에 CMOS 회로를 설계해서 수신된 광 신호를 on-chip에서 바로 처리할 수 있어 고집적, 저가격 및 저전력을 구현할 수 있

는 장점이 있다[3].

SOI 기술은 이미 고속회로의 구현에 적용되어 속도 및 저전력의 관점에서 벌크 CMOS 기술에 비해 장점이 있음이 잘 알려져 있다[4-7]. 또한 radiation에 강한 면을 보이고 있다[8]. 따라서 이미지 센서를 SOI 기술로 구현하면 많은 장점 및 응용분야를 갖게 된다. 그러나 문제점으로는 얇은 실리콘 필름 영역에 형성된 빛을 받는 포토 셀이 형성되어 있기 때문에 벌크에 비해 광 전류가 아주 작아지는 현상을 보이고 있다[2,3,9]. 이와 같은 SOI 포토 셀이 갖는 문제점을 극복하기 위해 게이트와 바디를 함께 묶은 NMOS 소자가 소개되었다[10]. 즉 게이트를 통해 들어온 photon에 의해 바디에서 전자-정공 쌍을 생성하고 전자는 드레인으로 나가고 정공은 바디에 남아서 바디 전위를 높이고 이는 NMOS의 문턱전압을 낮추어 드레인 전류를 증가시켜, 결국 광을 증폭하는 기능을 한다. 이 개념을 벌크 포토 셀에 확장한 것도 발표되었

* : 건국대학교 전자·정보통신공학부

(서울시 성동구 모진동 93-1,

Fax: 02-887-6575

E-mail: jkim@isrca.snu.ac.kr)

** : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부

*** : 경북대학교 전기전자공학부

2002년 2월 14일 접수, 2002년 3월 8일 1차 심사 완료

2002년 4월 2일 최종 심사 완료

다[11]. 바디 단자를 floating시킨 SOI NMOSFET에서 흡수된 광신호를 증폭할 수 있도록 한 것도 발표되었다[12]. 그러나 이들 플로팅 바디를 가진 SOI 소자의 광응답 특성은 분석이 충분하지 않다. 예를 들면 게이트, 드레인, 기판의 바이어스에 따른 광응답특성에 대한 언급이 없고, 특히 최적의 바이어스 조건을 보이지 않았다.

폴리실리콘 게이트는 단과장(예: 청색(blue) 신호)에 대한 광 흡수층으로 사용될 수 있음이 벌크 MOS에 대해서 분석된 바가 있다[13]. SOI MOS 소자에 대해서는 본 저자에 의해 시뮬레이션 및 간단한 측정으로 비교 분석되었다[14].

본 논문에서는 측정결과를 토대로 SOI NMOSFET에서 광응답 특성을 최적화할 수 있는 바이어스 조건과 기판바이어스에 대한 특성을 보인다. 또한 벌크 MOSFET의 광응답 특성과 비교하여 SOI NMOSFET이 입력광의 주파수에 따른 특성이 우수함을 보인다.

2. 소자제작 및 측정장치

그림 1은 SOI를 이용하여 칼라필터없이 칼라를 구현하기 위하여 SOI 기판에 형성된 광 수신 셀의 단면을 보이고 있다. RGB에 해당하는 칼라를 인식하기 위한 셀은 그림 1에서 "R", "G", "B"로 표시하였다. 청색에 해당하는 신호는 "B"로 표시된 수평형 n⁺-p 다이오우드에서 바로 수신된다. 녹색 신호는 "G"로 표시된 SOI NMOSFET에서 검출되도록 고안하였다. "G" 포토셀은 게이트로 폴리실리콘을 갖고 있는데, 이 폴리실리콘은 청색신호를 흡수하기 때문에 청색신호는 매우 작다. 반면에 녹색과 적색신호는 검출된다. 함께 검출되는 적색신호는 주변회로에서 신호처리를 통해 제거한다. 적색신호를 흡수하기 위한 "R" 포토셀은 게이트와 실리콘 필름 아래의 실리콘 기판에 형성된 n웰과 p 기판 사이의 다이오우드에 의해 검출되도록 하였다. 이 셀에서는 거의 적색신호가 지배적으로 검출되기 때문에 여기에 흡수된 신호를 근간으로 해서 "B" 포토셀에서 흡수된 적색신호를 신호처리를 통해 제거할 수 있다. 그림 1의 왼쪽에는 신호처리를 위한 MOSFET을 상징적으로 표시하였다. 이와 같이 현대의 발전된 CMOS 공정을 이용하여 칼라필터없이 칼라를 구현할 수 있는 CMOS 이미지 센서를 구현한다. 물론 칼라 품질은 기존의 칼라필터를 사용하는 CMOS 이미지 센서에 비해 떨어질 수 있으며, 비교 연구가 더 필요하다. RGB 신호의 크

기에 대한 각 셀의 광응답 특성을 기본으로 해서 신호 크기에 대한 보정을 주변회로에서 할 수 있다.

이와 같은 SOI를 기반으로 하는 포토셀은 벌크를 기반으로 하는 CMOS 기술에서 형성되는 포토셀에 비해 특정 주파수를 가진 광입력 신호를 더 분명하게 구별할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 본 저자들이 검증하였다[14]. 이것에 대한 주된 이유

그림 1. SOI 기판에 형성된 제안된 RGB 포토셀을 보여주는 단면도. 칼라필터 없이 칼라를 구현할 수 있도록 고안되었다.

Fig. 1. Cross-sectional view showing proposed RGB photocells formed in SOI wafer. Color image can be implemented without color filter.

그림 2. SOI 기판에 형성된 "G" 포토셀의 현미경 사진(a)과 셀의 단면(b).

Fig. 2. Micro-photograph (a) and cross-sectional view of "G" photocell formed in SOI wafer.

는 SOI 기판은 벌크 기판에 비해 매몰산화막 (BOX)을 갖고 있어 신호의 썩임이 작기 때문이다.

본 논문에서는 위의 포토셀 중에서 녹색신호를 검출하는 SOI NMOSFET을 제작하여 광신호에 따른 특성을 분석하고 적당한 바이어스 조건을 제안한다. 제안된 포토셀은 1.5 μm 표준 CMOS 공정을 이용하여 제작하였다. 비교를 위해 SOI 웨이퍼와 벌크 실리콘 웨이퍼를 근간으로 소자를 제작하였다. SOI 웨이퍼에서 실리콘 필름의 두께는 150 nm이다.

그림 2의 (a)는 제작된 포토셀의 현미경 사진이다. 그림 2의 (b)는 (a)의 가운데를 절단하였을 때의 단면이다. SOI NMOSFET의 기판은 광신호의 증폭효과를 얻기 위해 플로팅하였고, 수광부 외에 다른 곳에 빛이 흡수되지 않도록 2nd 금속층을 이용해 차단하였다. 10^{20} cm^{-3} 이상으로 도우핑된 n형 폴리실리콘 게이트는 앞서 설명한 것과 같이 청색신호를 거의 흡수하는 역할을 하게된다.

제작된 소자를 분석하기 위한 측정장치는 그림 3에 보여진다. 장치는 백색광원(mcPHERSON, Model No. 718), 스펙트로미터(CVI Laser Co., Model No. DK 418), 반도체 파라미터 분석기(HP4155)로 구성된다. 광의 세기를 보정하기 위해 광과 측정기(Newport, Model No. 1830-C)를 사용

하였다. 소자는 측정을 위해 리드 프레임에만 접촉하여 와이어 배선을 수행하였다. 광은 그림 3에서 보이는 렌즈 조합을 이용해 집중하여 소자에서의 면적이 200 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 되게 하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 측정된 SOI NMOSFET의 I_D - V_{GS} 특성이다. Dark 상태와 파장이 550 nm이고 세기가 0.8 mW/cm^2 인 빛이 인가되었을 때의 특성을 함께 보이고 있다. Dark 상태에서 측정된 결과를 보면, 우선 누설전류는 0.1 $\text{pA}/\mu\text{m}$ 정도로 매우 낮았고, 양호한 on-off 특성을 보이고 있다. 드레인 전압이 약 1 V 정도 이상으로 증가하면서 subthreshold 영역에서 드레인 전류가 갑자기 증가하는 소위 플로팅된 바디에 의한 효과를 보이고 있다. 드레인 전압이 증가하면서 생성된 전자는 드레인으로 빠져 나가면서 드레인 전류가 되지만 정공은 플로팅된 바디에 쌓이게 되고 이는 소자의 문턱전압을 떨어뜨리는 효과를 가져오기 때문이다. 세기가 0.8 mW/cm^2 인 녹색광이 조사되면 subthreshold 영역에서 드레인 전압에 따른 차이는 dark 상태에 비해 상대적으로 줄어들고, dark 상태에서의 특성이

그림 3. 백색광원, 분광기 및 반도체 파라미터 분석기로 구성된 측정장치. 입력광은 집속렌즈에 의해 200 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 로 집중되어 DUT에 조사된다.

Fig. 3. Measurement equipment which consists of white light source, spectrometer, and semiconductor parameter analyzer. Incident light is illuminated to DUT with the size of 200 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ by focus lenses.

그림 4. Dark 상태에서와 빛이 조사되는 경우에 대한 SOI NMOSFET 포토셀의 I_D - V_{GS} 특성. 광의 세기가 0.8 mW/cm^2 인 녹색광 ($\lambda=550 \text{ nm}$)이 조사되었다.

Fig. 4. I_D - V_{GS} characteristics of SOI NMOSFET photocell with and without light illumination. Green light ($\lambda=550 \text{ nm}$) having light intensity of 0.8 mW/cm^2 was illuminated.

낮은 게이트 전압쪽으로 이동하는 현상을 보이고 있다. 즉, subthreshold 영역에서는 광에 의한 변화가 크게 나타나는 구간이고 기존의 발표된 결과와 일치하고 있다[12]. 그러나 게이트 전압이 증가해서 소자가 켜지게 되면 광에 의한 변화는 작아지게 된다.

빛을 조사함으로써 문턱전압이 얼마나 변하는지를 그림 5에서 관찰할 수 있다. 그림 5에서는 V_{DS} 가 0.1 V인 경우 I_D 와 g_m 을 함께 표시하였다. Dark 상태에서는 문턱전압이 약 0.72 V이며, 빛이 주어진 경우에는 약 0.45 V로 얻어졌다. 빛에 의해 문턱전압이 감소하고, 결국 전류가 증가되는 효과를 가져온다. 빛이 켜지면서 문턱전압은 낮아졌지만 g_m 은 dark 상태와 거의 같은 값을 보였다. 선형 동작영역에서는 g_m 이 문턱전압에 크게 영향받지 않고 V_{DS} 에 영향받기 때문이다.

그림 6은 그림 4에서 보인 것과 같이 subthreshold 영역에서 dark 상태에서의 전류에 비해 빛이 켜진 경우 얼마나 드레인 전류가 증가하는가를 보기 위해 측정하였다. 역시 광의 세기가 0.8 mW/cm^2 인 녹색광($\lambda=550$ nm)이 조사되었다. 그림 6의 내부에 보여진 작은 그림을 보면, 드레인 전압이 약 2 V이하인 경우 광 조사에 따른 전류증

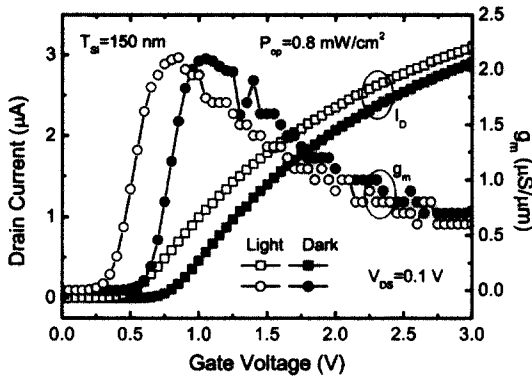


그림 5. Dark 상태에서와 빛이 조사되는 경우에 대한 SOI NMOSFET 포토셀의 I_D - V_{GS} 와 g_m . 광의 세기가 0.8 mW/cm^2 인 녹색광($\lambda=550$ nm)이 조사되었다.

Fig. 5. I_D - V_{GS} and g_m characteristics of SOI NMOSFET photocell with and without light illumination. Green light ($\lambda=550$ nm) having light intensity of 0.8 mW/cm^2 was illuminated.

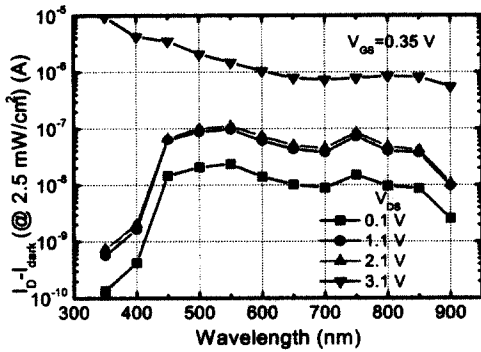
가는 최대 약 300이고 이득이 최대가 되는 V_{GS} 는 약 0.35 V임을 알 수 있다. 드레인 전압이 0.1 V일 때는 최대값이 약 230 정도이다. 드레인 전압이 약 2 V 이상이 되면 플로팅 바디 효과가 크게 나타나 이득이 V_{GS} 에 따라 크게 바뀔 수 있어 포토셀 동작전압으로 적절하지 않다. 따라서 결국 드레인 전압은 약 0.5 V 보다는 크고 약 2 V 보다는 작은 값이 적절하다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 SOI NMOSFET 포토셀에 대한 입력 광의 주파수에 따른 광 응답 특성을 보이고 있다. 여기서 광응답 특성은 빛이 조사되었을 때 드레인 전류에서 dark 상태에서의 드레인 전류를 뺀 것으로 정의하였다.

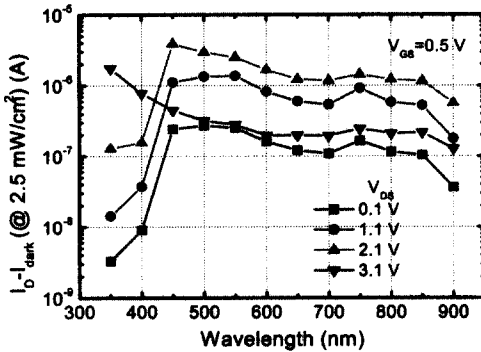
이때 광의 세기는 모든 주파수에서 2.5 mW/cm^2 이다. 입사광의 파장은 350 nm에서 900 nm이고, 드레인 전압은 0.1, 1.1, 2.1, 3.1 V이다. 게이트 전압은 (a)에서 0.35 V, (b)에서 0.5 V, (c)에서는 0.75 V이다. 그림 (a)에서 드레인 전압이 약 2 V 이하인 경우 350 nm에서 450 nm 사이의 파장을 가진 입사광에 대한 광전류는 상대적으로 작음을 알 수 있는데, 이는 결국 이런 단파장의 빛이 거의 폴리

그림 6. Dark 상태에서의 드레인 전류에 대한 빛이 조사되는 경우의 드레인 전류비. 광의 세기가 0.8 mW/cm^2 인 녹색광($\lambda=550$ nm)이 조사되었다. 작은 그림은 선형으로 나타낸 전류비이다.

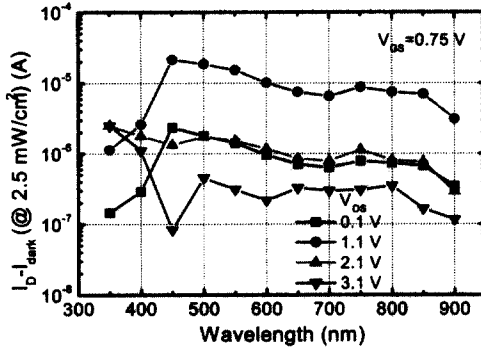
Fig. 6. I_D with light over I_D in dark versus V_{GS} as a parameter of V_{DS} . Green light ($\lambda=550$ nm) having light intensity of 0.8 mW/cm^2 was illuminated. The insert represents I_D in linear scale.



(a)



(b)

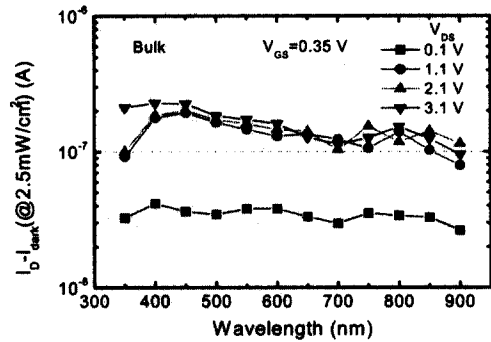


(c)

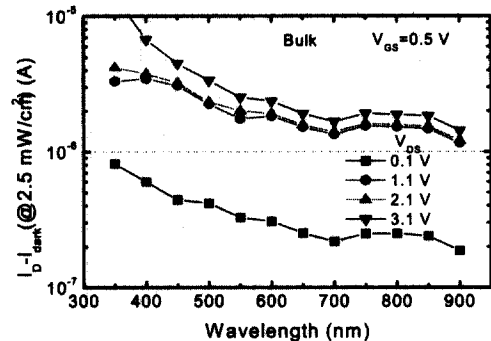
그림 7. V_{DS} 함수로 보인 입사광의 파장에 따른 SOI 포토셀의 순수 광전류($I_D - I_{dark}$). (a) $V_{GS}=0.35$ V. (b) $V_{GS}=0.5$ V. (c) $V_{GS}=0.75$ V. 광의 세기가 2.5 mW/cm^2 인 빛이 조사되었다.

Fig. 7. Pure optical current ($I_D - I_{dark}$) of SOI photocell versus wavelength as parameter of V_{DS} . (a) $V_{GS}=0.35$ V. (b) $V_{GS}=0.5$ V. (c) $V_{GS}=0.75$ V. Light with a intensity of 2.5 mW/cm^2 was illuminated.

실리콘 게이트에 흡수되었기 때문이다. 그림 1에서 설명한 것과 같이 "G" 포토셀은 녹색과 적색에 대한 빛에 대해 응답하는 것으로 측정결과에서 나타났다. 특히, 파장이 550 nm 근처에서 상대적으로 광 응답 크게 관찰되어 녹색의 입력광을 검출하기에 적합한 것으로 생각된다. V_{DS} 가 1.1 V와 2.1 V인 경우, 파장이 550 nm 일 때의 응답이 400 nm의 응답에 비해 약 50 배 정도 더 크게 관찰되었으며, 이는 폴리실리콘 게이트에 의해서 400 nm의 빛이 흡수되었기 때문이다. V_{DS} 가 3.1 V일 때는 그림 4에서 보는 것과 같이 같은 V_{DS} 에서 SOI 소자에서 나타나는 플로팅 바디 효과에 의해 subth-



(a)

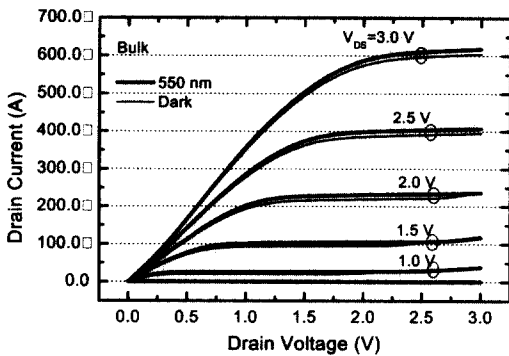


(b)

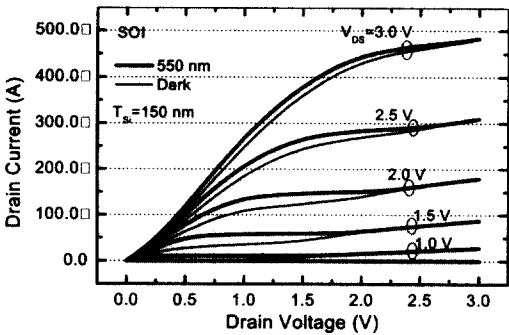
그림 8. V_{DS} 함수로 보인 입사광의 파장에 따른 벌크 포토셀의 순수 광전류($I_D - I_{dark}$). (a) $V_{GS}=0.35$ V. (b) $V_{GS}=0.5$ V. 광의 세기가 2.5 mW/cm^2 인 빛이 조사되었다.

Fig. 8. Pure optical current ($I_D - I_{dark}$) of bulk photocell versus wavelength as a parameter of V_{DS} . (a) $V_{GS}=0.35$ V. (b) $V_{GS}=0.5$ V. Light with a intensity of 2.5 mW/cm^2 was illuminated.

reshold 영역에서 전류가 갑자기 증가하는 현상을 관찰할 수 있다. 이것에 의해 그림 (a)에서 보는 것과 같이 V_{DS} 가 3.1 V일 경우는 특별한 주파수 응답을 보이지 않고 있다. 그림 (b)에서는 V_{GS} 가 0.5 V인 경우 파장에 따른 광 응답을 보이고 있다. 550 nm에서의 광 전류가 400 nm에서의 값보다 약 35배 정도로 V_{GS} 가 0.35 V일 때에 비해 상대적으로 주파수 응답 특성이 나빠졌다고 할 수 있다. 이는 게이트 전압 증가에 따라 소자의 turn-on 전류가 증가하면서 상대적으로 광에 의한 전류가 줄어들었기 때문이다. 여기서 V_{DS} 가 2.1 V로 증가하면서 응답특성이 나빠지고 있으며, 그림 (a)에서와



(a)



(b)

그림 9. Dark 상태에서와 빛이 조사되는 경우에 대한 벌크(a)와 SOI(b) NMOSFET 포토셀의 I_D - V_{DS} 특성. 광의 세기가 $0.8\text{mW}/\text{cm}^2$ 인 녹색광 ($\lambda=550\text{ nm}$)이 조사되었다.

Fig. 9. I_D - V_{GS} characteristics of bulk(a) and SOI(b) NMOSFET photocells with and without light illumination. Green light ($\lambda=550\text{ nm}$) having light intensity of $0.8\text{ mW}/\text{cm}^2$ was illuminated.

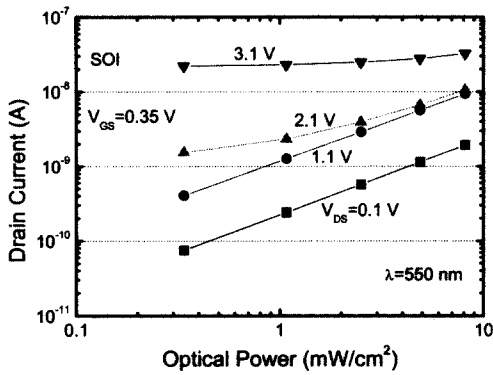
같이 3.1 V일 때는 주파수에 따른 특정 응답특성을 보이지 않고 있다. 그림 (c)는 입사광의 주파수에 따른 응답특성이 더 나빠졌음을 알 수 있고 이는 앞서 언급한 그림 (b)에서의 결과가 같은 경향을 보이고 있다. 또한 그림 4의 결과와도 일치하고 있으며, 그림 6의 결과와도 잘 일치하고 있다.

그림 8은 그림 7과 같은 공정조건으로 벌크 기판에 제작된 NMOSFET으로 기판이 접지된 상태에서 광입력에 따른 응답이 측정되었다. V_{GS} 가 0.35 V인 경우와 0.5 V인 경우의 결과는 그림 (a)와 (b)에 각각 보여진다.

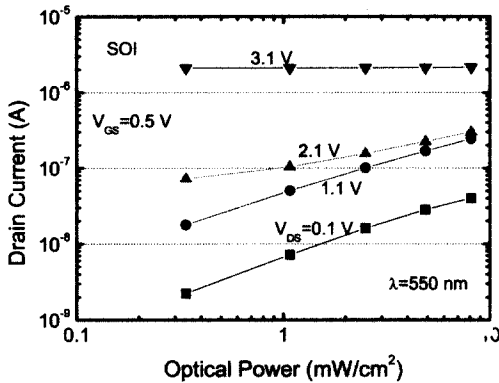
전체적으로 광응답이 특정 주파수에 대해 국한되어 있지 않고, 마치 그림 7의 높은 V_{DS} 에 대한 결과와 같은 형태의 결과를 보이고 있다. 단파장 (350 nm - 450 nm) 영역의 광은 폴리실리곤 게이트에 흡수가 예상되었었고, 이는 그림 (a)에서 약간 흡수 특성이 보이는 듯 하였으나 (b)의 V_{GS} 가 0.5 V인 경우는 앞서 언급한 것과 같이 특정주파수에 대한 응답특성을 보이지 않고 있다. 벌크 소자의 경우 SOI 경우와는 달리 광 증폭 효과가 없기 때문에 그림 7과 같은 결과를 관찰할 수 없었다. 모든 결과는 같은 광의 세기를 기준으로 하여 표시한 것이다. SOI의 경우가 포토셀로서 더 적합함을 알 수 있다.

그림 9는 같은 제조 공정으로 제작된 동일 조건의 벌크와 SOI 웨이퍼에서 측정된 NMOSFET 포토셀의 I_D - V_{DS} 특성을 보이고 있다. 채널 길이가 $10\ \mu\text{m}$ 이고 게이트 산화막의 두께가 25 nm인 소자에서 측정될 수 있는 소자의 특성으로 특별한 문제가 없다. 파장이 550 nm이고 세기가 $0.8\text{ mW}/\text{cm}^2$ 인 빛이 있는 상태와 dark 상태에서 측정된 결과로 빛이 있는 경우 상대적으로 큰 전류를 보이고 있다. 그림 (b)는 SOI의 경우로 그림 (a)의 벌크 소자에 비해 빛의 유무에 따른 전류차이가 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 앞서 그림에서는 subthreshold 영역에서 SOI가 우수함을 보였는데, 이미 켜져 있는 상태에서도 우수함을 알 수 있다.

그림 10은 SOI NMOSFET 포토셀에서 측정된 광의 세기에 따른 드레인 전류를 보이고 있다. 입사광의 파장은 550 nm이고 세기는 $0.34\text{ mW}/\text{cm}^2$ 에서 약 $8\text{ mW}/\text{cm}^2$ 까지 변화시켰다. 그림 (a)와 (b)는 각각 V_{GS} 가 0.35 V와 0.5 V일 때 측정된 값이다. 그림 (a)와 (b)에서 전체적으로 드레인 전압이 약 1.1 V 이상 증가하면서 입력광의 세기에 따른 드레인 전류 변화가 작게 측정되었는데, 이는 플로팅 바디에 의한 과도한 드레인 전류 증가에



(a)



(b)

그림 10. 빛의 세기에 따른 SOI NMOSFET 포토셀의 드레인 전류 변화. (a) $V_{GS}=0.35$ V. (b) $V_{GS}=0.5$ V.

Fig. 10. I_D of SOI NMOSFET photocells with optical power intensity. (a) $V_{GS}=0.35$ V. (b) $V_{GS}=0.5$ V.

기인한다.

따라서 약 1.5 V 이하의 V_{DS} 를 유지해야 입력광의 세기에 따른 드레인 전류의 변화를 크게 할 수 있다. 그림 (a)와 (b)를 비교해 보면, 예를 들어 V_{DS} 가 1.1 V일 경우, 입력광의 세기가 최소에서 최대 값으로 변하면 드레인 전류는 V_{GS} 가 0.35 V인 경우 약 23배의 변화를 보이지만 V_{GS} 가 0.5 V인 경우는 약 14배 정도이다. 따라서 V_{GS} 를 0.35 V를 유지하는 것이 유리하며, 이는 결국 앞서 그림 6에서 보인 결과와 비교하면 V_{GS} 가 약 0.35 V일 때가 0.5 V일 때보다 더 큰 이득을 보이는 것과 같은 경향을 보이고 있다.

그림 11은 기판 바이어스에 따른 SOI N-MOSFET

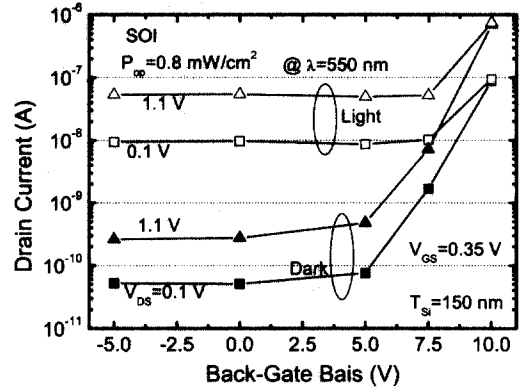


그림 11. 빛이 있는 경우와 없는 경우 back-gate bias에 따른 SOI NMOSFET 포토셀의 드레인 전류 변화. 0.8 mW/cm^2 의 세기를 가진 녹색광이 조사되었다.

Fig. 11. I_D of SOI NMOSFET photocells versus back-gate bias with and without light illumination. Green light ($\lambda=550 \text{ nm}$) having light intensity of 0.8 mW/cm^2 was illuminated.

포토셀의 드레인 전류 특성을 보이고 있다. Dark 상태에서와 550 nm의 빛이 쬐어지는 경우에 대한 결과를 보이고 있다. 광의 세기는 0.8 mW/cm^2 로 고정하였고 V_{GS} 는 0.35 V로 고정하였다. 기판 바이어스는 -5 V에서 10 V까지 변화시켰으며, V_{DS} 는 크게 0.1 V와 1.1 V를 인가하고 각각의 경우에 대해 측정하였다. Dark 상태에서 이 포토셀은 back-gate 전압이 약 5 V일 때부터 turn-on되는 특성을 보이고 있다. 이와 같이 back-gate 전압이 증가하면 back-gate 채널을 통한 turn-on 전류가 증가하고 따라서 광에 의한 영향이 줄어드는 것을 그림에서 관찰할 수 있다. Back-gate에 -5 V를 인가하여 back-gate 표면을 축적 상태를 했을 경우의 광전류 특성은 0 V를 인가했을 경우와 큰 차이를 보이고 있지 않다. 이 결과로부터 back-gate를 통한 turn-on 전류만 없으면 문제없이 포토셀로 작동할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 SOI 기판에 제작된 NMOSFET을 포토셀로 사용하여 550 nm의 파장을 가진 녹색광을 검출할 수 있음을 보였다. $1.5 \mu\text{m}$ CMOS 공정으로 소자를 성공적으로 제작하여 I-V 특성을

dark와 빛이 조사되는 경우에 대해 측정하여 분석하였다. Subthreshold 영역에서 광에 대한 큰 응답 특성을 보였고, 게이트 전압에 따른 측정과 분석을 통해 0.35 V일 때 가장 광에 따른 이득이 크다는 것을 관찰하였다. 드레인 전압에 따른 분석에 의하면 드레인 전압에 최대 약 1.5 V 정도 이하가 되어야 불안정한 플로팅 바디에 의한 영향없이 광을 증폭할 수 있음을 보였다. 입사되는 빛의 세기는 고정하고 파장을 350 nm에서 900 nm 까지 바꾸면서 드레인 전류변화를 측정하여, SOI 포토셀의 경우 350 nm에서 450 nm 사이의 광에 의한 드레인 전류는 다른 파장의 전류에 비해 상대적으로 작음을 관찰하였다. 이에 반대로 벌크 포토셀을 입사광의 주파수에 따른 특주파수 응답특성을 보이지 않음을 관찰하였다. 기판 바이어스에 따른 결과에 의하면 가급적 back-gate의 turn-on이 되지 않도록 해야 하며, 특별히 back-gate 채널을 축적시키도록 바이어스를 인가하지 않아도 됨을 밝혔다.

감사의 글

이 연구는 2001 과학기술부 테라급 나노소자 프로젝트에 의해 지원되었다.

참고 문헌

[1] M. J. Loinaz, K. J. Singh, A. J. Blanksby, D. A. Inglis, K. Azadet, and B. D. Ackland, "A 200-mW, 3.3-V, CMOS color camera IC producing 352×288 24-b video at 30 frames/s", IEEE J. of SSC, Vol. 33, No. 12, p. 2092, 1998.

[2] E. R. Fossum, "CMOS image sensors: electronic Camera-On-A-Chip", IEEE Trans. on ED, Vol. 44, No. 10, p. 1689, 1997.

[3] E. Fujii, K. Senda, F. emoto, and Y. Hiroshima, "A CPD image sensor with an SOI structure", IEEE Trans. on ED, Vol. 35, No. 5, p. 642, 1988.

[4] J. P. Colinge, "Recent advances in SOI technology", IEDM, p. 818, 1994

[5] 김영호, 이제혁, 조봉희, "SOI technology: SOI 재료", 전기전자재료논문지, 12권, 9호, p. 1, 1999.

[6] 손상희, 진태, "저전압동작에 적절한 SOI-

like-bulk CMOS 구조에 관한 연구", 전기전자재료논문지, 11권, 6호, p. 551, 1998.

[7] 김영호, 이진민, 이제혁, 변문기, 임동류, 정주용, "초 박막 SOI MOSFET's의 Back-gate bias 효과", 한국전기전자재료학회 1999춘계학술대회논문집, p. 485, 1999.

[8] N. M. Kalkhoran, E. A. Burke, and F. Namaver, "Charged particle radiation effects on bulk silicon and SIMOX SOI photodiodes", IEEE Trans. on NS, Vol. 42, No. 6, p. 2082, 1995

[9] C. Xu, W. Zhang, and M. Chan, "A low voltage hybrid bulk/SOI active pixel image sensor", IEEE EDL, Vol. 22, No. 5, p. 248, 2001.

[10] W. Zhang, M. Chan, and P. K. Ko, "Performance of the floating gate/body tied NMOSFET photodetector on SOI substrate", IEEE Trans. on ED, Vol. 47, No. 7, p. 1375, 2000.

[11] W. Zhang and M. Chan, "A high gain n-well/gate tied PMOSFET image sensor fabricated from a standard CMOS process", IEEE Trans. on ED, Vol. 48, No. 6, p. 1097, 2001.

[12] R. Werner, C. Zimmermann, and A. Kalz, "Light dependence of partially depleted SOI-MOSFET's using SIMOX substrate", IEEE Trans. on ED, Vol. 42, No. 9, p. 1653, 1995.

[13] M. L. Simpson, M. N. Ericson, G.E. Jellison, W. B. Dress, A. L. Wintenberg, and M. Bobrek, "Application specific spectral response with CMOS compatible photodiodes", IEEE Trans. on ED, Vol. 46, No. 5, p. 905, 1999.

[14] J. J. Kim, D. Y. Chung, J. H. Lee, and H. S. Oh, "Implementation of specific frequency response using SOI photodetector cell", J. KPS, Vol. 40, No. 1, p. 34. 2002.