

SSR(Solid State Relay)용 SOI Photodiode Array 설계 및 제작

신수호, 조희엽, *구용서, 안철

서강대학교, *서경대학교

전화 : 02-706-3401, 016-538-6939

The design and fabrication of SOI photodiode arrays in SSR(Solid State Relay) chip

Su Ho Shin, Hee Hyub Zo, Yong Seo Koo, Chul An

dept. of electronic engineering of Sogang univ.

dept. of electronic engineering of Seokeong univ.

e_mail : kkabz@naver.com

Abstract

This paper proposed a new solid State Relay(SSR) structure that can replace the conventional SSR as a power IC.

The photodiode arrays, the main part of this structure, were designed and integrated in the same power IC chip with the output parts, LDMOSFET and BJT, on a SOI substrate. The fabrication of this input part shared the same output LDMOSFET fabrication process, except the additional deposition of Silicon nitride(Si_3N_4) for the photo-detection part.

According to LED illumination intensities and photo detecting areas, we could obtain voltage of 0.49V~0.52V and current of 5.5uA~108uA respectively from the fabricated unit photodiode.

The maximum value of the voltage and the current we could obtain from the photodiode array were 3.58V and 24.4uA respectively, and the voltage was enough to operate the output LDMOSFET.

I.서론

전자공학의 핵심 부품중의 하나인 전자 계전기(relay)는

높은 전압 전류를 스위칭한다. 현재까지 전자 계전기의 구조는 대부분 EMR(Electro Mechanical Relay) 방식의 회로로 구현되어 왔다. 그러나 EMR 방식은 소자의 내부에 기계적인 구조가 존재하기 때문에 집적화를 구현하는데 가장 중요한 이슈가 되는 패키지의 크기 및 제품 수명, 신뢰성 문제 등에서 제한이 뒤따른다. 그러므로 고전압 스위칭에 있어서 전자식 제어를 할 수 있는 계전기는 필수적이라고 할 수 있으며, SSR(Solid State Relay)구조는 현재의 상황에서 가장 효과적인 스위칭 소자이다.

SSR(Solid State Relay)은 입력부에서 들어오는 신호를 빛으로 바뀌어서 포토다이오드에서 다시 전기적 신호로 바뀌는 과정을 거치는데 이렇게 생성된 전압은 구동 IC 와 높은 전력소자인 LDMOSFET의 게이트를 구동 시켜서 전압을 스위칭 할 수 있게 만들어진 구조이다. 이러한 구조에서 포토커플러 부분은 중요한 역할을 한다. 즉 기존의 릴레이가 전자적 계전기가 되기 위한 중요한 요소이며, 신호의 격리를 가져다 주는 필수적인 부분이라고 하겠다. 그러므로 포토다이오드의 array 능력과 LDMOSFET 공정에서 포토다이오드의 구현능력이 중요한 문제이다. 그러므로 본 논문에서는 SSR의 입력부의 기능에 맞추어 포토다이오드 array를 설계 및

제작하여 그 특성을 분석하였다.

II. SSR에 내장된 Photodiode 설계

1. 소자구조

포토다이오드의 경우 연구분야가 넓고 다양해서 많은 연구가 이뤄지고 있다. 하지만 본 논문에서는 SSR에서 입력부인 스위치 역할로서 포토다이오드를 제작했으므로 한정된 범위에서 공정 되고, 그 사용 범위가 한정된다. One chip화에 요구되는 LDMOSFET 공정 sequence와 양립하므로 특별한 마스크를 사용하지 않고 보편적인 소자구조를 구현하였다. 기존의 포토다이오드는 BSF(Back surface field) 다이오드와 빠른 응답의 PIN 다이오드를 많이 사용하고 있다.[1] 하지만 최근에는 전류 구동용 제품에는 포토 트랜지스트를 사용하고 전압 구동용 소자는 포토 MOSFET를 사용하는 제품이 늘고 있다.

제작된 포토다이오드는 그림 1에서와 같이 SOI 기판 위에서 포토다이오드를 만들었다. 그리고 제안된 SSR에서 요구하는 포토다이오드는 전압구동 소자로 동작하기 위해서 전압 값만 필요로 한다. 따라서 깊은 접합깊이, 고농도 도핑을 요구한다.[2] 제안된 접합 깊이는 1.5~2um 정도이고, 도핑 농도는 anode에서 $10^{20}/\text{cm}^3$ 이고, cathode에서 $10^{18}/\text{cm}^3$ 이다. 대체적으로 전류 값은 작을 것이다. 하지만 공정에서는 LDMOSFET의 공정 기술이 전무하기 때문에 LDMOSFET공정 중심으로 만들어졌다. 만들어진 포토다이오드는 16개씩 직렬 연결하여 하나의 array를 구성하며, 각각의 array는 $400\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$ 과 $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$ 으로 두 가지를 만들었다. 그림 2,3에 그 layout을 나타내었다.

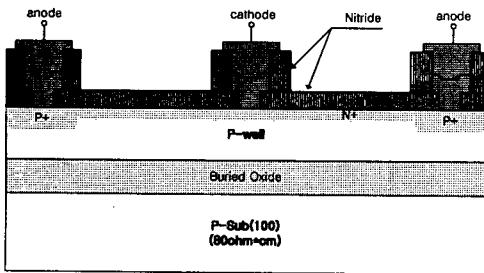


그림 1 포토다이오드 구조

SSR에서는 LED에서 조사되는 빛으로 3V ~ 4V 정도의 전압을 발생 시켜야 하므로 하나의 포토다이오드에서 발생시켜야 하는 전압은 0.2 ~ 0.4 V 정도가 되어야 한다. 그리고 각각의 전압은 array이 상태가 되므로 충분한 전압을 만들 수 있다. 수광된 빛은 반사되지 않도록 하기 위하여 AR(Anti-reflection) coating을 하며, 공핍영역에서는 빛의 형태로 들어오는 에너지에 의해 EHP를 많이 형성시켜 광 전압·전류를 생성해야하기 때문에 수광면적을 넓게 하였다. 제작된 소자에서는

AR coating 막으로 Si_3N_4 를 사용하였다.

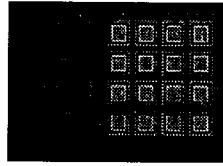


그림2 400um x 400um x 16 Array

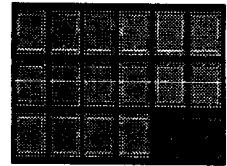


그림3 1000um x 1000um x 16 array

photodiode의 제작 및 공정

본 소자의 제작에 사용된 기판의 구조는 LDMOSFET에 사용되는 SOI기판이다. SOI 기판은 붕소가 함유된 P형 기판으로 800nm*cm의 비저항과 결정방향 (100)을 가지며, 에피층의 두께는 7um의 두께를 가지며 10ohm*cm의 비저항을 가지고 있다. Oxide는 4um의 두께를 가진 SOI wafer에 제작을 하였다. LDMOSFET와 one-chip화시키기 위해서 LDMOSFET 공정에서 제작되었다. 과정을 아래의 그림4에 순서표로 나타내었다.

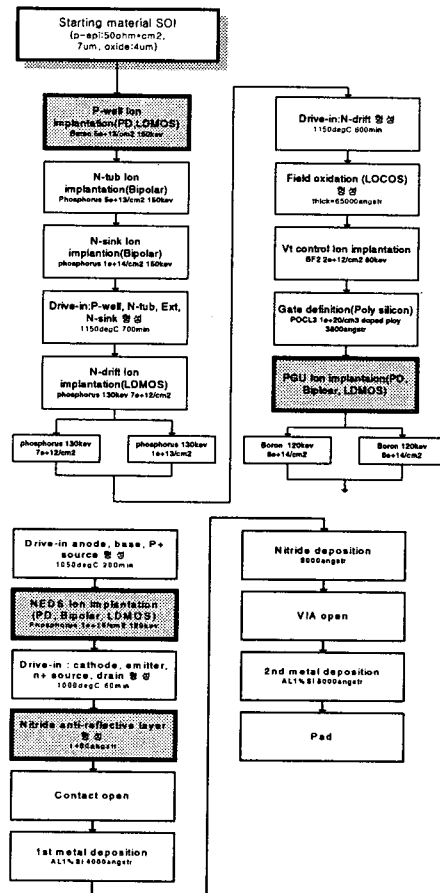


그림 4 Bi-LDMOSFET 공정 순서도

III. 측정 및 분석

1. test pattern의 전압, 전류 특성

사용된 일반 LED 광원의 조사에 대해서 개별 소자들의 수광 면적의 증가에 대해서 거의 일정한 전압값을 가지는 것으로 나타났다. 하지만 생성 전류의 경우에는 일정한 증가를 나타내고 있다. 그리고 특히 red LED에서의 광 전류는 다른 광원에서보다 월등한 증가를 보이고 있다. red LED가 광원 중에서 제일 강한 빛의 세기를 가지고 있고, 파장대도 빛의 흡수 계수가 좋음에 기인한 것이다. 그림 5는 포토다이오드 test pattern의 개별 소자에 대한 광 전압 측정값이다. 수광 면적에 비례해서 일정하게 광 전압 값이 증가함을 볼 수 있다. 수광 면적이 넓을 수록 전압특성이 좋아지지만 소자의 크기 문제로 인하여 최적의 크기를 선택하여야 한다.

그림 6에서는 광 전류 특성을 볼 수 있다. 고농도의 도판과 깊은 접합으로 인해서 전류값이 작음을 알 수 있다. 하지만 여기서 만들고자 하는 포토다이오드는 전압 특성을 요구하므로 별다른 문제는 없다. red LED에서 전류 특성 곡선이 좋아지는 것은 빨간색 파장이 가장 깊어 침투해서 EHP를 많이 생성하기 때문이다.[3]

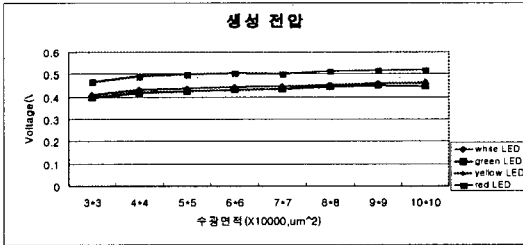


그림 5 수광면적과 광원에 따른 발생 전압

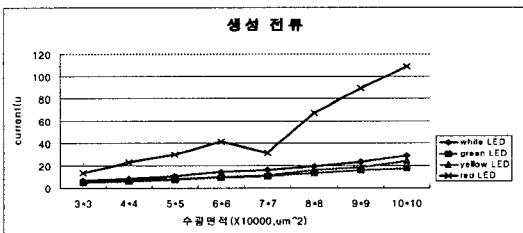


그림 6 수광면적과 광원에 따른 발생 전류

2. Array의 전압, 전류 특성

그림 7의 광 전압특성에서처럼 포토다이오드 array의 생성 전압은 빛의 세기와 면적에 따라서 차이가 나지만 일정하게 증가함을 알 수 있었고, 개별 소자에서 측정된 값의 array갯수의 배수만큼 전압이 발생되지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인은 개별 소자간의 완전한 격리가 이루어지지 않아서 개별 소자간의 병렬 저항 성분이 증가하여 이상적인 전압값이 발생하지 않음을 알 수 있다. 그림 8은 array의 광 전류 특성 측정값이다. 개별소자에

서도 나타나듯이 array에서도 전류값은 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 그리고 개별소자에서보다 현저하게 작은 값을 가지는 이유도 개별소자간의 격리 문제로 인하여 저항 성분이 증가되었기 때문이다. 포토다이오드 array는 전압 전류측정 결과 많은 손실이 있음을 알 수 있다. 이상적으로는 개별소자를 직렬 array한 만큼의 배수가 나와야 되지만 실제 측정에서는 입력 파워에 비해서 출력 파워가 100배정도 차이가 남을 알 수 있었다.

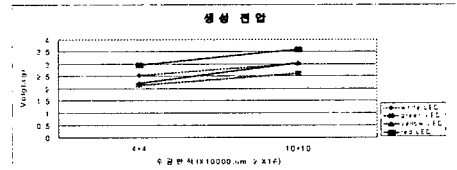


그림 7 Array면적과 광원에 따른 발생 전압

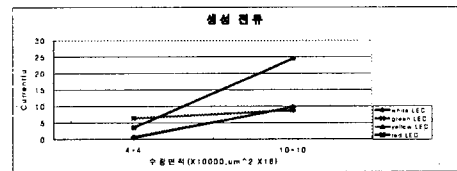
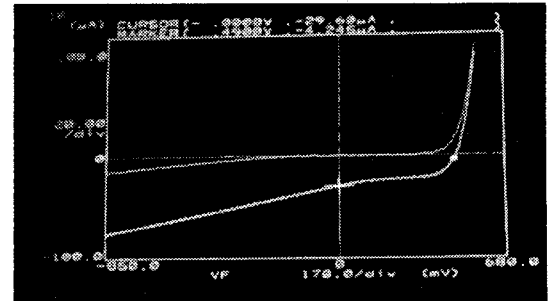
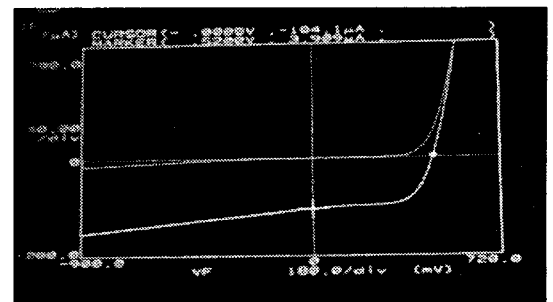


그림 8 Array면적과 광원에 따른 발생 전류

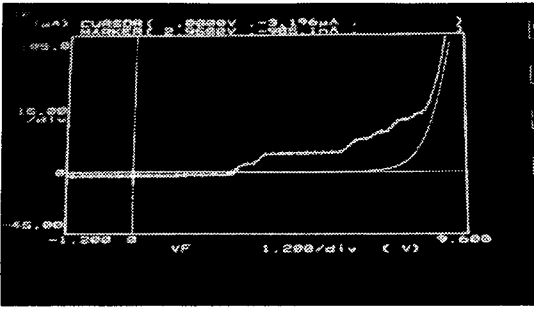
이러한 손실은 직렬과 병렬 저항성분 그리고 암실이지만 완전한 차폐된 공간이 아니기 때문에 생기는 손실 등으로 인하여 많은 차이가 생기는 것을 알 수 있다. 소자가 제작되는 회사의 사정상 격리 공정이 불가능하였기 때문에 이러한 손실은 실제 제작 전에 예견되었던 것이다.



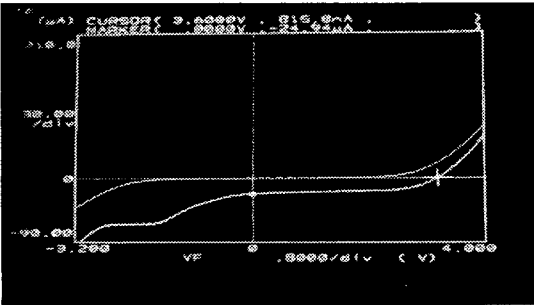
(a)1000um X 1000um



(b) 400um X 400um



(d) 400um X 400um Array



(c)1000um X 1000um Array

그림8 광세기 증가에 따른 광 전압·전류 특성 (Red LED광원).

그림 8은 포토다이오드의 광 전압·전류 특성 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 (a),(b)인 개별 소자에서는 특유의 포토다이오드의 전압 전류 특성 곡선을 볼 수 있다. 하지만 (c),(d)에서는 직렬 저항과 병렬저항의 영향으로 이상적인 특성 곡선이 만들어지지 않는다. 그리고 (c)에서는 소자간의 연결이 지그재그로 되어있어서 소자간 병렬 연결이 쉽게 이루어져서 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 즉, 측정값은 포토다이오드 개별 소자의 전압, 전류 값이 16배 한 것과 같은 값이 나오지 않음을 알 수 있다. (d)에서는 완전한 직렬 연결로 개별소자간의 값에 비해한 만큼의 특성 곡선을 가지지만 광 측정에서 특성 곡선은 광자의 영향으로 개별 소자 간 병렬화되어서 낮은 전압에서 breakdown이 터짐을 알 수 있다.

많은 영향을 주는 단락 전류의 손실(실리콘에 의한 30%정도 손실, 반사방지에 의한 10%정도의 반사 손실, P,N 영역의 전극 형성에 의한 5-10% 정도의 손실)과 개방 전압의 손실(개방전압을 결정하는 기본적인 과정은 반도체내에서의 재결합이다. 재결합율이 낮을수록 개방 전압은 커지게 된다. 재결합은 bulk, depletion region, doping, contact, surface 등에서 생기는 것으로 생각할 수 있는데 이는 개방전압의 저하를 초래한다.) 그리고 높은 직렬저항과 낮은 병렬저항이 있다. 그리고 직렬저항은 bulk 웨이퍼가 갖는 저항, 생성된 전자가 전면의 그리드 전극까지 도달하는데 받는 n+ 층의 저항에 의한 수평 저항, 금속 전극과 도핑 된 실리콘 표면과의 경계면, 전극의 저항들의 합으로 나타낼 수 있다.[4] 병렬저

항은 측면의 누설, 접합의 결함 등의 영향을 많이 받을 경우 낮은 값을 나타내어 나쁜 영향을 미치게 된다. 이러한 저항과 손실에 의해서 이상적인 다이오드 특성은 나타나지 않는다. 하지만 400umX400umX16 array에서 생성되는 전압값은 2.9V 정도이고, 전류값은 3.5uA이다. 그리고, 1000umX1000umX16 array에서 생성되는 전압값은 3.58V 정도이고 24.4uA의 전류값이 측정되었다. 따라서 제작된 포토다이오드는 SSR의 구동 IC와 출력부의 MOSFET를 스위칭 시킬 만큼 충분하다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 EMR방식의 relay를 대체하는 새로운 구조의 SSR을 제안하고 설계하여 출력부와 함께 같은 SOI chip에 집적화 시켰다. 출력부인 LDMOSFET를 구동시킬 입력부로 포토다이오드 array를 제안하고 설계하여 출력부의 제작과 같은 공정을 사용하여 SOI 기판 위에 한 chip으로 집적시켰다. 제작된 포토다이오드는 수광면적이 300um X 300um에서 최대 1000um X 1000um 인 8가지의 개별포토다이오드소자와 수광면적이 400um X 400um인 개별소자와 1000um X 1000um 개별 소자를 각각 16개씩 직렬로 연결한 두 가지의 photodiode array 두 가지들이다.

개별 포토다이오드에서 생성되는 전압은 0.4V ~ 0.5V로 나타났고, 생성된 전류 값은 0.5uA ~ 108.5uA 까지 수광면적에 따라서 증가함을 알 수 있었다. 그리고 array에서 얻어지는 최대 전압 값은 400um X 400um의 16개 직렬 array에서는 2.9V 그리고 1000um X 1000um의 16개 직렬 array에서는 3.58V가 측정되었고, 전류 값은 각각 3.5uA와 24.4uA로 측정되었다.

포토다이오드 array에서 측정된 이 전압 값은 출력부인 LDMOSFET를 동작시키기에 충분한 전압 값이었다. 다만, array에서 생성된 전압과 전류의 값이 예상보다 낮게 측정되었는데 낮은 전압 값은 단락전류 손실과 광 전자에 의한 병렬저항의 영향이고 낮은 전류 값은 높은 도핑과 깊은 접합 깊이에 연유한 것으로 보인다.

V. 참고문헌

- [1]S. S. Kim, D. G. Lim, H. W.Kim, and J. Yi "The optimization of Poly-Si solar cells," Proceeding of the 5th international conference on properties and application of dielectric materials May 25-30, 1997, Seoul, Korea
- [2]김 종 준 "SOI 기판위에 제작된 광검출기의 전기적, 광학적 특성에 관한 연구"건국대학교 대학원
- [3]M. C. Wu, T.Chau, S.Islam, S.Mathai, A.Rollinger, and A.Nespolo, "Recent Processes in High Frequency, High Power Photodetectors"
- [4]X.Xiao, J. C. Sturm, PVSchwartz, and KKGoel "VERTICAL 1.3um OPTICAL MODULATOR IN SILICON-ON-INSULATOR"