

# 펄스방사선 탐지를 위한 Photo Diode 출력특성 연구

황영관\* · 이남호\*

\*한국원자력연구원

The Study of the Photo Diode Output Signal for Pulse Radiation Detection

Young-Gwan Hwang\* · Nam-Ho Lee\*

\*Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : yghwang@kaeri.re.kr

## 요 약

고도의 과학기술발전으로 인해 일상생활에서 전자기기의 사용이 급속도로 늘어가고 있다. 또한 태양의 흑점 폭발이나 북한의 핵폭탄, 원전 사고 등으로 인해 방사선에 대한 관심도가 증가하고 있다. 태양으로부터 방출되는 펄스형태의 방사선은 전자장비에 장애를 초래하며 특히 핵폭발 시 전달되는 고준위 펄스 방사선의 경우 전자부품에 오동작 및 불용상태로 까지 영향을 미칠 수 있다. 이러한 방사선 영향에 대한 연구는 국내외에서 다양하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 전자 부품에 영향을 줄 수 있는 펄스방사선 탐지를 위해 Si 기반의 포토다이오드를 제작하고 이를 통해 펄스 입출력 신호에 대한 회로 시뮬레이션과 일반 광원을 이용한 출력 특성을 연구하였다. 본 연구의 결과는 고 에너지의 펄스 방사선 영향으로부터 전자회로를 보호하기 위한 추가적인 모듈의 입력 센서로 활용 될 수 있다.

## ABSTRACT

In this paper, we make silicon photodiodes for the detection of pulsed radiation that affects electronics devices and study the output characteristics of photodiodes using circuit design. We conducted the simulation for pulse sensing circuit and experimented the photodiode output characteristics using a high luminance light emitting diode. The results can be used for the design of the input sensor that is trigger of additional module for protecting a electronics circuit from high energy pulse radiation.

## 키워드

Pulse radiation detection, Radiation Sensor, Nuclear detector

## 1. 서 론

과학기술의 발전으로 인하여 전자기기의 사용이 크게 증가함에 따라 소비전력 역시 급격히 증가하고 있으나 대체 에너지 개발이 지연됨에 따라 전력생산을 원자력에 의존할 수밖에 없는 상황이다. 이러한 시점에서 최근 발생한 후쿠시마 원전 사고는 원전 안전에 대한 경각심을 불러일으키며 이에 대한 대비가 요구되고 있다. 또한 북한에서 최근 로켓 발사에 실패하며, 핵무기 실험을 강행하는 등 핵무기를 내세운 북한의 위협이 계속되고 있다. 원전 사고나 핵무기 폭발 시 유도되는 감마선/X-ray, 중성자 플럭스에 의한 과도방사선은 전자소자에 영향을 주어 전자소자의 기능을 저하시키거나 심지어는 소자내부의 과전류 발생으로 인해 소자가 타버리는 현상까지 나타난다.

이처럼 핵폭발 시 발생할 수 있는 즉발감마선으로 인한 전자소자의 피해를 막기 위하여 핵폭발 시 방출되는 즉발 방사선을 감지하고 동작중인 회로의 전원공급을 일시적으로 차단하여 회로의 피해를 최소화하기 위한 연구가 선진국에서는 높은 수준의 기술이 개발되었고 국내에서도 특정 기관에서 연구를 수행하고 있다.[1][2]

본 논문에서는 핵 폭발시 방출되는 즉발 방사선을 감지하기 위해 제작된 센서를 이용하여 센서의 출력신호를 확인하기 위한 출력회로 구성하였다. 회로구성을 위해 시뮬레이션을 수행하였고, 구성된 회로를 통하여 방사선 조사시험을 하기 위한 사전 시험으로써 일반 고휘도 LED를 이용한 센서 응답 특성을 실험하였다. 본 논문의 결과는 이후에 개발될 고속 신호처리 모듈의 입력부를 설계하기위한 기초자료로 활용될 수 있다.

## II. 본 론

### 1. 과도펄스방사선에 의한 전자부품의 피해

방사선에 의한 전자부품의 손상 메커니즘은 방사선 종류와 에너지에 따라 격자변위(Lattice displacement)와 이온화 영향(Ionizing effects)으로 분류되며, 이 메커니즘들로 인해 발생하는 현상은 다양한 요소에 의존한다. 이 요소에는 방사선 종류, 총선량, 순간 방사선량, 부하의 종류 등이 큰 영향을 미치며, 중성자영향(Neutron effects), 총이온화 선량효과(Total ionizing dose effects), 과도선량률효과, 단일사건현상 등이 발생하게 된다.

중성자영향은 중성자가 반도체 격자와 상호작용하여 반도체 원자위치를 옮겨 반도체 내부의 결함(Defect) 증가시킨다. 반도체의 전기적 특성을 변화시킨다. 총이온화 선량효과는 이온화 방사선에 노출된 시간동안 반도체 소자의 손상이 누적되는 현상으로 소자의 성능을 서서히 저하시키는 특징이 있다. 단일사건현상은 고에너지 입자가 반도체를 통과할 때 그 자취에 따라 이온화가 진행되는 현상으로서, 이온화 과정은 매우 국부적으로 발생하여 과도 선량률 효과와 유사한 영향을 일으키게 되며, 단일사건현상은 주로 인공위성, 우주선과 민간/군수 항공시스템의 전자부품에서 나타나는 중요한 방사선 피해현상으로 알려져 있다.

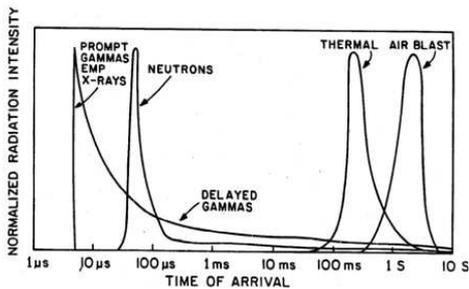


그림 1. 핵폭발 시 방출 방사선의 종류별 도달시간과 세기

과도 선량률 효과는 핵폭발 시 발생하는 짧은 시간동안 높은 세기를 갖는 펄스 형태의 방사선이 원인이 되는 것으로서, 펄스방사선은 반도체 바디(Body) 전체에 광전류(Photocurrent)를 발생시켜 트랜지스터를 무작위로 개방시키거나 플립-플롭(Flip-Flop)과 메모리 셀(Memory Cell)의 논리상태(Logic State)를 변화시킨다.

그림 1에서 보듯이 과도선량률 효과는 매우 짧은 펄스폭의 형태로 가장 먼저 도달하는 즉발감마선이 원인이 되며 일반적으로 짧은 펄스폭을 갖는 즉발감마선은  $10^9$  rads/sec 이상의 고선량률(high-dose-rate)로, 주로 40nsec~1μsec의 지속시간(펄스폭)을 가지게 된다.

### 2. 펄스방사선 탐지용 Photo diode

펄스 방사선 탐지를 위한 센서의 초기 모델은

Photo diode 타입을 제작되었다. 소자의 구조는 수직형 PIN 다이오드 고조이며 고농도층의 두께는 65um인 웨이퍼를 사용하였다. 입사 방사선에 실리콘 원자가 많이 노출되어 감도 특성이 향상될 수 있도록 (111)방향의 웨이퍼를 사용하였다. 소자 제작 공정은 Initial cleaning, Isolation, P+ implantation, Annealing, Contact, Deposition, Backside Metallization, Sawing, Packaging 공정을 거쳐 제작되었으며 그림 1은 마지막 공정인 Packaging 공정 후 완성된 Photo diode 센서의 모습이다. 센서의 제작시 소자의 면적을 다양하게 제작하였으며 아래 그림의 왼쪽 소자는 직경 0.5 mm, 오른쪽 소자는 직경 1mm로 설계 제작 하였다.



그림 2. 펄스 방사선 탐지용 Photo diode 센서

센서의 누설 전류는 역전압을 20V 인가하여 측정할 경우 각각 2nA, 3.5nA로 측정 되었다.

### 3. Photo diode 출력회로 구성

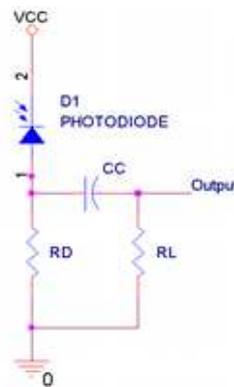


그림 3. 센서 출력 회로 구성

제작된 센서의 출력 신호는 신호처리 모듈의 입력부에 해당하여 일정한 출력 전압 값을 이후에 연결되는 모듈의 입력 노드로 전달해야 한다. 포토다이오드의 기본적인 회로의 구성은 그림 2와 같이 미분회로의 형태인 RC 회로로 구성하였다. 센서의 출력을 검출하기 위한 다이오드 저항과 커패시터 값은 시뮬레이션을 수행하여 그 값의 크기에 따른 출력 특성을 분석하였다.

그림 4에서 나타난 것처럼 저항과 커패시터의 값이 감소하면 출력 전압과 상승시간이 감소하게 되고 일정 값 이상으로 저항과 커패시터의 값이

증가할 경우 출력전압과 상승시간은 포화 된다는 것을 확인하였다.

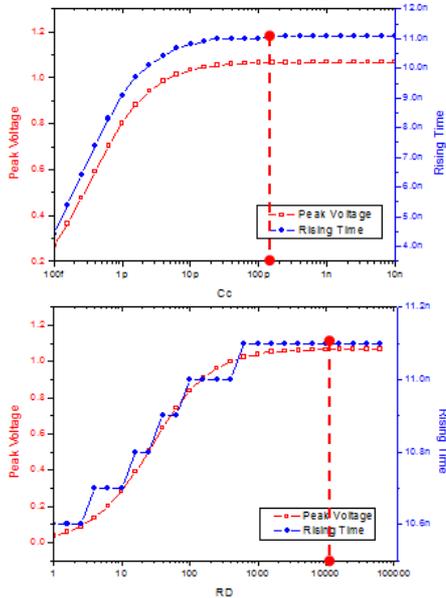


그림 4. 회로 구성을 위한 시뮬레이션 결과

그러나 저항의 선정 시 작은 값을 선정하게 된다면 이후 연결될 모듈로 전달되는 전압이 낮아지게 되어 입력 신호로써 문제가 될 수 있으며, 다이오드에 연결된 저항 값이 클 경우에는 입력단의 DC 레벨이 높아지게 되어 출력단의 순간 변화폭을 보기 어려울 만큼 출력변화폭이 제한된다.

4. LED를 이용한 센서 특성 시험

앞서 언급한 그림 3의 회로도들을 활용하여 펄스방사선에 대한 방사선 특성 시험을 하기 위해 실험실에서 소자의 응답 특성을 분석하기 위해 고휘도 광원을 통한 소자의 응답특성 시험을 수행하였다.

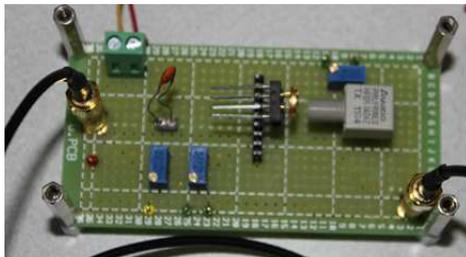


그림 5. 광원을 이용한 센서 테스트 모듈

제작된 Photo diode는 PIN 구조의 다이오드로 수광부에 에너지를 공급하면 광전류가 발생하여 전류를 흐르게 하여 입력 신호로 광원을 사용하여 측정할 경우에도 유사한 특성이 나타나기에 방사선 실험에 앞서 소자의 특성을 분석하였다. 광원

실험을 위해 제작된 테스트 모듈은 그림 5와 같이 구성하였다.

표 1. Photo diode 성능시험 측정 결과

소자	직경	회로구성	인가전압	응답시간
Photo diode	0.5mm	RD : 1MΩ RL : 1MΩ CC : 10nF	10V	260ns
	1.0mm	RD : 1MΩ RL : 1MΩ CC : 10nF	10V	230ns



그림 6. 성능 시험 출력 파형

센서는 앞서 제작한 0.5mm, 1mm의 두종류의 센서에 대한 응답 특성을 실험하였고, 측정은 Lecroy Waverunner 640ZI 모델을 이용하여 측정하였다. 아래 그림 6은 성능 시험 출력 파형을 나타낸 것이고 표 1은 측정 결과를 나타낸 것이다. 측정 결과 즉발감마선의 영향을 차단하기 위해서는 입력단의 센서 응답 시간이 결과값의 10%이내가 될 수 있도록 소자의 개선이 필요하다.

III. 결 론

본 논문에서는 즉발 방사선으로부터 전자소자를 보호하기 위한 모듈 연구수행을 위해 입력단으로 사용되는 Photo diode 센서를 제작하고, 이에대한 출력 회로를 구성하고 응답 특성 시험을 수행하였다. 광원을 이용한 실험에서는 응답 시간이 낮았으나 향후 펄스방사선 조사시험을 통한 응답시간 비교 후 센서 및 측정회로 개선을 위한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 국방핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

참고문헌

[1] N. H. Lee, Y. G. Hwang, H. J. Lee, etc. "Radiation Effect Test on Electronics using a Direct electron Beam from an Accelerator" Journal of the Korean Physical Society. Vol. 59, No. 2, August 2011.  
 [2] D. R. Alexander. IEEE T. Nucl. Sci. 50, 565(2003)