

# 광대역 펄스감마선 탐지센서 최적화설계에 관한 연구

정상훈\* · 이남호\* · 손의승\*\*

\*한국원자력연구원 · \*\*방위산업기술지원센터

## A Study on Optimized Design of Wideband Pulsed Gamma-ray Detectors

Sang-hun Jeong\* · Nam-ho Lee\* · Eui-seung Son\*\*

\*Korea Atomic Energy Research Institute · \*\*Defense Industry Technology Center

E-mail : shjeong@kaeri.re.kr

### 요 약

본 연구에서는 광대역 펄스감마선 탐지센서 최적화설계에 관한 연구를 수행하였다. 펄스감마선 탐지센서는  $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{ rad(Si)/s}$ 의 방사선량에서 동작할 수 있도록 설계하였다. 에너지에 따른 펄스감마선 스펙트럼과 시간에 따른 에너지 비율을 기반으로 탐지센서 입력변수를 도출하고, 탐지감도 제어회로를 기반으로 탐지센서 출력전류를 도출하였다. N-type Epi Wafer를 이용하여 최적조건 탐지센서를 TCAD기반으로 설계하였다. 시뮬레이션 결과 인가전압 3.3V에서 최적 Epi층 두께는 45 $\mu\text{m}$ 이다. 도핑농도는 N-type은 Arsenic으로  $1 \times 10^{19} \text{ /cm}^3$ , P-type은 Boron으로  $1 \times 10^{19} \text{ /cm}^3$ , Epi 층은 Phosphorus로  $3.4 \times 10^{12} \text{ /cm}^3$ 이다. 마지막으로 탐지센서는 원형으로 지름이 1.3mm 이다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose and demonstrate an optimal design of wideband pulsed gamma-ray detectors. Pulsed gamma-ray detectors are designed to operate in a dose rate of  $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{ rad(Si)/s}$ . The input parameter was derived based on the energy ratio of pulse gamma-ray spectrum and the time of the energy. The sensor output current was calculated based on the dose rate control circuit. Using the N-type Epi Wafer, the optimum condition detection sensor was designed based on TCAD. The simulation results show that the optimal Epi layer thickness is 45 $\mu\text{m}$  when applied voltage 3.3V. The doping concentrations are as follows : N-type is an Arsenic as  $1 \times 10^{19} \text{ /cm}^3$ , P-type is a Boron as  $1 \times 10^{19} \text{ /cm}^3$  and Epi layer is Phosphorus as  $3.4 \times 10^{12} \text{ /cm}^3$ . Pulse gamma-ray detector diameter is the 1.3mm.

### 키워드

펄스감마선, PIN 다이오드, 광전류, 방사선량

### 1. 서 론

실리콘 기반의 전자소자에 높은 에너지를 갖는 펄스감마선이 입력되면 전자소자 내에서 광전효과, 콤프턴 산란, 전자-정공 쌍 생성과 같은 현상이 발생한다.[1] 펄스감마선에 의해 발생하는 전자 정공은 인가된 바이어스에 의해 이동하며 전자소자에 Upset, Latch-up과 같은 치명적인 오류를 발생시킨다. Upset의 경우  $1 \times 10^6 \text{ rad(Si)/s}$ 의 이상의 선량에서 발생하기 시작하며, Latch-up의 경우  $1 \times 10^8 \text{ rad(Si)/s}$ 의 이상의 선량에서 발생하기 시작한다.[2-3]

전자소자의 펄스감마선 영향을 방호하기 위해서는 펄스감마선을 탐지하고 탐지신호를 이용하여 전자소자의 전원을 차단하면 된다.[4] 반도체 소자에 따라서 Upset, Latch-up 문턱 값이 다르므로 대상소자에 따라 동작되는 선량을 달리하여야 하며 고장이 발생하기 시작하는 시점보다 낮은선량에서 탐지신호를 발생해야 하므로 탐지범위를 광대역으로  $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{ rad(Si)/s}$  로 결정하였다.

고선량의 펄스감마선을 탐지하기 위해서는 실리콘 기반의 PIN 다이오드가 주로 사용된다. 광대역의 탐지범위 갖는 센서를 제작하기 위해서는

최적화 설계가 필요하다.

본 논문에서는 펄스감마선 스펙트럼과 시간에 따른 에너지 비율을 기반으로 탐지센서 입력변수를 도출하고, 탐지감도 제어회로를 기반으로 탐지센서 출력전류를 도출하여 최적화된 광대역 펄스감마선 탐지센서를 설계하고자 한다.

## II. 탐지센서 입력변수 도출

펄스감마선은 수 십 ns 이내의 짧은 시간 동안에 매우 높은 에너지를 갖는다. 그림 1에 펄스감마선의 시간에 따른 에너지 비율을 보여주며 1 us 이내의 높은 에너지가 전자소자에 직접적으로 영향을 준다.[5] 그림 1의 실선은 낮은고도에서 발생하는 펄스감마선 에너지 비율이며, 점선은 높은고도에서 발생하는 펄스감마선 에너지 비율이다. 그림 2는 그림 1를 기반으로  $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{ rad(Si)/s}$ 의 선량에 해당하는 Energy profile을 도출한 것이며 탐지센서 설계에 필요한 입력변수이다.

탐지센서가 기술한 선량범위에서 작동하기 위해서는 출력 값이 선형적인 특성을 가져야 하며, 동시에 탐지센서 제어회로 또한 선형적인 구간에서 동작하여야 한다. 그림 3은 탐지센서 제어회로를 보여주며 그림 4는 탐지센서 제어회로 동작전류 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 4에서 보는 바와 같이 Rth가 5 ~ 5kΩ인 구간에서 선형적이므로, 탐지센서 출력전류가 위 범위에 들어오도록 설계하여야 한다.

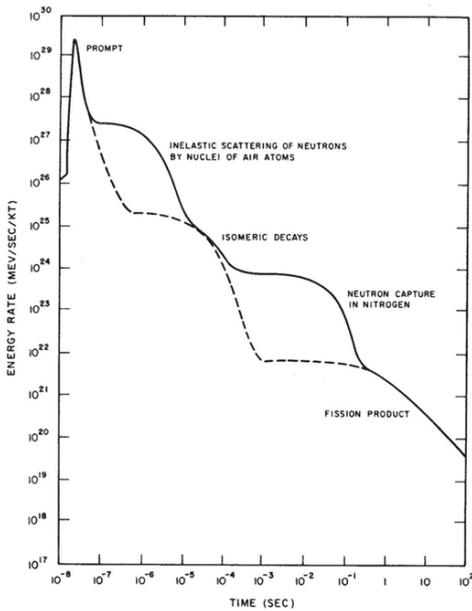


그림 1. 펄스감마선의 시간에 따른 에너지 비율

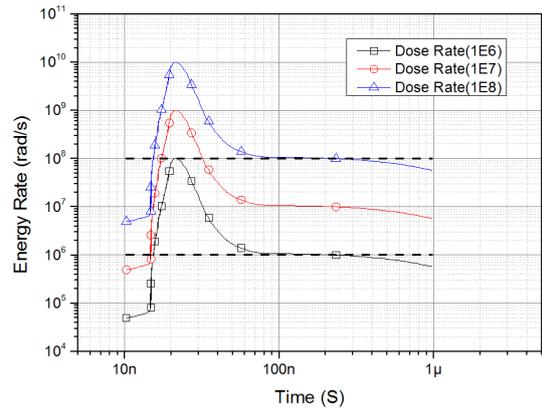


그림 2. 탐지범위에 해당하는 Energy profile

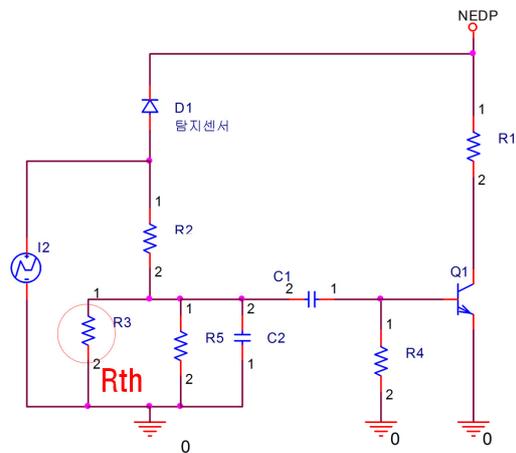


그림 3. 탐지센서 제어회로

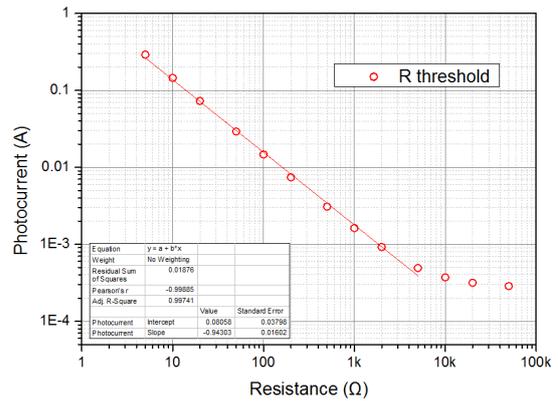


그림 4. Rth에 따른 탐지센서 제어회로 동작전류

### III. 펄스감마선 탐지센서 최적화 설계

앞서 도출한 탐지센서 입력변수를 이용하여 TCAD(Technology Computer Aided Design) 기반으로 PIN 구조의 탐지센서를 모사하였다. N-type Epi 웨이퍼 기반으로 시뮬레이션을 진행하였으며 N-type은 Arsenic으로 도핑농도는  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ , Epi 층은 Phosphorus로  $3.4 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ 다.

탐지센서 최적조건 시뮬레이션 결과 Epi 층 두께에 따른 탐지센서의 최대 광전류는 45  $\mu\text{m}$ 에서 가장 높게 나왔으며 그림 5에서 보여준다. 도핑농도에 따른 광전류 특성 시뮬레이션 결과 Boron으로  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 일 때 광전류가 가장 높게 발생되었다.

위 두 조건을 적용하고 탐지센서 직경별로 모사한 결과 출력전류 범위를 만족하면서 응답특성이 가장 좋은 크기는 1.3mm가 도출 되었다.

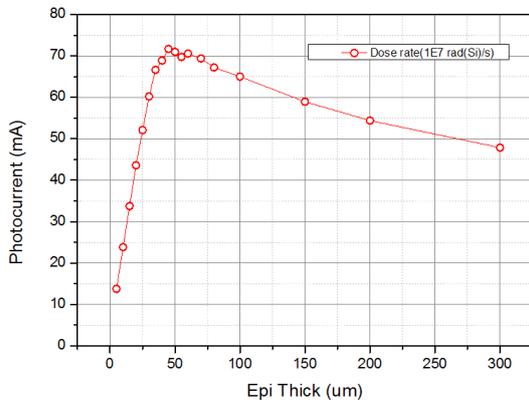


그림 5. Epi층 두께별 탐지센서 최대전류

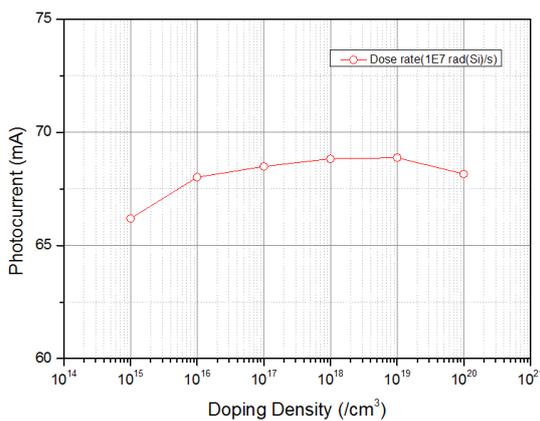


그림 6. 도핑농도에 따른 탐지센서 광전류 특성

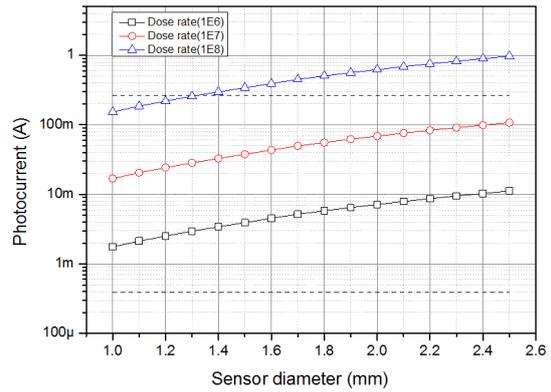


그림 7. 탐지센서 직경별 광전류 특성

표 1에 탐지센서 최적조건을 정리한 결과를 보여주며 그림 8은 탐지센서 최적 설계조건을 보여준다.

표 1. 탐지센서 최적 조건

항목	값
센서 지름	1.3mm
P-type 도핑농도	$1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$
Epi 층 두께	45um

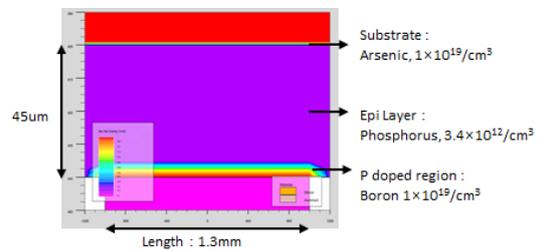


그림 8. 탐지센서 최적 설계조건

### IV. 결론

본 논문에서는 광대역 펄스감마선 탐지센서 최적화설계에 관한 연구를 수행하였다.

펄스감마선 탐지센서는 적용위치에 따라 탐지선량이 다르므로  $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8 \text{rad(Si)/s}$ 의 방사선량에서 동작할 수 있도록 설계하였다. 에너지에 따른 펄스감마선 스펙트럼과 시간에 따른 에너지 비율을 기반으로 탐지센서 입력변수를 도출하고, 탐지감도 제어회로를 기반으로 탐지센서 출력전류를 도출하였다. N-type Epi 웨이퍼 기반으로 TCAD를 이용하여 시뮬레이션을 진행하여 탐지센서 최적조건을 도출하였다.

탐지센서 최적조건 도출결과 인가전압 3.3V에서 최적 Epi층 두께는 45um, 도핑농도는 N-type은 Arsenic으로  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ , P-type은 Boron으로  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ , Epi 층은 Phosphorus로  $3.4 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ 다. 마지막으로 탐지센서는 원형으로 지름이 1.3mm가 도출되었다.

위와 같이 탐지센서 입력조건과 출력조건을 기반으로 탐지센서를 설계하면 시행착오 없이 최적의 탐지센서를 도출할 수 있다. 향후 탐지센서를 제작하여 시뮬레이션 결과와 비교분석할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 방위산업기술지원센터의 핵심기술연구개발사업의 일환으로 수행하였음

### 참고문헌

- [1] Evans, R.D., "The Atomic Nucleus", McGrawHill, 1955.
- [2] George C Messenger, "The effects of radiation on electronic systems", New York : Van Nostrand Reinhold, cop., 1992.
- [3] Lewis Cohn, Manfred Espig, Al Wolicki, Mayrant Simons, Clay Rogers, Alfred Costantine, "Transient Radiation Effects on Electronics(TREE) Handbook", Defence Nuclear Agency, 1996.
- [4] Larry L., "NUCLEAR EVENT DETECTOR", <http://www.freepatents-online.com/>, pp. 2, Aug 1987.
- [5] Samuel Glasstone, Philip J. Dolan, "The Effects of Nuclear Weapons", Castle House Publications Ltd., 1979.