

논문 2000-9-4-03

감마선 선량계를 개발하기 위한 상용 PIN 포토 다이오드의 응용 정동화, 김성덕

Application of Commercial PIN Photodiodes to develop Gamma-Ray Dosimeters

Dong-Hwa Jeong and Sung-Duck Kim

요 약

본 논문은 감마선 방사선 선량을 측정하기 위하여 상용 반도체를 응용하기 위한 실험적 연구에 대하여 다루었다. 실리콘 포토 다이오드는 값이 싸고 작으며 높은 효율과 견고하여 광검출기로 잘 이용되기 때문에 감마선과 같은 방사선 측정에 효과적으로 이용될 수 있다. 대부분의 PN 포토 다이오드는 빛이 증가함에 따라 역 방향 전류의 증가하는 특성을 가지고 있다. 그러므로 이 소자들의 공핍층이 역 방향 전류에 영향을 주므로 이 공핍층의 면적이 큰 PIN 포토 다이오드를 선택하였다. 이 연구에서는 방사선량을 검출하고 감마선 선량계를 개발하는데 적용하기 위하여, PIN 다이오드에 대해 몇가지 실험이 수행되었다. NEC사의 PH 302와 SIEMENS사의 BPW 34와 같은 2 가지 종류의 포토 다이오드를 반도체 분석장치를 사용하여 γ 선 방사선원인 Co-60의 저준위 시설에서 시험하였다. 그 결과, 방사선 선량률과 다이오드의 전류 사이에 양호한 선형적 함수 관계가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 이들 실리콘 PIN 포토 다이오드들은 γ 선 선량계를 설계하는데 적합하게 이용될 수 있을 것이다.

Abstract

This paper deals with an experimental study to apply commercial semiconductors to measure radiation dose rate for gamma ray. Since the low cost, small size, high efficiency and ruggedness of silicon photodiodes make them attractive photodetectors, they could be effectively used in measuring any radiation such as gamma ray. Most PN photodiodes show that the reverse current increases when the light is increased. Therefore the depletion region of them have influence on the reverse current, so we choose silicon PIN photodiodes with large depletion region. In order to detect radiation dose rate and then, to apply in developing any gamma ray dosimeter, some examinations and experiments were performed to PIN photodiodes in this work. Two kinds of PIN photodiodes, such as NEC's PH302 and SIEMENS's BPW34, were tested in a Co-60 gamma irradiation facility with a semiconductor parameter analyzer. As a result, we found that such PIN photodiodes present good linearity in diode current characteristics with dose rate. Therefore silicon PIN photodiodes could be suitably used in designing gamma ray dosimeters.

1. 서 론

대전산업대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, Tajeon National University of Technology)
<접수일자 : 2000년 2월 8일>

방사선은 우라늄과 같은 자연물질이나 원자력 관련 시설, 암치료 센서나 비파괴검사장비 등에서 방출된다. 이러한 방사선은 방사성 원소의 붕괴에 따라 발생하는

α 선 및 β 선과 같은 입자성 방사선과 핵반응 후 원자핵이 안정한 상태로 복귀하는 과정에서 나타나는 γ 선이나 X선과 같은 전자파 방사선이 있다. 일반적으로 α 선이나 β 선에 비하여 γ 선이나 X선은 파장이 짧고 에너지가 크므로 물체의 투과력이 높다.

γ 선은 원자핵이 반응할 때나 소립자의 생성이나 소멸의 과정에서도 방출·흡수가 일어난다. 그러나, 베타트론이나 싱크로트론 등 입자가속기에서 만들어지고 에너지의 전자선을 텅스텐 등의 중금속에 조사하여 만들어 사용하기도 한다. γ 선은 X선과 유사한 용도로 이용되나, X선보다 투과력이 크기 때문에 암을 치료하거나 금속재료의 내부결함을 비파괴 검사 등, 의학과 공업계측 분야에 널리 응용된다¹¹⁻³⁾. 그렇지만 방사선 이용이 확대됨에 따라 방사성 물질에 의한 환경오염, 방사선 장애 및 생물학적 변화 등이 중요한 사회문제가 되었다. 따라서, 자연적이든 인공적이든 방사선이 노출되어 있는 환경에서 방사선을 효율적인 이용하고 이로 인해 발생하는 방사선 장애를 방지하기 위하여 방사선을 검출, 감시나 진단하는 것은 매우 중요하다.

일반적으로 방사선 선량계(radiation dosimeter)는 기본적으로 방사선의 이온화능을 측정하여 흡수 에너지를 정량화하는 방식을 이용한다. 방사선 센서는 방사선량을 검출하는데 핵심소자로서 사용장소, 방사선원의 세기 및 선원의 종류에 따라 고체, 기체 또는 반도체 소자 등 다양한 형태 및 방법으로 개발되어 있다. 반도체형 방사선 센서¹⁴⁻⁸⁾는 소형, 경량이고 전력 소모가 적으며 값이 저렴하여 휴대용 계측기로 구성이 쉽다는 장점이 있다. 상용 반도체 센서 중 게르마늄 계열 센서는 별도의 대형 냉각장치가 필요하지만 실리콘 계열 센서는 냉각장치가 필요하지 않아 극소형으로 제작이 가능하다.

반도체 센서로 이용되는 p-MOSFET(metal oxide field effect transistor)는 순방향 문턱전압 특성을 이용하는 반면에 PIN 포토다이오드(PIN photodiode)는 역방향 누설전류를 이용한다⁹⁾.

본 연구에서는 상용 PIN 포토 다이오드에 대하여 조사된 방사선 양과 그 출력 특성을 고찰한다. 이 결과들을 토대로 PIN 다이오드가 γ 선 선량계의 센서로 효율적으로 사용될 수 있음을 밝힌다.

II. 반도체 소자를 이용한 방사선 계측

방사선은 발전용으로 사용하는 것과 방사선을 이용

하는 분야로 나눌 수 있다. 발전용은 전력을 얻기 위한 원자력 발전이 대표적이다. 반면에 방사선 이용분야는 제품 내용물 검사, 단위 중량 측정, 액체 액면 측정, 두께 측정 등 각종 공업 분야와 방사선 치료기, X-선 진단기 등으로 의학 분야, 방사선의 안전관리 시스템에서 방사선 검출, 환경과학 분야 등이 있다. 그밖에도 우주선의 연구나 의학, 공학, 의학 등의 여러 분야에서 사용되고 있다³⁾.

방사선의 사용이 증가함으로써 인간이 방사선에 노출되어 작업하는 경우가 많아졌다. 따라서, 방사선의 종류와 양에 따른 값을 정확히 측정할 필요성이 대두되었다. 용도에 맞도록 크기, 모양, 방사선량의 측정 범위, 센서의 종류를 선택하여 방사선 측정기의 개발해야 한다. 원자력 관련분야에서 방사선 피폭 관리, 방사선 오염관리, 환경 방사선 감시를 하기 위해서 방사선 센서를 사용하고, 공업계측분야에서 비파괴 검사, 두께 측정, 밀도측정, 밀폐 용기 내 준위 측정, 수분 측정을 위해 사용한다.

방사선을 계측하는데 사용되는 센서에는 전리함, 비례계수관 등의 기체 전리형 방사선 센서와 다이오드, MOSFET 등의 반도체를 이용한 고체전리형 방사선 센서 및 Scintillation과 같은 발광형 방사선 센서 등 여러 종류가 있다. 이들 센서들은 방사선의 종류나 측정 대상에 따라 다양하게 개발, 응용되어 왔다. 특히, 반도체 소자는 소형이고 경량일 뿐만 아니라 복잡한 주변 회로가 없이도 감도가 좋은 출력을 얻을 수 있기 때문에 최근 방사선 검출센서로 자주 이용된다. 실온에서 동작하는 반도체 센서는 전하의 이동도가 높아 전하수집시간이 빠르고 재결합율이 적은 장점이 있다.

반도체 센서의 종류로는 Si 및 Ge 다이오드가 있다^{14,7)}. Si나 Ge를 이용한 단결정 반도체 센서는 반도체 센서 내에서 한 쌍의 전자와 정공을 만드는데 필요한 에너지가 낮기 때문에 높은 에너지 분해능이 갖는다. Si와 Ge는 주로 γ 및 X선의 측정에 사용된다. Ge를 이용한 측정기는 별도의 냉각기가 필요한 반면에 Si는 별도의 냉각장치 없이 실온에서 동작이 가능하다. 그렇지만, 반도체 센서는 검출효율을 최대로 하기 위해 검출면적이 넓어야 하고, 얇은 입사 창을 갖고 있어야 한다. γ 선을 측정할 수 있는 센서로는 이온화 함(ionized chamber), GM 튜브(GM tube), 반도체 검출기(semiconductor detector) 등이 있다. 이온화함은 다른 검출센서보다 부피가 크기 때문에 개인용 검출기와 적

은 면적에 대한 측정을 하는데는 적합하지 않다. 반도체 검출기는 다른 센서에 비해서 쉽게 구할 수 있고 값도 저렴하다. 본 연구에서는 γ 선의 선량을 검출하기 위한 반도체 소자로서 실리콘 PIN 포토다이오드를 대상으로 하였다^[6].

III. PIN 다이오드의 특성

일반적으로 PIN 포토 다이오드는 입사 창에 조사되는 빛의 양에 따라 출력이 변하는 특성을 이용한다. 이러한 다이오드는 제조회사 마다 선형성이나 출력 특성이 다르다. PIN 포토 다이오드는 입사되는 광 에너지의 분해능을 개선하기 위해서 공핍 전하영역을 확장시킨 구조를 갖는다. 그림 1은 PIN 포토 다이오드의 에너지 밴드를 나타낸 것으로, 빛이 입사되는 경우에 전자-정공 이온쌍을 생성하는 부분이 I-영역(intrinsic layer)이다. 따라서, 양호한 에너지 분해능을 얻기 위해서는 I-영역이 커야 한다.

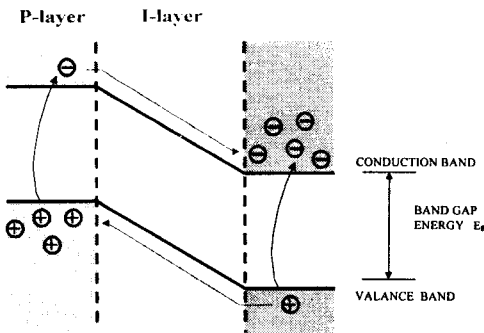


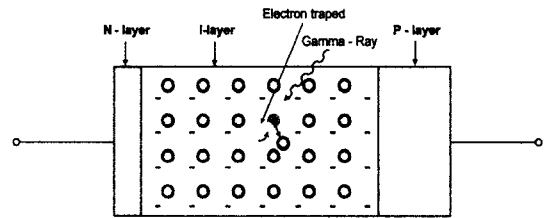
그림 1. PIN 다이오드 에너지 밴드
Fig. 1. Energy band in a PIN diode.

그림 1에서와 같이, 전자가 전도대로 이동할 때 생긴 이온화된 도우너 원자는 온도를 높이면 강한 전기장의 영향으로 드리프트를 할 수 있게 된다. I-영역에 생성된 이온쌍의 수명은 P-영역과 N-영역에서 수집하는데 필요한 시간보다 훨씬 길기 때문에 전하를 축적할 수 있다. 이 때, 전하를 고속으로 손실 없이 수집해야 하므로 PIN 포토 다이오드에는 역 바이어스 전압을 인가한다. PIN 다이오드의 전계는 다음 식으로 주어진다^[3,4,10].

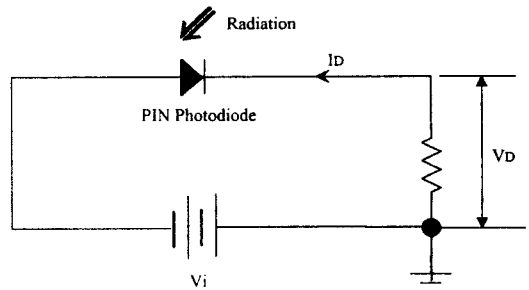
$$|E(x)| = \frac{V}{d} + \frac{\rho}{\epsilon} \left(\frac{d}{2} - x \right) \quad (1)$$

여기서 x 는 P로부터 거리, d 는 검출기 결핍 층의 두께이고, V 는 결핍 층 전체에 걸치는 최소 인가전압이다.

이상적으로는 I-영역에서는 전하가 존재하지 때문에 식 (1)에 $\rho = 0$ 을 대입해서 구한 전계는 단순히 거리가 d 인 평판형 검출기에 전위 V 를 걸어줄 때의 전계와 같다. 따라서, 거리가 일정하면 다이오드의 출력은 바이어스 전압에 비례하는 선형적인 특성을 나타낸다. 이 경우에 전기장은 I-영역을 지나서 일정하게 유지된다. I-영역의 비저항은 P-영역이나 N-영역의 비저항보다 훨씬 높기 때문에 인가전압은 모두 I-영역에 인가되고 P-I와 I-N 경계 면에서의 전하운반자의 이동이 신호 전류를 만든다. PIN 포토 다이오드에 방사선을 조사하더라도 이러한 특성은 그대로 유지된다^[5].



(a) 이온화 현상



(b) 출력 검출 방법

그림 2. 방사선 조사 시 PIN 다이오드의 동작

Fig. 2. PIN diode performance when induced radiations.

- (a) Ionized phenomenon of PIN diode,
- (b) Output detection method.

그림 2(a)는 PIN 다이오드에 방사선이 조사되었을 때 I-영역의 이온화에 의한 전류의 발생을 나타낸 것이다. 이때 발생하는 전류는 I-영역의 면적에 비례하므로 그림 2(b)에서와 같이 PIN 다이오드에 역 바이어스

를 인가하여 I-영역을 넓혀주어 측정을 한다. 이때 감도를 좋게 하기 위하여 역 바이어스를 인가하여 측정한다. 역 바이어스를 인가함에 따라 공핍층이 증가하고 입력이 없을 때 측정되는 암전류 또한 감소한다^[1,2,9]. 그러므로, 방사선량의 증가에 비례하여 PIN 다이오드에 흐르는 전류량이 증가하는 특성은 그림 3과 같이 나타난다. 따라서, 일정한 역 바이어스 전압에 대하여 방사선 양에 의한 PIN 다이오드의 누설전류를 정량화함으로써 p-MOSFET과 같이 방사선 센서로서 사용 가능하다.

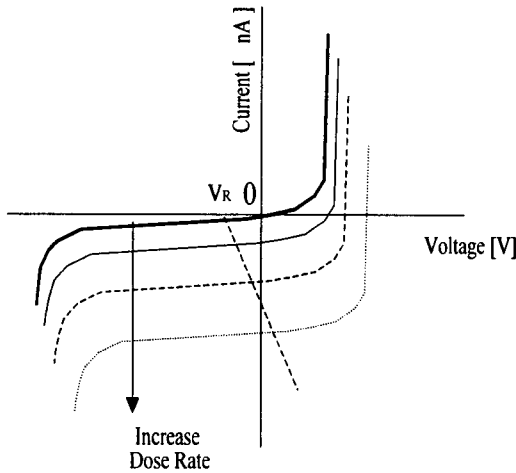


그림 3. 방사선량에 의한 누설전류의 변화 특성
Fig. 3. Variation characteristics via radiation doses.

IV. 실험 및 분석

방사선 누적량에 의한 PIN 포토 다이오드의 검출 특성을 조사하기 위하여 저준위 시설에서 방사선원 Co-60을 가지고 실험을 하였다. 이 때, 실험에 사용된 PIN 포토다이오드는 NEC의 PH302와 SIEMENS 사의 BPW34이었다. PH302는 $V_R = 10[V]$ 에서 최대 암전류(max. dark current)가 30[nA], 최대 파장감도(maximum wave length sensitivity)가 940[nm]이며 방사감도 면적(radiant sensitivity area)은 9[mm²]이다. 또한, BPW34은 $V_R = 10[V]$ 에서 최대 암전류가 30[nA], 최대 파장감도가 850[nm]이며 방사감도 면적은 7[mm²]이다.

표 1. Co-60 방사선원에서 PIN 다이오드의 실험 결과 (단위 [nA])

Table 1. Experimental results for PIN diodes in Co-60 radiation source(Unit [nA]).

Bias Voltage [V]	PH302		BPW34	
	-3.0[V]	-1.5[V]	-3.0[V]	-1.5[V]
Total Dose [krad/h]				
0.0	-0.0618	-0.0307	0.0414	0.0045
0.05	-0.0592	-0.0434	-0.1314	0.0468
0.1	-0.3485	-0.5089	-0.6506	0.4169
0.5	-2.4173	-2.4411	-1.0974	-1.2709
1	-5.1510	-5.0064	-2.7949	-2.7660
2	-10.6801	-10.2123	-5.3047	-5.1070
4	-20.8677	-20.3231	-10.9698	-10.6018
6	-32.5535	-32.1738	-16.8103	-16.1685
8	-43.9665	-43.6728	-21.0766	-19.8434
10	-60.2057	-57.9948	-29.2051	-28.5089

PIN 다이오드는 선량률을 측정하는 것이므로 방사선 원으로부터 방사선량에 따른 거리를 계산하여 여러 번 반복하여 HP사의 Semiconductor Analysis로 측정하였다. 측정은 바이어스 전압을 0, -1.5, -2.0, -3.0, -4.0, 및 -5.0[V]에 대해 방사선량을 0~10[krad/h] 사이의 몇 단계로 조사하면서 다이오드의 전류를 측정하였다. 표 1은 Co-60 방사선원을 조사할 경우에 PH302와 BWP34 각각에 대하여 측정한 데이터 중 일부인 역 바이어스 전압 -3.0[V]와 -1.5[V]를 인가한 경우에 얻은 다이오드의 전류이다. 방사선량은 선원으로부터 거리에 비례하여 감소한다. 그러므로 실험 시 방사선량을 조절하기 위하여 표2의 기준에 의하여 측정 소자를 각 단계 별로 고정시킨 상태에서 측정하였다.

표 2. 방사선량에 따른 Co-60의 조사방법

Table 2. Distances of Co-60 for radiation dose.

측정단계	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distance [Cm]	287	196	83.5	56	37.5	24.5	18.5	15.3	12.2
Total Dose [krad/h]	0.05	0.1	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0

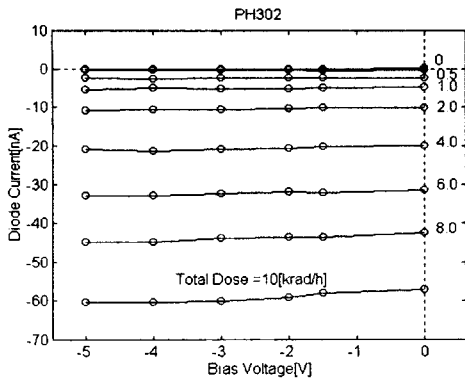


그림 4. 방사선량에 따른 PIN 다이오드 PH302의 V-I 특성

Fig. 4. V-I characteristics of PIN diode PH302 by radiation doses.

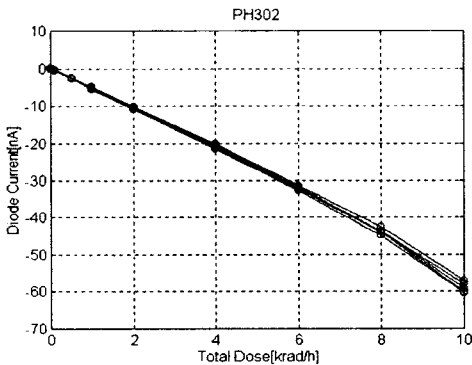
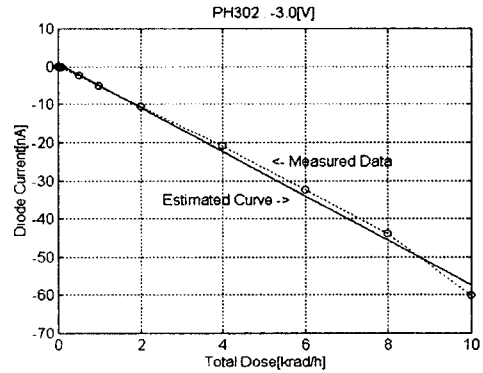


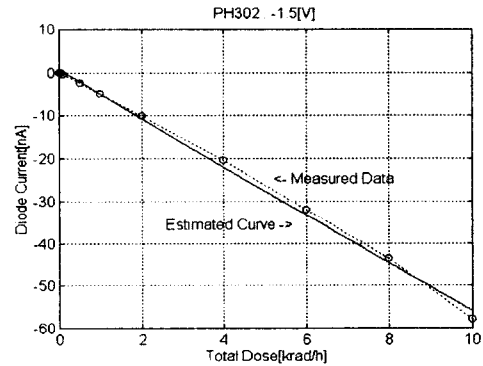
그림 5. PH302의 방사선량과 다이오드 전류
Fig. 5. Radiation doses and diode current in PH302.

그림 4는 0~ -5[V]의 역 바이어스 전압의 경우에 방사선량의 변화에 대한 다이오드 인가전압과 전류사이의 특성을 나타낸다. 역 바이어스 인가시 방사선량의 변화가 없을 때 출력 전류는 인가 전압에 관계없이 거의 일정하다는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 그림 4의 결과로부터 방사선량과 출력 전류 사이의 특성만을 나타낸 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 역 바이어스 전압이 0~-5.0[V]의 영역에서는 방사선 누적량이 증가함에 따라 다이오드의 전류가 선형적으로 감소되는 현상을 나타낸다. 이 때, 방사선량과 출력 전류 사이에는 선형관계가 성립된다. 즉, 각 역 바이어스 전압 -5, -4, -3, -2, -1.5 및 0[V]에 대하여 방사선량과 다이오드의 출력전류 사이의 상관계수(correlation coefficient)

는 모두 -0.99 이상으로 이 2 파라미터들은 매우 상관성이 높은 것을 알 수 있다.



(a) V=-3.0[V]



(b) V=-1.5[V]

그림 6. PH302 다이오드의 방사선량 검출 특성
Fig. 6. Detection performances of a PH302 diode.

선형 관계를 이용하여 PH302 PIN 다이오드를 방사선 누적량 센서로 이용하기 위해서는 특성이 양호하게 나타나는 역 바이어스 전압을 정하고 이 전압에서 방사선량과 전류 사이의 선형함수를 구해야 한다. 다시 말해서, 이 소자를 사용한 회로의 출력 전류 x [nA]로 방사선량 y [krad]을 결정해야 한다. 그림 6은 역 바이어스 전압이 각각 -3.0 및 -1.5[V]인 경우에 측정치와 추정함수(estimation function)를 나타낸다. 이 때, 방사선량 추정함수는 다음과 같다.

$$y = -0.1724x + 0.1251$$

(바이어스 전압이 -3.0[V]인 경우) (2)

$$y = -0.1769x + 0.1160$$

(바이어스 전압이 -1.5[V]인 경우) (3)

이와 같은 함수는 동일 PIN 다이오드를 이용하여 방사선 선량계를 설계하는 경우에 정량화 함수로 사용된다.

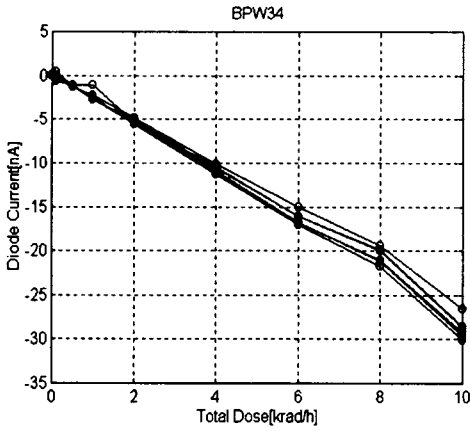


그림 7. BPW34의 방사선량과 다이오드 전류
Fig. 7. Radiation doses and diode current in BPW34.

한편, 그림 7은 SIEMENS 사의 BPW34에 대하여 측정된 방사선량과 다이오드의 전류 사이의 관계를 나타낸다. 이 경우에도 바이어스 전압은 PH302와 동일하게 선택하였다. 이 결과에서 보면 방사선량이 8[krad]에서 측정된 값이 약간의 편차를 나타내지만 대체적으로 PH304의 그림 5와 유사한 선형성을 보인다. 방사선량과 출력전류 사이의 상관계수는 PH302와 유사하게 -0.99 이상으로 이들 사이는 양호한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 다만, 측정 시에 노이즈 등이 PH302보다 증가되는 경향이 있으므로 BPW34가 안정성은 약간 떨어진다고 판단된다.

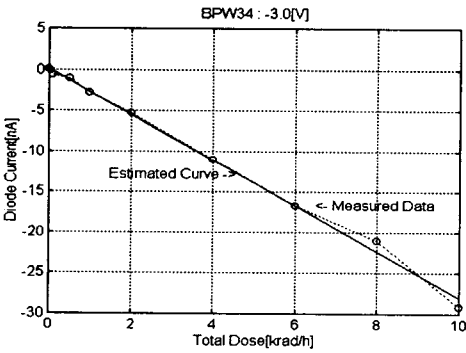
그림 8(a) 및 (b)는 역 바이어스 전압이 -3.0 및 -1.5[V]의 측정치와 추정함수 관계를 나타낸다. 이 경우에도 다이오드의 출력 전류 x [nA]와 방사선량 y [krad] 사이의 추정함수는 다음과 같이 주어진다.

$$y = -0.3552x + 0.0393$$

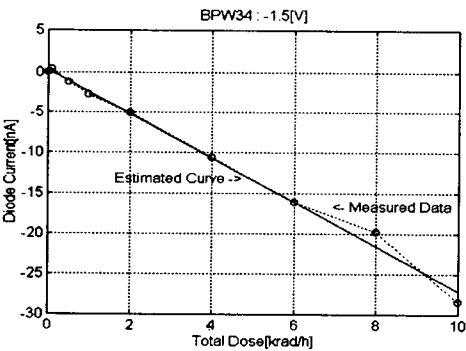
(바이어스 전압이 -3.0[V]인 경우) (4.3)

$$y = -0.3652x + 0.1050$$

(바이어스 전압이 -1.5[V]인 경우) (4.4)



(a) V=-3.0[V]



(b) V=-1.5[V]

그림 8. BPW34 다이오드의 방사선량 검출 특성
Fig. 8. Detection performances of a BPW34 diode.

일반적으로 PIN 다이오드는 입사 창에 조사된 방사선의 누적량에 의해 누설전류가 선형적으로 변화되는 것을 확인하였다. 이 때, 다이오드의 출력 전류는 PH302나 BPW34가 모두 최대 방사선량 10[krad/h]을 조사하고 -3.0[V]의 역 전압을 인가한 경우로 가정하면 60 및 30[nA] 정도이다. 따라서, 선량계를 설계하기 위해서는 다이오드의 미소 전류를 측정 가능한 전압으로 변환할 수 있는 전류-전압 컨버터(current to voltage converter)와 고성능 증폭기의 설계가 요구된다. 그러나, PIN 포토 다이오드는 방사선 누적량에 의한 출력 전류의 변화가 양호한 선형성을 나타내기 때문에 소형이며 경량인 휴대용 γ 선 선량계의 센서로도 응용이 가능하다.

V. 결론

본 연구에서는 방사선 선량계에 사용하기 위한 PIN 포토 다이오드를 특성을 실험, 분석하였다. 일반적인 PIN 포토 다이오드는 빛의 양에 따라 다이오드의 역 누설전류가 변화된다. 따라서, 이 소자들은 방사선량에 의해서도 출력 전류가 변화될 것으로 추측되었다.

NEC 사의 PH302 소자와 SIEMENS 사의 BPW34 소자를 사용하여 Co-60 γ 선 고준위 시설에서 미리 설정한 방사능 세기로 조사시켜 특성을 실험하고 센서의 성능을 분석하였다. 그 결과 2 소자 모두 방사선량과 누설전류 사이의 추정함수가 선형함수로 근사화가 가능함을 확인하였다. 이 때, 2 파라미터의 상관계수는 거의 1에 가깝게 나타났다. 따라서, 저가의 상용 PIN 포토 다이오드가 γ 선 방사선 모니터링 센서는 물론 소형 경량급 선량계의 개발에도 효율적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] N. Tsoulfanidis, *Measurement and Detection of Radiation*, Hemisphere Pub., 1983.

[2] L. W. Ricketts, *Fundamentals of Nuclear Hardening of Electronic Equipment*, Robert E. Krieger Pub., 1986.

[3] G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, 1988.

[4] J. J. Lofferski, and P. Rappaport, *Radiation Damage in Ge and Si Detected by Carrier Lifetime Changes : Damage Thresholds*, RCA Laboratories, Princeton, New Jersey, 1958.

[5] H. W. Kraner, T. Ludlam, D. Kraus, and J. Renardy, *Radiation Damage in Silicon Surface Barrier Detectors*, Brookhaven National Laboratory, Upton, 1980.

[6] J. J. Wiczer, L. R. Dawson, G. C. Osbourn, and C. E. Barnes, "Permanent Damage Effects in Si and AlGaAs/GaAs Photodiodes", Sandia National Labs., Albuquerque, NM(USA), SAND-82-0775C, 1982.

[7] R. Korde, and A. Ojha, "The Effect of Neutron Irradiation on Silicon Photodiodes", IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. 36, No. 6, pp. 244~250, 1989.

[8] I. Li and H. W. Kraner, "Studies of Frequency Dependent C-V Characteristics of Neutron Irradiated p+-n Silicon Detector", IEEE Transaction Nuclear Science, Vol. 38, No. 2, pp. 2169~2175, 1991.

[9] *The Implementation of a Theraph Radiation Dose Measurement System using a Micro-computer*, KAERI, RR-1656, 1996.

[10] C. M. Snowden, *Semiconductor Device Modelling*, Peter Peregrinuw Ltd., 1987.

著 者 紹 介

鄭 東 和

1976년 11월 14일생.
 1999년 대전산업대학교 전자공학과 졸업, 1999년~현재 대전산업대학교 전자공학과 석사과정.
 주관심분야 : 반도체 센서, 자동화시스템.



金 成 德

1951년 10월 1일생
 1978년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1988년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학박사).

1990년~1991년 호주국립대학(ANU) 객원교수.

1980년~현재 대전산업대학교 전자공학과 교수.

주 관 심 분 야 : 계측 및 센서시스템, 적응제어, 자동화