

Development of Prototype Electronic Dosimeter using the Silicon PIN Diode Detector

B. J. Lee, B. H. Kim, S. Y. Chang, and J. S. Kim

Korea Atomic Energy Research Institute

실리콘 PIN 다이오드 검출기를 이용한 전자선량계 개발

이봉재 · 김봉환 · 장시영 · 김종수

한국원자력연구소

(2000년 6월19일 접수, 2000년 11월30일 채택)

Abstract - A prototype electronic dosimeter(PED) adopting a silicon PIN diode detector as a radiation detector has been developed, manufactured and test-evaluated. A radiation signal processing circuit has been electronically tested and then the radiation detection characteristics of this PED has been performance-tested by using a reference photon radiation field. As a result, in a electronic performance test, radiation signals from a detector were well observed in the signal processing circuit. The radiation detection sensitivity of this PED after several test-irradiations to a ^{137}Cs gamma radiation source appeared to be $1.85 \text{ cps/Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ with 19.3% of the coefficient of variation, which satisfied the performance criteria for the active personnel radiation monitor. Further improvement of the electronic circuit and operating program will enable the PED to be used in personal monitoring purpose.

Key Words : Prototype electronic dosimeter, PIN diode detector, Signal processing circuit, Performance criteria

요약 - 실리콘 PIN 다이오드 검출기를 이용하여 전자선량계(PED)를 설계 및 제작하고, 전자신호회로의 성능과 방사선 검출 반응특성을 평가하였다. 전자회로의 성능검사에서는 방사선에 의한 검출기의 신호가 신호처리회로에서 양호하게 출력되었으며, ^{137}Cs 감마 방사선을 이용한 방사선조사 시험결과 선량계의 반응도 및 분산계수는 각각 $1.85 \text{ cps/Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 및 19.3%로 측정되어 전자선량계의 성능기준을 만족하는 것으로 나타났다. 본 전자선량계의 시작품은 향후 전자회로의 성능향상과 작동 프로그램을 보완 및 개선함으로써 개인 방사선 모니터링에 활용될 것으로 기대된다.

중심어 : 전자선량계, PIN 다이오드 검출기, 신호처리회로, 성능기준

서 론

원자력산업의 발전으로 우리나라의 원자력 관련 산업은 비약적인 성장을 이루었다. 이로 인하여 원자력 산업에 종사하는 사람 및 시설에 대한 방사성물질 및 방사선에 노출되는 확률도 증대되어 방사선안전성 확보가 중요한 문제로 대두되었다. 방사선방호의 궁극적인 목표는 방사선피폭을 합리적으로 달성 가능한 범위에서 최소화하여 인간을 보호하는 것이므로 개인의 방사선 피폭을 측정 평가하는 선량계의 연구 개발은 무엇보다 중요하다.

국내의 원자력발전소, 병원, 산업체 및 연구기관 등에서 사용하는 개인선량계는 수동형으로서 TLD와 필름벳지 등이 주로 사용되고 있다. 수동형 선량계(passive dosimeter)는 일정기간 방사선에 노출된 후 판독과정을 거쳐야 피폭선량을 알 수 있는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하고 효율적인 개인의 피폭관리를 위하여 포켓 도시메터, 알람 도시메타와 같은 능동형 선량계(active dosimeter)가 사용되어 왔으며, 반도체 기술과 전자기술의 발달로 인하여 최근 능동형 선량계 시스템이 개발되어 사용되고 있다. 이 시스템은 즉각적인 선량 및 선량률 표시, 경보기능, 피

폭이력 그리고 선량관리자료의 효율성 등의 장점을 갖고 있어 보조선량계로서 원자력 관련 시설에서 널리 사용되고 있다. 그러나 능동형 선량계 시스템은 고가임에도 불구하고 전량 외국에서 수입하여 사용하고 있는 실정이다.

이러한 배경에서 한국원자력연구소에서는 각종 방사선 측정 시스템의 설계, 제작기술과 방사선 정밀 교정 및 성능평가 기술을 응용하여 원자력 및 관련 산업체에서 사용할 수 있는 전자선량계를 국산화하는 연구를 수행하였다. 개발될 전자선량계의 방사선 검출기는 소형화를 위하여 실리콘 PIN 다이오드 검출기를 사용하고, 선량계의 구성 요소인 측정 및 신호처리 시스템(counting module and system)인 신호처리부, 통신 프로토콜, 방사선량 표시장치를 설계 제작하며, 한국원자력연구소의 방사선 검·교정시설을 활용하여 방사선에 대한 반응도, 측정 범위 등의 성능검사 수행하였다.

PIN 접합 반도체검출기는 그림 1(a)에서 보여주는 특성에서 dark 조건과 light 조건에서 3사분면에서 동작시킴으로써 방사선검출기로서 사용된다. 그림 1(b)는 그 구조를 보여주고 있다. 이것은 Breakdown 전압보다 적은 역바이어스로 동작하며, 검출능력은 dark시의 I_0 에서 light가 존재할 때의 $I_0 + I_{ph}$ 까지 역전류의 급격한 증가에 기인한다. 발생된 전자-전공 쌍들은 즉각적으로 고역전계에 의해서

밀려나고 거의 재결합없이 I_{ph} 에 기여한다. 확산거리내 이외의 공핍층 외부에서 발생된 전자-전공 쌍들은 그 방향으로 확산하여 I_{ph} 에 기여한다. 멀리서 발생된 전자-전공 쌍들은 재결합에 의해 손실된다.

그림 1(b)의 PIN 구조에서 전자-전공 쌍을 수집하는 부피는 $A_w = A(L_c + L_h + d)$ 이며, 여기서 A 는 면적, L_c 와 L_h 는 각각 전자와 전공의 확산거리이다. 전 광전류 I_{ph} 는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} I_{ph} &= \int_{\lambda} qA \int_{x=0}^w g(x, \lambda) dx d\lambda \\ &= qA \phi \int_{\lambda} \eta(\lambda) [1 - \exp\{-\alpha(\lambda)\}] d\lambda \quad (1) \end{aligned}$$

여기서 λ 는 파장 범위 이상으로 확장한다.

이러한 전류는 누설전류와 같은 방향, 즉 역방향으로 검출기의 전체 전류는 식 (2)와 같다.

$$I = I_0 \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1 \right) - I_{ph} \quad (2)$$

그림 1(a)의 곡선 (2)에 보여주는 이러한 특성은 실제로 I_{ph} 에 의해서 줄어드는 dark특성 곡선(1)을 shift함으로서 얻어질 수 있다. 이러한 모든 것은 그림 1(c)의 등가회로로 표현될 수 있으며, D는 이상적인 다이오드($V < 0$ 때 역바이어스)이고, R_i 는 공핍층 외부 영역의 전체 직렬저항(N과 P영역 부분의 접촉저항)을 나타낸다.

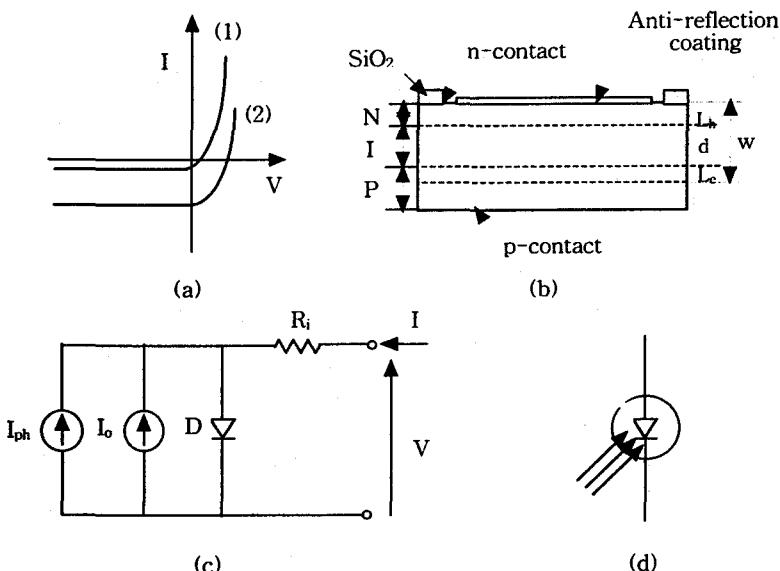


Fig 1. The PIN detector: (a)the I-V characteristic(1-in the dark, 2-with light); (b)PIN detector structure; (c)the equivalent circuit; (d) standard circuit symbol.

실리콘 PIN 다이오드 검출기의 응답시간은 발생된 carrier들이 진성영역을 통과하는 이동시간에 의해 제한되며, carrier들의 확산시간은 drift 시간보다 매우 길기 때문에 공핍전계영역 외부에서 발생된 carrier들의 기여는 비교적 작으므로 전 부피에서 전자-전공쌍에 기여하기 위하여 고전계영역에 두어야 한다.

PN 또는 PIN형 검출기는 자체 증폭기구(built-in amplifying mechanism)를 갖는 광검출기로서 동작된다. I_{ph} 는 역동작전압을 거의 전자사태 항복전압(avalanche breakdown point)까지 조정함으로써 증폭될 수 있다. I_{ph} 는 다음의 식(3)에 주어진 증폭계수 M 으로 곱해질 것이다[1]. 여기서 V 는 역전압, BV 는 항복전압, m 은 반도체에 따라 결정되는 상수이다.

$$M = \frac{1}{1 - \{V/BV\}^m} \quad (3)$$

모든 검출기에서 중요한 것은 최저 검출가능신호이다. 이것은 검출기 자체의 잡음[2]과 방사선에 의한 신호에 더하여 검출기에 입사하는 자연방사선에 의해 제한된다.

전하감도형 증폭기의 기본회로는 그림 2와 같이 연산증폭기(operational amplifier)로 구성된다. 이 회로에서 출력전압은 전하 신호가 계단식으로 증가하여 증폭기의 범위를 벗어나기 때문에 최종적으로 포화되므로 전하감도증폭기의 동작을 회복시키기 위하여 궤환 캐패시터(feedback capacitance) C_f 의 축적된 전하를 방전시키거나 입력에 반대신호를 갖는 같은 양의 전하를 궤환시킨다. 이 경우에 신호대 잡음비가 우수진다[3]. 출력전압은 감쇄시정수(decay time constant) $\tau(C_f \times R_f)$ 로 첨두값(peak value) E_{out} 으로부터 지수적으로 감소하고 신호대 잡음비(signal to noise ratio ; S/N)는 저항 R 에서의 열잡음의 상승 때문에 약간 증가한다.

검출기에 전하감도증폭기를 결합하는 방법(coupling method)은 그림 2(a)와 (b)에서 보여준다. 그림 2(a)에서 보는 것처럼 검출기에서 누설 전류가 매우 적을 때에는 DC결합이 사용된다. 그러나 검출기의 바이어스 전압을 차단하고 단지 전하감도증폭기의 입력에 전하를 궤환시키기 위하여 C_c 를 통해서 검출기를 연결하도록 일반적으로 AC결합이 사용된다.

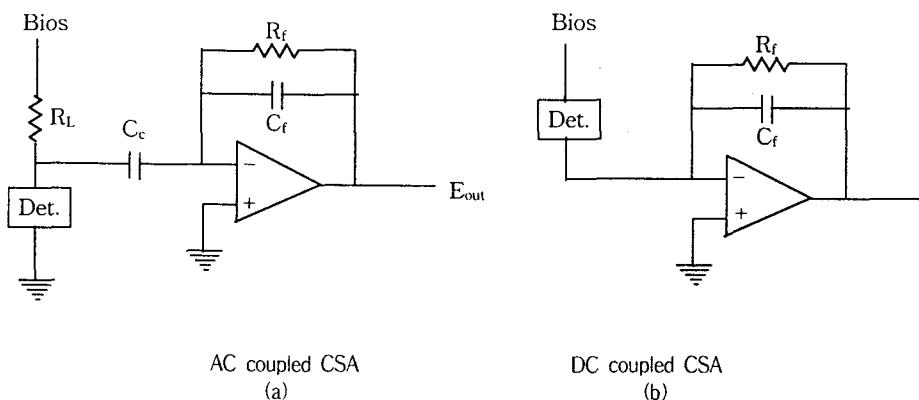


Fig 2. Basic circuit diagram of the charge sensitive amplifier.

전하감도증폭기의 출력은 보통 시정수 τ 를 갖고 지수함수적으로 감쇄하는 연속적인 출력신호이므로 다음 출력의 감쇄에 중첩(pile up)된다. 신호의 중첩을 피하기 위한 clipping 회로를 구성하여 신호의 감쇄시간을 줄인다. clipping 회로를 통과하는 신호파형은 undershoot가 발생하는데, 이는 전하감도증폭기의 감쇄시간으로 파형을 clipping하여 발생한다. overshoot는 감쇄시정수에 대응하는 기간동안 지속되고 주증폭기의 shaping에 영향을 미

치므로 긴 overshoot를 갖는 증폭기로 측정된 펄스파고는 계수율 증가에 따라서 나빠진다. 이것은 overshoot 기간동안 주 증폭기 출력에서 DC 레벨의 흔들림에 의해 발생된다. 가능한 한 신속히 overshoot를 제로 수준으로 회복하거나 보상하기 위해 pole-zero cancellation(PZC)라는 회로를 사용된다. 이와 같은 회로는 실제적으로 overshoot가 없는 신호파형을 얻을 수 있고, PZC 회로와 클리핑 회로를 함께 사용함으로써 짧은 감쇄시간

의 신호를 실현한다.

설계 및 제작

선량계의 hardware는 감마 방사선에 의해 전기적 신호를 발생하는 반도체 검출기, 검출기에서 출

력되는 신호 증폭 및 필스를 형성시키는 신호처리 회로, 측정자료를 나타내는 표시장치 및 경보장치, 판독기와의 통신을 위한 통신장치, 전원장치, 선량계를 제어하는 마이크로프로세서와 동작 프로그램으로 그림 3과 같이 구성하여 설계 제작하였다.

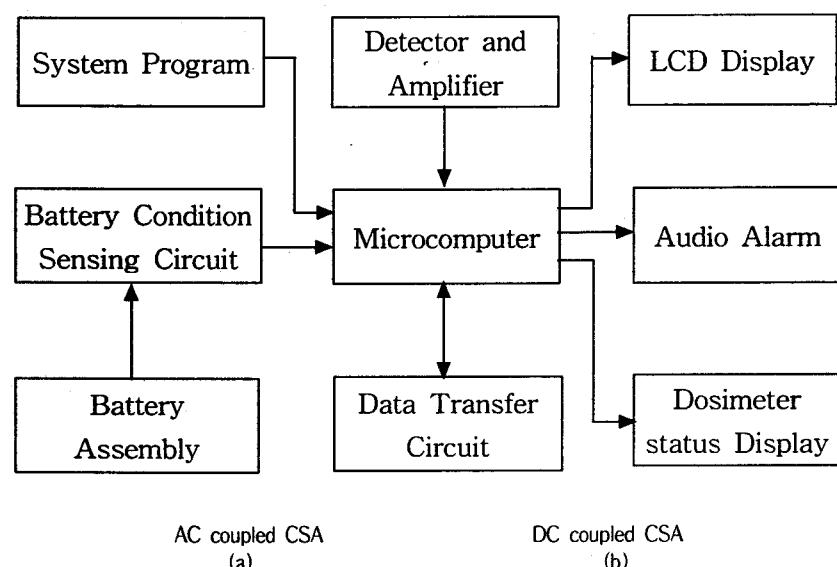


Fig. 2. Basic circuit diagram of the charge sensitive amplifier.

실리콘 PIN 다이오드 반도체검출기

방사선 검출기로는 URORAD사의 SI007로서, 외부 표면은 에폭시로 도포되어 있으며, 외부 크기는 그림 4와 같은 실리콘 PIN 다이오드 검출기를 사용하였다. 검출기의 측정 에너지 범위는 50 keV

~ 6 MeV이며, 유효 반응면적이 7 mm^2 이고 반응 감도가 30 cps/mGy/h 이다. 전기적 특성은 동작 전압이 3.6 VDC, 누설전류가 $3 \times 10^{-9} \text{ A}$, 정전용량이 23 pF이며 최대역전압은 32 VDC이다.

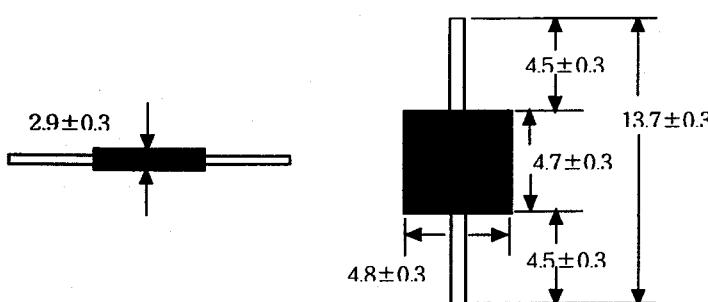


Fig. 4. Shape and size of the Silicon PIN diode detector(URORAD, SI007).

신호처리회로

방사선계측회로에서 사용되는 증폭기는 전하감도형(charge sensitive type)과 전류감도형(current sensitive type)이 있다[5]. 증폭기는 hybrid형과 연산증폭기를 이용하여 설계하는 방법이 있으나 본 설계에서는 연산증폭기(operational amplifier)를 이용하여 전하감도형 증폭기를 설계 제작하였다. 실리콘 PIN 다이오드 검출기는 동작전압에 의해 역방향으로 임피던스가 감소하며, 방사선에 의한 상호작용으로 검출기에서 생성된 전하는 결합 콘덴서를 통해서 수집된다.

검출기의 정전용량인 23 pF를 고려하여 전하가 충분히 수집되도록 시간적 분[6]을 하였으며, 전류펄스를 shaping하기 위하여 적절한 시정수의 설정되도록[7] 검출기의 출력에 정전용량이 220 pF의 콘덴서를 연결하였다. 수집된 전하는 정극성을 갖는 전류펄스로 연간증폭기의 반전입력에 연결되도록 하여 그림 5와 같이 전하감도형의 신호처리회로인 증폭기 회로를 구성하였다.

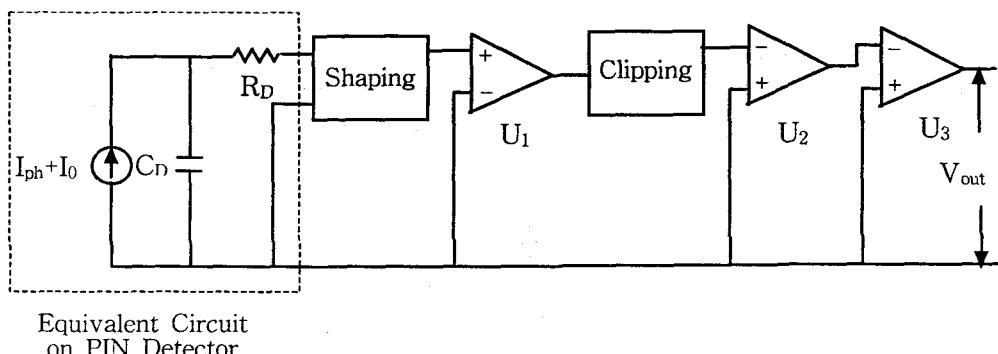


Fig. 5. Configuration of the signal processing circuit.

사용된 연산증폭기는 입력이 고임피던스이면서 저잡음 특성을 갖으며, 저소비전력을 갖도록 단일 전원 공급이 가능한 연산증폭기를 사용하였다. 회로의 안정도와 S/N비를 향상시키고 신호의 일그러짐을 감소시키기 위하여 전치증폭기인 연산증폭기 U_1 에는 퀘브(feedback)회로를 구성하여 연산증폭기의 open-loop 이득이 크게 되도록[7] 설계하였다. 일단 연산증폭기의 출력에는 펄스 전류의 폭과 같은 시정수를 갖도록 콘덴서와 저항을 사용하여 많은 펄스를 증폭할 때 펄스의 중첩을 발생시키는 pile up현상을 방지하기 위하여 펄스의 폭이 30 μ sec이하의 시정수를 갖도록 clipping 회로[8]를 구성하였으며, 전치증폭기의 전류펄스 shaping의 시정수에 영향을 미치지 않도록 하였다[9]. clipping 회로를 통과한 부극성의 전류펄스는 연산증폭기 U_2 의 반전입력에 연결하였으며, 연산증폭기 U_2 는 전자소자에 의한 잡음이나 외부 잡음에 대한 S/N비를 향상시키기 위하여 완충증폭기로서 사용되었으며, 연산증폭기 U_1 에서 출력되

는 펄스의 크기는 1 V이하이므로 연산증폭기 U_2 에서 수 V정도 증폭되도록 하였다. 연산증폭기 U_2 에서 증폭된 펄스는 방사선에 의한 펄스 신호뿐만 아니라 잡음성분을 포함하고 있다. 따라서 연산증폭기 U_3 를 전압비교기로 구성하여 잡음성분을 제거하고 일정크기 이상의 펄스만 통과되도록 하여 광고분석기의 한 종류인 미분판별기[10]로 동작되도록 설계하였으며, 앞단의 출력 펄스를 반전입력 단자에 연결하여 마이크로프로세서의 계수기에서 펄스 신호를 계수하기 위한 정극성의 전류펄스로 반전되도록 하였다.

마이크로프로세서와 회로 설계

선량계 제작에 사용된 마이크로프로세서의 구성은 Microchip사의 8 bit 데이타의 구조를 갖으며, 8k x 14 word의 Flash 프로그램 메모리와 368 x 8 byte의 데이터 메모리를 갖고 있는 PIC16F77 chip[11]을 사용하여 그림 6과 같은 회로를 구성하였다.

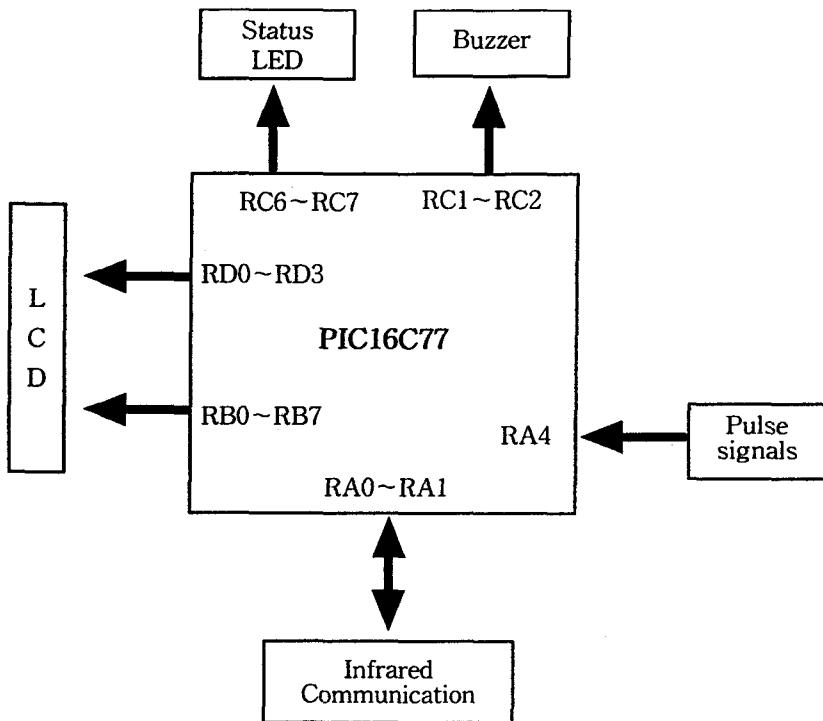


Fig. 6. Circuit diagram of the microprocessor.

Input/output port인 RB0~RB7 단자는 LCD Module의 명령어와 한글font를 제공하며, Input/output port인 RD0~RD3 단자는 LCD를 제어할 때 RB0~RB7 단자의 데이터 버스상에 데이터를 쓰거나 읽을 때 제어하는 역할을 한다. RC2는 Buzzer를 제어하는 단자이며 Buzzer를 작동시킨다. RA4 단자는 신호처리회로의 출력 펄스가 입력되며, CPU 내부의 counter는 입력된 펄스를 계수하게 된다. RA0과 RA1 단자에 연결된 적색과 녹색의 LED는 선량계의 작동상태를 보여주는 지시계이다. RC6/TX/CK 단자에 연결된 적외선 LED는 CPU와 선량계 판독기가 통신할 때 데이터를 비동기식으로 보내주며, 통신 데이터의 해당 bit가 high일 때 발광되고, low일 때 소등되면서 선량계 판독기에 데이터를 전송한다. RC7/RX/DT 단자는 선량계 판독기로부터 데이터를 수신할 때 적외선 LED가 발광하면 이 단자에 입력고, 선량계 판독기로부터 수신된 데이터는 CPU의 Resistor에 저장된다. RC6/TX/CK 단자는 선량계의 작동

시 마이크로프로세서 내부의 EPROM에 저장된 데이터를 판독기에 전송하도록 구성하였다.

LCD 표시장치는 한글 font를 갖고 있는 프로세서를 내장하고 있으며 마이크로프로세서로부터 직접 데이터를 수신하는 LCD를 사용하였다. LCD의 표시창에는 한글화를 구현하여 사용자의 한글 이름이 표시되고 방사선량률과 괴폭선량은 각각 Sv/h 와 Sv의 단위로 표시창에 나타나며, 선량계 밧데리의 잔량도 표시하도록 설계하였다.

선량계 판독기와의 통신방식은 적외선 변조를 이용한 직렬 비동기 통신으로 설계하였다. 송신시에는 전송 데이터를 56 kHz의 펄스를 변조하여 56 kHz의 펄스 변조신호가 Carrier 신호이다. 적외선 신호를 변조하는 이유는 데이터 전송시 태양광, 형광등, 할로겐 램프 등에는 상당수의 적외선이 포함되어 있으므로 변조되지 않은 데이터를 전송할 경우 전송거리가 짧아지고 잡음의 영향을 받을 수 있기 때문이다. 선량계의 프로그램은 하나의 폐곡선을 이루며 선량계 판독기와 통신시

Interrupt에 의해 데이터가 인식되도록 하였으며, Main 프로그램과 Interrupt 프로그램으로 구분하여 프로그램을 제작하였다.

선량계의 외부는 플라스틱으로 제작하였으며, 그림 7과 같이 선량계의 앞면의 LCD 표시창에는 사용자의 이름과 측정된 방사선량율과 피폭방사선

량이 표시되도록 하였으며, 벗데리의 잔량이 Bar로 표시되도록 하였다. 선량계의 뒷면에는 판독기 와의 데이터를 송수신을 위하여 적외선 통신 LED를 배치하였으며, 선량계 뒷면에는 경보를 발생시키는 Buzzer와 사용자가 선량계의 동작상태를 알 수 있도록 적색 LED 및 녹색 LED를 배치하였다.

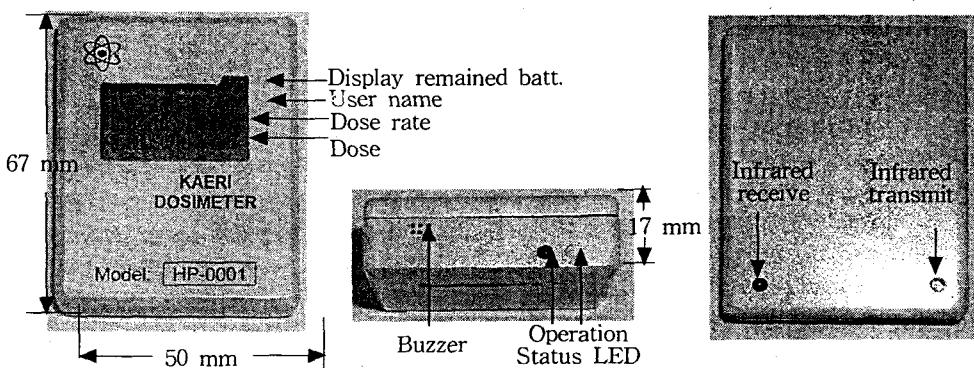


Fig. 7. Shape and size of the fabricated dosimeter.

성능시험 및 토의

실리콘 PIN 다이오드 검출기에서 출력되는 신호를 처리하는 신호처리회로의 동작 특성을 시험하기 위하여 검출기에 방사선원 ^{137}Cs (333 kBq)을 이용하여 검출기에 약 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 를 조사시킨 경우와 잡음 특성을 해석하기 위한 경우에 오실로스코프로 신호처리회로의 출력파형을 측정하였다. 그림 11과 그림 12에서와 같이 방사선에 의한 펄스 신호의 크기는 약 2 V이고, 잡음신호의 크기는 약 0.25 V인 펄스 파형이 관찰되어 설계 제작된 신호 처리회로가 양호하게 동작하고 있음이 확인되었다.

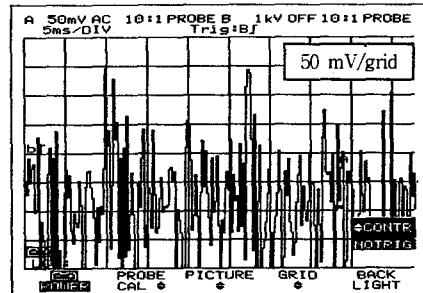


Fig. 9. Noise signal from amplifier output without radiation source(^{137}Cs , 333 kBq).

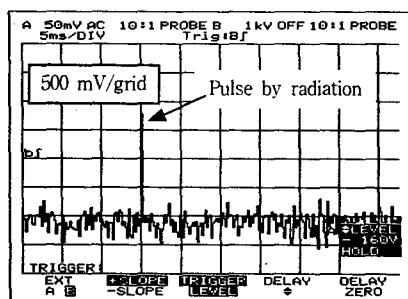


Fig. 8. Signal from amplifier output by radiation source(^{137}Cs , 333 kBq).

본 연구에서 시험적으로 제작된 전자선량계의 방사선반응특성을 결정하고자 고에너지 감마선원 (^{137}Cs)을 사용하여 이에 대한 선량환산인자를 결정하고, 선량률 반응특성을 조사하였다. 한국원자력연구소의 기준 방사선조사시설에서 ^{137}Cs 선원을 이용하여 조사선량률 $3 \text{ mR/h} \sim 25 \text{ R/h}$ 의 조건에서 방사선조사실험을 수행하였다. 엑스선의 경우 시험제작된 선량계가 단지 빛에 의한 잡음 차단용으로 약 0.3 mm 두께의 Cu만을 검출기의 덮개물질로 사용하고 있기 때문에 수행하지 않으며, ISO 또는 ANSI 규격의 엑스선질과 고에너지

감마선원 (^{137}Cs , ^{60}Co) 등을 이용하여 약 40 keV~1.25 MeV의 영역에서 에너지반응특성이 결정될 것이다.

고에너지 감마선원과 개인선량계 시험조사조건에 따라 PMMA(Poly-Methyl Meta-Acrylate) 팬 톰위에 선량계를 부착하고 조사실험을 수행하였으며, 선량계의 반응이 선량당량의 실용량인 Hp(10)의 값으로 나타나도록 ^{137}Cs 선원에 대한 선량당량 환산계수를 사용하였다. 결정된 선량당량환산인자는 선량계내의 마이크로프로세서에 입력되었다. 대부분의 개인선량계용 반도체검출기는 100 keV 이하의 저에너지 감마선에 대하여 광전효과 반응 확률이 크다. 따라서 상대적으로 에너지흡수가 고에너지의 경우보다 크기 때문에 이를 보상하기 위하여 일정 두께의 필터를 사용한다. 실리콘(Si-PIN)으로 제작된 검출기의 경우 입사 감마선에 대한 필터의 전자생성수율을 고려하여 1.5 mm 두께의 알루미늄을 사용하는 것으로 알려져 있다.[12]

전술한 조사선량률 범위내에서 결정된 선량계의 ^{137}Cs 선원에 대한 반응도는 그림 10, 그림 11, 표 1과 같다. 그림 10은 시험제작 이전의 조사선량률과 계수율과의 관계를 보여주고 있으며, 그림 11은 모든 부품 및 회로가 소형 선량계내에 접속되어 완성된 선량계에 대한 반응도이다.

전자선량계의 성능시험기준[13]에 의하면 전 시험범위에 걸쳐 상대오차가 선량당량률의 경우 $\pm 20\%$, 선량당량의 경우 $\pm 15\%$ 를 초과하지 않도록 정하고 있다. 동 기준에 근거하여 결정된 시험제작된 선량계의 반응도는 1.85 cps/Gy/h(분산계수, COV, Coefficient Of Variation : 19.3 %)로 나타났다. 시험제작된 선량계는 1초 간격으로 누적 선량을 표시함과 동시에 선량률도 동시에 나타내도록 설계되어 있다. 따라서 저선량률의 경우에 충분하지 못한 계수값으로 인한 통계적 오차도 선량계의 신뢰성을 낮추는 요인중의 하나이다. 향후 계수시간을 3초 간격으로 하여 변동률을 줄이고, 필요하다면 누적선량과 선량률을 차례로 표시하는 방법을 사용하고자 한다. 그림 10와 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 고선량률로 갈수록 점차 반응도가 떨어지고 있는데 이는 시스템의 불감시간에 따른 계수손실에 기인하는 것으로 성능개선시 다음의 두 가지 방법으로 해결하고자 한다. 일정 고계수율의 경우 불감시간보정을 위한 loop를 만들어 계수손실을 보상할 수 있도록 선량계내 계수기 작동 프로그램을 수정 보완하거나, 검출기의 반응도를 조정 또는 향상하는 과정에서 선량계 전체의

시정수(time constant)를 조절하기 위하여 전자회로를 변경해야 하는 것으로 나타났다. 방사선의 연속 조사에 따른 선량계의 재현성과 선형성을 확인할 목적으로 300 mR/h와 1000 mR/h의 조건에서 10 μSv ~89 mSv에 해당하는 선량을 조사하였으며, 그 결과 그림 12에서와 같이 직선성이 우수한 것으로 나타났다.

결 론

방사선검출기로 실리콘 PIN 다이오드 검출기를 사용하여 전자선량계를 설계 제작하고 성능시험을 수행하였다. $^{137}\text{Cs}(333 \text{ kBq})$ 에 의한 반도체검출기에서 생성된 펄스신호는 신호처리회로를 통해서 양호하게 출력되는 있음을 확인하였다. 성능시험에 위한 방사선조사시험에서는 선량당량률의 반응도는 1.85 cps/Gy/h이며 분산계수는 19.3 %로서 성능시험기준에 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 저선량률에서는 짧은 계측시간으로 인한 계수치의 변동율의 감소와 고선량률에서는 신호처리회로의 불감시간으로 인한 오차의 발생을 최소화시키기 위하여 신호처리회로의 성능을 개선함과 동시에 잡음성분을 재분석하여 임계 신호값을 최대한 낮추어야 할 것이다. 앞으로 시험제작된 선량계의 성능이 보완된다면 상용화하여 원자력 관련 시설에서의 전자개인선량계로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 연구성과이전사업의 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. David H. Navon, *Electronic Materials and Devices*, Chap. 6, Houghton Mifflin Company (1975).
2. Adir Bar-Lav, *Semiconductors and Electronic Devices*, Chap. 15, Prentice-Hall International, INC., London, (1984).
3. Fairstein, E., NAS-NRC, *Nuclear Sci. Ser. Rept. 32*, p.210 (1961).
4. Fairstein, E., and J. Hahn, Part II, *Nucleonics*, 2319, 81 (1965).
5. William J. Price, *Nuclear Radiation Detection*, Chap. 8, McGraw-Hill, INC.(1958).
6. K.hodyr and S. Wysock, "Current Transients Induced by Fast Electrons and Bremsstrahlung

- in Polyethylene Films", Radiation Measurements, Vol. 26, No. 4, p593-598, (1996).
7. Nicholas Tsoulfanidis, Measurement and Detection of Radiation, Hemisphere Pub. Co., pp. 303 (1983).
 8. E. Kowalski, Nuclear Electronics, Springer Verlag, New York(1970).
 9. P.W. Nicholson, Nuclear Electronics, Chap.5, John Wiley & Son, New York (1974).
 10. Glenn Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, New York (1979).
 11. PIC16C7X Technical Handbook, Compile Technology Co.(1999).
 12. M. Jung et al., "Dose Response Simulations of A High Sensitivity Electronic Silicon Dosimeter", Radiat. Prot. Dosim., 51(3), pp. 157-167(1994).
 13. International Electrotechnical Commission, Radiation Protection Instrumentation Measurement of Personal Dose Equivalents, Hp(10) and Hp(0.07) for X, Gamma and Beta Radiations Direction Reading Personal Dose Equivalent and/or Dose Equivalent Rate Dosimeters, IEC-61526 (1998).