

정류기형 다이오드를 이용한 반도체 방사선 검출 장치의 제작과 그 응용에 관한 연구

신 동 오, 홍 성 언

경희대학교 의과대학 치료방사선과학교실

이 병 용

서울 중앙병원 치료방사선과

이 명 자

한양대학교 의과대학 치료방사선과학교실

서 론

반도체를 이용한 방사선 검출 소자는 이미 여러 영역에 걸쳐 이용되고 있으며, 특히 진단용 X선에 있어서는 다양한 종류의 연구와 응용이 시도되고 있다.^{1~3)}

근래에 와서는 치료용 방사선 장치의 선질 검사 목적으로 다이오드를 이용한 연구가 진행되고 있다.^{4~6)} 특히 Wendell⁶⁾ 등은 IN4001실리콘 다이오드를 이용한 선질 검사 장치의 제작 가능성을 강력하게 시사하는 실험을 하였다.

최근에는 방사선 수술(Sterotactic Radiosurgery)에 대한 관심이 점차 증대되어 작은 조사면에 관한 선질 측정이 중요한 과제로 대두되었다.⁷⁾

이에 저자들은 일반적으로 가격이 저렴하고 구입하기 용이한 다이오드와 증폭기 소자들을 이용하여 방사선 측정 장치를 제작할 수 있는 가능성을 연구하고, 이를 이용하여 작은 조사면에 대한 방사선의 심부량 백분율을 측정하여 전리함에 의한 결과와 비교하였다.

실험재료및 방법

방사선 선원으로는 Mevatron KD선형가속기(Siemens, Germany)에서 발생된 6MV와 10 MV의 광자선 및 코발트-60(Picker, U. S. A.)감마선을 사용하였다. 측정을 위한 다이오드는 가격이 저렴하고 구입하기 용이한 정류기형 실리콘 다이오드 IN4001, IN4002와 IN4003 및 광다이오드 MBC2014와 CMIC-33H2D를 사용하였다.

측정기로는 미소전류계(Capintec 192, U.S.A.)를 이용하였으며 간편한 측정을 위해 Bi-MOS (Bipolar-Metal Oxide Semiconductor)입력형인 연산증폭기 CA3140을 이용한 간단한 증폭회로를 구성하여 측정에 이용하였으며, 그 결과를 미소전류계에서의 결과와 비교하였다.

Fig.1.에서는 임의의 조사기간동안 방출되는 직접방사선량을 측정하기 위해 폴리에스티렌 콘덴서(0.1 μ F)를 사용하였으며, 단위 시간당 선광율을 측정하기 위해 저항(30M Ω)을 사용하였다.

신호전류 I_s 는 케환콘덴서 C를 통해서 흐르는 $-I_o(=C \cdot dV_o/dt)$ 에 의해서 출력전압 V_o 를 변동시키며, V_o 는 I_o 의 시간에 대한 적분값이다.

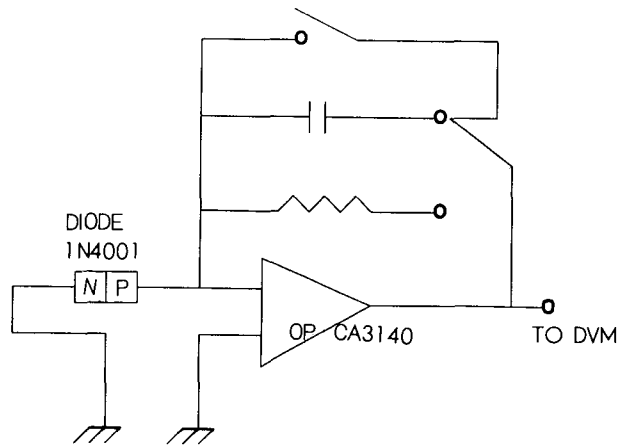


Fig.1. Schematic circuit diagram of OP amplifier for Solid State Detector. Part list: (1) Condenser, O. $1\mu\text{F}$. (2) Resistor, $30\text{M}\mu$.

여기서 i_b 는 다이오드 누설전류, i_{os} 는 연산증폭기 오프셋전류이고, V_{os} 는 연산증폭기 오프셋 전압이다.

본 연구에서는 코발트-60감마선의 조사시간을 1분에서 5분까지 1분간격으로 증가시키고, 선형가속기에서의 조사단위를 각각 50MU , 100MU , 200MU , 300MU 로 변화시켜가며 앞서 제시한 여러종류의 다이오드에 조사시켜 가장 직선성을 나타내는 소자를 찾았다.

10MV 광자선의 심부량 백분율의 측정은 선원과 물 표면간의 거리를 100cm 로 고정시키고 중심측상 최대 선량 지점의 값을 100% 로 규격화하였다.

조사면의 크기를 $2\times\text{cm}$ 에서 $10\times 10\text{cm}$ 까지 2cm 간격으로 변화시키면서 WP-600물팬텀계를 이용하여 심부량 백분율을 측정한 후, 이 결과를 X-Y Plotter로 그려 같은 조건하에서 전리함을 이용하였을 때의 결과와 비교하였다.

실험결과 및 고찰

여러가지 제품의 다이오드를 조사한 결과 광다이오드는 누설전류에 의한 잡음이 크고, 방사선에 대한 반응도가 매우 작았다. 실리콘 다이오드 IN4002, IN4003은 직선성에 있어서 문제가 있었으며, IN4001만이 직선성이 우수하였다.

실리콘 다이오드 IN4001의 누설전류는 250PA 로 측정되었으며, 방사선 조사시 얻어지며 값인 평균응답(75nc/Gy)과 비교할 때 신호대 잡음의 비는 0.8% 로 무시할 수 있었다.

실리콘 다이오드 IN4001을 이용했을 때 코발트-60감마선과 Mevatron KD선형가속기 6MV 와 10MV 의 광자선에 대해 선량의 변화에 따른 직선성 관계는 Fig.2, Fig.3과 같이 1% 오차이내에서 좋은 직선성을 나타내었다. Mevatron KD선형가속기 10MV 광자선에서의 각 조사면에 따른 다이오드와 전리함의 심부량 백분율 측정결과는 Fig.4와 같이 조사면의 크기가 $4\times 4\text{cm}$ 일때 1.7% , 다이오드 조사면의 크기가 $1\times 1\text{cm}$ 의 측정값에서 외삽법으로 구한 값과 전리함 조사면의 크기가 $2\times 2\text{cm}$ 의 측정값에서 외삽법으로 구한 값은 4.7% 의 차이를 보여 주었다.

작은 조사면 영역에서는 선량의 변화가 급격한 변화를 보이므로, 외삽법에 의한 결과는 오차가 생길 가능성이 매우 높다.⁸⁾

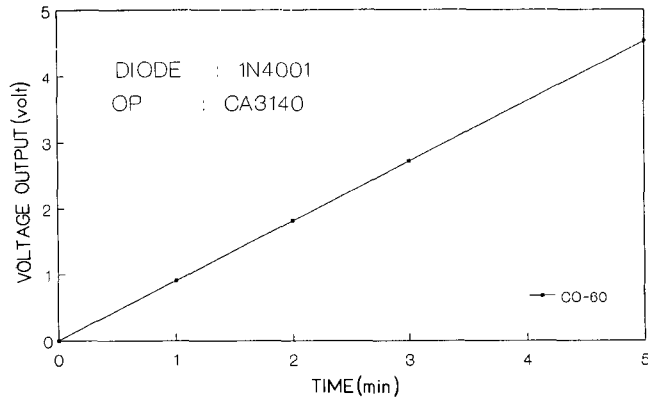


Fig.2. Linear relationship between output voltage and exposure time of Co-60 gamma ray(dose rate=80 R/min).

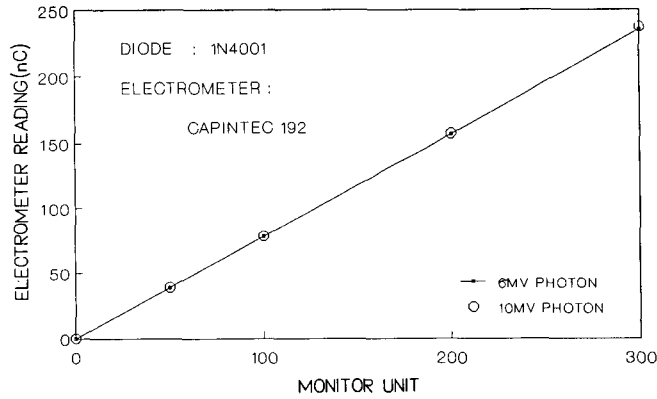


Fig.3. Linear relationship between electrometer reading and monitor unit of the 6MV and 10MV X-ray. (Dose rate=100 cGy/min)

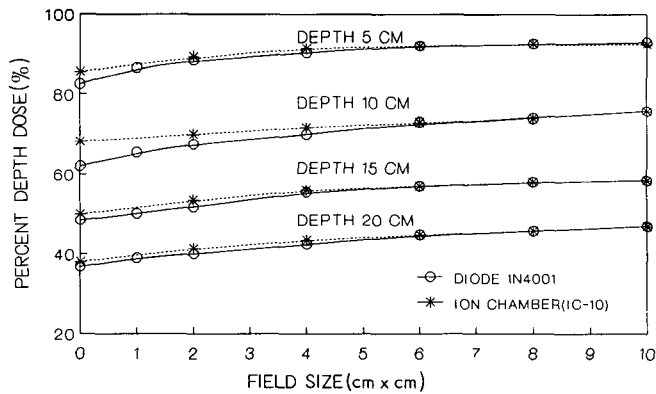


Fig.4. Comparison of percent depth dose of 10MV x-ray beam using diode and ion chamber in various field sizes ranged from 2x2cm to 10x10cm.

또한 전리함으로 측정된 값은 전리함이 갖고 있는 체적으로 말미암아 급격한 선량 변화가 있는, 즉 반음영(penumbra)영역이 상대적으로 큰 작은 조사면에서 얻어지는 경우 크게 신뢰도가 떨어진다. 반면 큰 조사면에서 다이오드와 전리함을 이용했을 때의 값이 거의 유사하게 나타내었으며, 다이오드의 크기가 $2.72\phi \times 5.21\text{m}^2$ 이고, 비교 측정에 사용된 전리함의 체적이 0.147cc(외경 6.8mm)임을 고려할 때 작은 조사면에서의 결과는 다이오드로 측정된 값을 더 신뢰할 수 있다고 생각된다. 측정기는 Fig.2, Fig.3에서 알 수 있듯이 Capintec 192 미소전류계와 Bi-MOS입력형인 연산증폭기 CA3140을 이용하여 제작한 증폭기가 좋은 직선성을 보여 주어 이것을 이용한 측정장치는 간단하게 선형가속기의 정기적인 선질검사에 이용할 수 있는 가능성을 나타내었다. 즉 방사선의 대칭도, 편평도, 에너지등의 측정을 물팬텀이나 필름등에 의존하지 않고, 다이오드를 폴리스티렌 팬텀 속에 설치하여 연산증폭기를 사용하면 짧은 시간내에 선질 검사를 실시할 수 있으리라 생각된다.

결 론

본 연구에서 제작한 반도체 검출 장치는 가격이 저렴하고 구입하기 용이한 다이오드와 연산증폭기로 구성된 간단한 측정 장치로써 제작이 용이하고 작은 조사면을 쉽게 측정 할 수 있었다. 또한 주기적인 방사선 선질검사를 위해 전리함의 보조 측정기로써 beam profile, 편평도, 대칭도와 같은 선형가속기의 선질 측정에 이용할 수 있는 가능성을 제시해 주고 있다.

References

1. K. Aoki, M. Koyama: Measurement of diagnostic X-Ray spectra using silicon photodiode: Med. Phys. 16, 529-536(1986).
2. R.L. Thomas, J.E.Shaw: Radiation measurement with diode detectors: Phys. Med. Biol. 23, 519-523(1978).
3. H.E. Johns, J.R.Cunningham: The Physics of Radiology: 4th ed. (Thomas, Springfield, IL, 1983), pp. 314-314.
4. A.E. Wright, L.D. Gager, P.T. Hudgins: Use of a solid-state probe to detect changes in operating parameters of an 8MV linear accelerator: Radiology 105, 201-203(1972).
5. D.Johns, D. Schumachur: An instrument for the rapid check of output, energy and field symmetry of supervoltage therapy equipment: Am.J.Roen. 123, 198-202(1975).
6. W.R. Lutz, B.J. Maddox, K. R. Kase: Daily check instrument for photon and electron beam quality assurance of medical linacs: Med. Phys. 12, 426-465(1985).
7. R.K. Rice, J. L. Hansen, G. K. Svensson, et al: Measurement of dose distributions in small beams of 6 MV X-ray Phys: Med. Biol. 32, 1087-1099(1988).
8. P. Nizin and K. Kase: A mehtod of measuring the primary dose component: Med. Phys. 15, 683-685(1988).

The Construction of Solid State Detector System Using Commercially Available Diode and Its Application

D. O. Shin, M. S., S. E. Hong, M. D.

Department of Therapeutic Radiology, College of Medicine,
Kyung Hee University, Seoul, Korea

B. Y. Yi, M. S.

Department of Therapeutic Radiology, Asan Medical Center

M. Z. Lee, M. D.

Department of Therapeutic Radiology, College of Medicine,
Hanyang University, Seoul, Korea

Abstract.

The solid state detector system was constructed using commercially available rectifier diode for the assessment of quality assurance in radiotherapy. Dosimetry system which consists of the electrometer and the water phantom was used for measuring small field size scanning. The measured results, which had linearity in accordance with variation of radiation dose for gamma-ray of Co-60 and 6 and 10MV photons of linear accelerator, showed quite linear characteristics within 1% error.

The percent depth dose of 10MV photon of Mevatron KD linear accelerator was measured in small field size using diode, and the results were compared with that of using ion chambers. The results show that the difference of percent depth dose between the value of diode and that of ion chamber was negligible in large field size. However, in small size less than 4×4 cm, the difference of percent depth dose estimated by diode and ion chamber was 4.7% by extrapolation to 0×0 cm. Considering the smaller volume of diode than that of ion chamber, it might be more reliable to use diode for estimating percent depth dose.

Above results suggest that diode can be used for routine check such as beam profile, flatness, symmetry and energy

Key Words : Solid State detector, Quality Assurance