

論文97-34D-4-7

# Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te를 사용한 MIM 구조의 감마선 탐지 소자 제작 및 탐지 특성에 관한 연구

## (A Study on the Fabrication and Detection of Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te Gamma-ray detector with MIM Structure)

崔明鎭\*, 王鎭錫\*

(Myung Jin Choi and Jin Suk Wang)

### 요 약

고압 Bridgman 방법으로 성장시킨 고 비저항( $2.5 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$ ) p-Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 에 화학적 증착 방법을 사용하여 Au박막을 형성시켜서 감마선 탐지소자를 제작하였다. Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au 구조는 전형적인 MIM (metal-insulator-metal)구조를 갖는 탐지소자로 인가전압 3kV/cm까지의 누설전류는 선형적인 특성을 나타내었고 그 이상의 인가전압에서 누설전류는 공간 전하 제한 전류에 기인하여 E<sup>2</sup> 의 함수로 변화하였다. Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te계면에 대한 RBS와 Auger 측정 결과 Au가 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te의 표면을 침투한 현상을 관찰할 수 있었고 이로 인한 터널링에 의하여 저항성 접촉이 이루어 지는 것으로 판단된다. Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te를 사용한 감마선 탐지소자는 660keV이상의 높은 에너지의 흡수율이 0.04%(두께 1mm) 정도로 매우 작고 낮은 에너지의 방사선에 대한 흡수율이 크기 때문에 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te는 저 에너지 감마선 탐지에 효과적임을 확인할 수 있었다.

### Abstract

We fabricated gamma radiation detector using high resistive p- Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te grown by high pressure Bridgman method and forming Au thin film electrode by chemically electroless deposition method. The device of Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au is a typical MIM structure. The characteristic of current-voltage showed good linearity to 3kV/cm but it depend on the square of electric field over 3kV/cm. As the results of Rutherford Backscattering Spectroscopy(RBS) and Auger Spectroscopy on the Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te, Au penetrated to the surface of Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te wafer and it could be possible to make Ohmic contacts by tunneling effect. We know that the Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te detector absorbed slightly high energy radiation like a few hundred keV and showed good performance to detect low energy gamma ray.

### I. 서 론

방사능 탐지를 위한 반도체 소자는 가스의 이온화를 이용한 탐지소자보다 밀도가 수 천 배 이상 크기에 작은 크기로도 우수한 에너지 분해능, 빠른 응답 특성, 우수한 공간 분해능, 다양한 응용성 및 경제성으로 1960년대 초 Si 과 Ge을 사용하여 계수기 용도로 사용한 이래 전산화 단층 촬영, 방사능 치료기, 비파괴

검사 및 우주선 측정 등에 폭 넓게 응용할 수 있어 각종 화합물 반도체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

초기의 방사능 탐지 반도체 소자로 사용된 Si과 Ge 은 금지대 폭이 1.11eV 및 0.67eV로서 상온에서 사용할 때에는 열 잡음에 의한 누설전류를 억제시키기 위하여 액체 질소를 사용해야 하기 때문에 상온에서 휴대하여 사용할 수 없는 단점이 있다.

상온에서 사용할 수 있는 방사능 탐지 반도체 소자는 금지대 폭이 큰 CdTe(Eg=1.47 eV), GaAs(Eg=1.42 eV) 및 HgI<sub>2</sub>(Eg=2.13 eV)등을 들 수 있으며 방

\* 正會員, 忠南大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Chung Nam University)

接受日字:1996年12月20日, 수정완료일:1997年4月8日

사능 탐지 효율은 탐지소자 재료의 원자번호에 크게 의존 하기 때문에 가능한 원자번호가 큰 탐지 물질을 선택하여야 한다. HgI<sub>2</sub>는 원자번호가 커서 방사능 탐지 효율이 좋기 때문에 현재에도 많은 연구가 진행되고 있으며 금지대 폭이 크고 비저항이 10<sup>12</sup> Ω-cm로 매우 높아 상온에서 누설전류가 작은 반면 127 °C에서 결정구조가 α형에서 β형으로 바뀌는 상 변화와 전자와 정공의 이동도가 작아 전하 운반자의 수집 효율이 낮고 이화학적 불안정으로 경시 변화를 일으키기 때문에 상용화 하기에는 어려운 점이 있다.

그러나, II-VI족 화합물 반도체인 CdTe는 원자번호가 크고 이화학적인 안정성으로 센서 재료 및 태양전지 재료 등으로 많은 응용성을 나타내 주지만 큰 비저항의 단결정을 얻을 수 없기 때문에 누설전류의 감소를 위한 방편으로 p-n구조, pin구조 또는 MOS구조 등의 소자를 제작하여 사용하고 있다.

최근에는 반도체 단결정 성장 기술의 발전으로 CdTe의 누설전류를 감소시키기 위하여 결정 성장시 발생된 Cd빈자리를 Cl또는 Zn으로 보상하여 10<sup>10</sup> Ω-cm 이상의 높은 비저항 특성을 나타내는 단결정을 성장시켜 벌크형의 탐지 소자 구조로 상온에서 방사능 탐지 유효 체적을 극대화 시키고 있다.<sup>13) 14)</sup>

J. F. Butler등이 High Pressure Bridgman(HPB) 방법으로 성장시킨 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te는 평균 원자번호 50, 밀도 6 g/cm<sup>3</sup>, 금지대 폭 1.6 eV(300 K) 및 비저항이 2.5x10<sup>11</sup> Ω-cm 로 열 잡음에 의한 누설전류를 감소시킬 수 있어 S/N비를 향상시킬 수 있으며 상온에서 냉각시키지 않고 사용할 수 있기 때문에 방사능 탐지 유효 체적이 큰 벌크형 탐지 소자로 제작할 수 있다.<sup>11)</sup>

본 연구에서는 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 단결정을 사용하여 D. de Nobel<sup>15)</sup> 이 p-CdTe의 저항성 전극 접촉을 위하여 처음 시도한 electroless deposition법으로 Au전극을 형성시켰고 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te의 재료 특성과 감마선 탐지 특성을 조사하여 그 응용성을 기술하였다.

## II. 실험

### 1. 실험 준비

HPB법으로 성장시킨 두께 1mm의 p-Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 웨이퍼(Aurora Technology Co.)를 wire saw를 사용하여 4 x 16 mm<sup>2</sup> 크기로 절단 후 trichloro-

ethylene(TCE), acetone, deionized H<sub>2</sub>O, methanol 순으로 세척하였다. 이 때 왁스를 제거하기 위하여 TCE속에서 60-70°C로 가열하면서 약 30분 동안 세척하였다.

절단된 웨이퍼는 electroless deposition을 하기 전에 산화층의 제거를 위하여 4% 브롬-메탄올(Br-MeOH)용액을 사용하여 수 초 동안 에칭시켰다.

### 2. 탐지소자 제작

Electroless deposition 을 하기 위하여 사용한 용액은 AuCl<sub>3</sub>.4H<sub>2</sub>O 를 탈이온수에 녹여서 4% gold chloride 용액을 만들어 사용하였고 준비된 시편을 이 용액에 5분 동안 담금으로써 Au 박막의 전극을 형성시켰다. Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 표면에 형성된 Au박막의 표면과 계면특성을 알아보기 위하여 Rutherford Backscattering Spectroscopy와 Auger Spectroscopy로 계면을 관찰하였다. 탐지소자 제작을 위하여 Au박막이 형성된 시편을 wire saw를 사용하여 2 x 2 x 1 mm<sup>3</sup> 크기로 절단한 후 시편준비와 동일한 방법으로 세척 후 건조시켰다. 절단된 시편은 transistor 다이 위에 절연용 세라믹을 부착시키고 그 위에 시편을 고정시킨 후 양면에 gold wire(Ø 1mil)을 silver paste로 접착시켜 전극선을 연결시켰다. 그림 1은 제작된 탐지소자의 개략도이다.

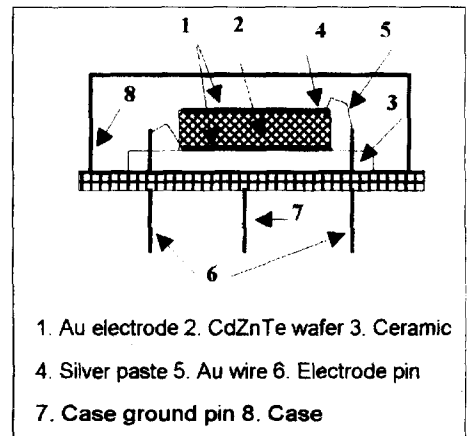


그림 1. 제작된 탐지소자의 개략도

Fig. 1. The diagram of Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te device structure.

### 3. 측정

탐지소자의 전기적 특성을 알아보기 위하여 parameter analyzer( HP 4145B), 전류 측정기(Keithley 617) 와 고전압 공급기(Keithley 247)을 사용하여 인

가전압에 따른 전류를 측정하였고 방사선 검출특성을 알아보기 위하여 그림 2와 같이 전치증폭기(eV products, 550V), 주증폭기(Tennelec spectroscopy amp.), 고전압 공급기(Tennelec TC950)와 파고 분석기인 MCA(Tennelec PCA-1000)등으로 이루어진 gamma선 분광장치를 사용하였다.

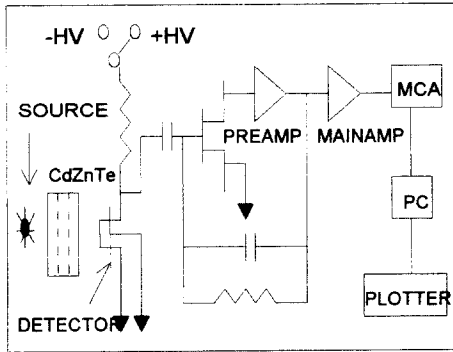


그림 2. Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 탐지소자의 방사능 측정시스템  
Fig. 2. Block diagram of radiation detection system.

III. 결과 및 고찰

그림 3은 점 선원의 방사능 동위원소인 Cs-137 (661.6keV), Co-60(1.17, 1.13keV), Ba-133 (main 356keV) 및 Am-241(59.5keV)를 사용하여 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 단결정의 gamma선 흡수능을 측정한 그림으로 Am-241과 같이 낮은 에너지 감마선은 1mm 두께의 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te로 99% 흡수가 가능하지만 Cs-137과 Co-60같이 높은 에너지의 감마선은 1mm 두께의 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te와 상호작용을 일으킬 확율이 0.04% 정도로 매우 미약하기 때문에 탐지효율이 낮고 반면에 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te를 사용한 방사능 탐지소자는 저에너지 감마선 탐지에 매우 효과적임을 예측 할 수 있다.

평판 구조를 갖는 벌크형 탐지소자 제작에서 저항성 전극형성은 방사선 탐지신호의 왜곡이나 신호크기의 변화 등을 방지하고 탐지 유효 체적을 최대화하기 위하여 매우 중요하다. 그러나, 10<sup>7</sup> Ω-cm 이상의 높은 비저항을 갖는 p-CdTe, CdTe(Cl) 및 CdZnTe등은 이들보다 큰 일함수를 갖는 금속이 없기 때문에 저항성 접촉을 위한 전극 형성이 문제가 되어오고 있다. 본 실험에서는 D. de Nobel이 p-CdTe의 전극형성을 위하여 처음으로 시도한 Au의 electroless deposition 방법을 사용하였고 그림 4와 같이 상품화 되어 있는 p-CdTe(Radiation Monitoring Device Co., model

ND 114) 보다 더 좋은 저항성 접촉 결과를 얻을 수 있었다. 이는 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 웨이퍼를 HAuCl<sub>3</sub>. 4H<sub>2</sub>O 수용액과 반응시키면 웨이퍼 표면에 밀착된 Au박막이 형성되고 이 Au층은 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 표면에서 받개(accepter)로 작용하여 표면에 고 농도의 p+ 층을 형성시켜 터널링 효과에 의한 전하 운반자의 이동이 발생되기 때문에 저항성 접촉이 이루어지는 것으로 판단된다.

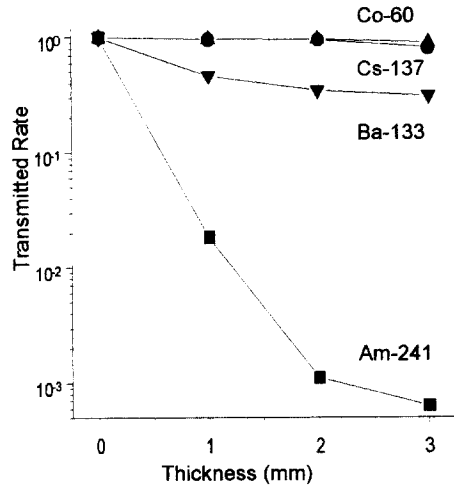


그림 3. 방사능 동위원소에 대한 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te의 투과율 (인가전압 : +100V, 피크분해시간 : 0.5 usec)  
Fig. 3. The transmitted rate of various radioactive isotopes(Applied voltage : +100V, Peaking time : 0.5 usec).

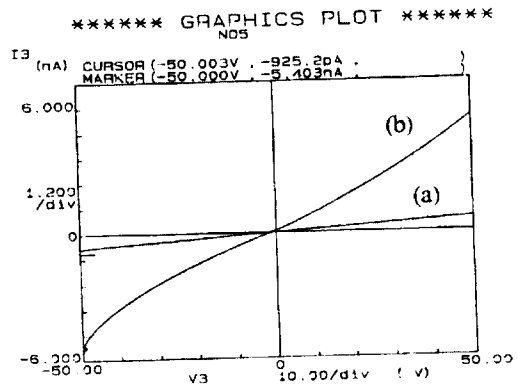


그림 4. Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au 구조의 전류-전압 특성 (a) Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te(자체제작), (b) CdTe(RMD 모델 ND 114)  
Fig. 4. The I/V characteristic curve of Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au structure. (a) Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te(Home made), (b) CdTe (RMD model ND 114)

저항성 접촉의 정도는 비 접촉 저항(specific contact resistance)  $\rho_c$ 로서 평가할 수 있다.

$$\rho_c = Rc A \quad (1)$$

여기서 A는 접촉 면적, Rc는 누설전류-전압 특성의 기울기로부터 구할 수 있다.

$$Rc = (dI/dV)^{-1} \quad (2)$$

크기 2x2x1 mm<sup>3</sup>의 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te를 사용한 방사능 탐지소자인 경우 비 접촉 저항은 300K에서 2.16x10<sup>9</sup> Ω-cm<sup>2</sup>로 계산된다.

방사선과 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te와 상호작용에 의하여 발생하는 전하 운반자는 입사 방사선의 에너지에 따라 광전 효과(photoelectric effect), 콤프턴 산란(compton scattering)과 쌍 생성(electron-hole pair production)으로 인하여 생성되며 이들의 전하 운반자는 양단의 전극에 인가된 전압에 의하여 전극에 수집되어 전기 신호로 변화되게 된다. 반도체 탐지소자의 방사선 탐지능은 방사선에 의하여 생성된 전하 운반자의 수집효율( $\eta$ )에 관계 지워지며 탐지소자가 평판 구조인 경우 방사선에 의해 생성된 전자와 정공에 대한 수집효율은 식 (3)과 같은 K. Hecht의 관계식<sup>[6]</sup>으로부터 구할 수 있으며 전자와 정공에 대한  $\mu\tau$ 값의 차이가 큰 경우 단일 운반자의 식으로 근사 시킬 수도 있다.

$$\eta(x) = \mu_e \tau_e E [1 - \exp(-x-d/\mu_e \tau_e E)] + \mu_h \tau_h E [1 - \exp(-d/\mu_h \tau_h E)] \quad (3)$$

여기서  $\mu$ 는 전하 운반자의 이동도(cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>sec<sup>-1</sup>),  $\tau$ 는 전하 운반자의 수명(sec), 가해진 전계가 E(V/cm)이고 탐지소자가 평판 구조일 때 두께가 d이면 전하 수집효율은 전하 운반자의 평균 자유 행로  $\lambda (= \mu\tau E)$ 에 비례함을 알 수 있다. 방사선 탐지소자의 재료에 의하여 특정 지워지는  $\mu\tau$ 값은 방사선 탐지 효율을 나타내주며 전하 운반자의 평균자유행로보다 탐지 소자의 두께가 두꺼울 경우 탐지 효율의 저하를 초래할 수 있으며 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te의 값은 약 0.2x10<sup>-3</sup> cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup> 정도로 인가 전압 50V일 때 탐지 소자의 최적 두께는 1mm가 됨을 알 수 있다.<sup>[7]</sup> 그림 5는 Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au 구조의 탐지소자에 대한 상온에서 측정된 인가 전압에 대한 누설전류를 나타낸 그림으로 약 3kV/cm 이하에서는 누설전류가 E의 함수로서 증가 하지만 그 이상의 전계에서는 E<sup>2</sup>의 함수로서 증가함을 볼 수 있

다. 이는 Sueki Baba등<sup>[8]</sup>이 CdTe를 사용하여 제작한 감마선 탐지소자의 결과와 매우 비슷한 결과를 나타내 주며 그림 4와 5에서와 같이 3kV/cm까지는 좋은 저항성 접촉을 나타내주고 있으며 Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au 탐지소자는 양면의 Au전극 사이에서 공핍층영역(depletion layer)을 갖는 전형적인 MIM(metal-insulator-metal) 소자로 생각 할 수가 있다. 3kV/cm 이상에서 발생한 누설전류는 공간전하 제한전류(space-charge limited current)로 판단된다.

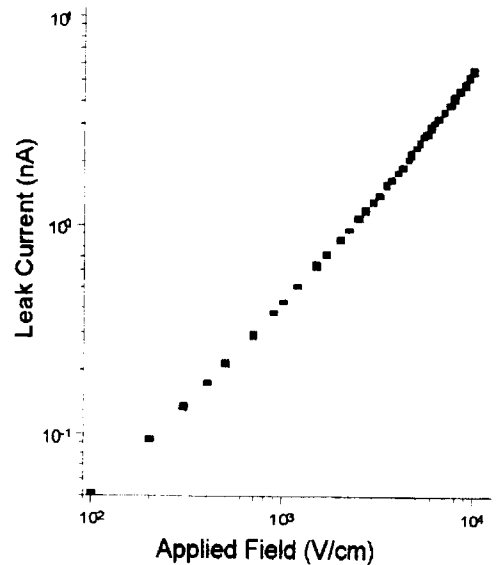


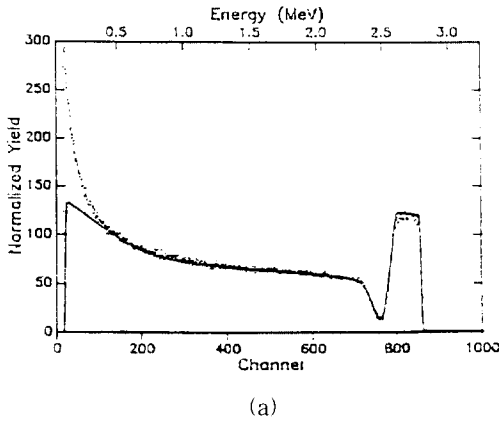
그림 5. Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 탐지소자의 인가전압에 따른 누설전류(2x2x1 mm<sup>3</sup>, 300K)

Fig. 5. Leak current vs. applied field of the Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te detector(2x2x1 mm<sup>3</sup>, 300K).

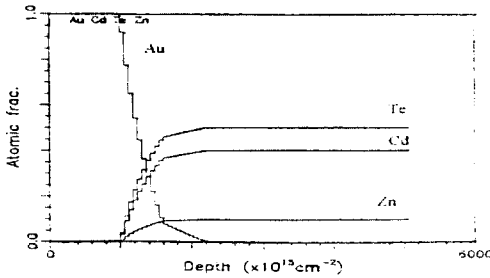
그림 6과 7은 각각 RBS 와 Auger측정 장비로 Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te의 깊이 방향에 대한 원소 측정 그림으로 Au가 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te표면으로 침투되어 있는 현상을 관찰 할 수 있으며 이로 인하여 Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te계면에서 터널링에 의한 저항성 접촉이 이루어진 것으로 판단된다. 그러나, Au와 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 계면에 상당량의 산소가 검출되었고 이것은 접착력을 저하시키는 요인으로 작용하며 MIM 소자제작 후 양전기를 띄는 고정 전하(Positive fixed charge) 결합으로 작용할 가능성이 높은 것으로 예측된다.

그림 8은 Am-241방사능 동위원소를 사용하여 탐지소자에 인가된 전압의 극성에 따라 방사선에 의하여 생성된 전자와 정공의 상대적인 수집효율을 비교한 것으

로 전자와 정공의 평균 자유 행로 차에 기인하는 만큼 전자의 수집효율이 크게 나타난 것으로 판단되며 J. F. Bulter등<sup>[11]</sup>이 보고한 결과와 잘 일치함을 보였다.



(a)



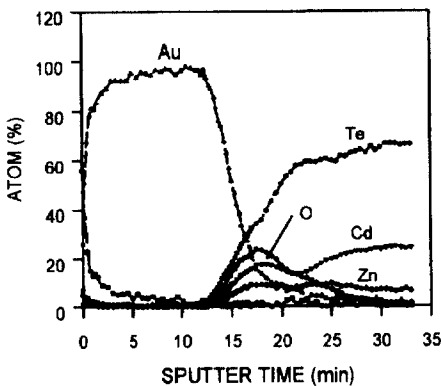
(b)

그림 6. Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 계면의 깊이에 따른 RBS 측정

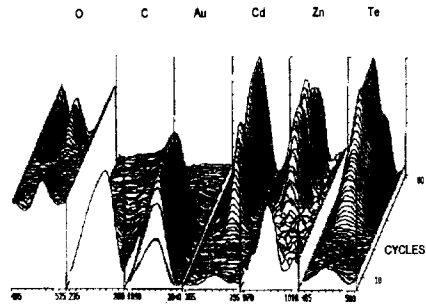
(a) RBS 스펙트럼, (b) 원소분석스펙트럼

Fig. 6. The RBS depth profile of Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te interface.

(a) RBS spectrum, (b) Atomic fraction spectrum



(a)



(b)

그림 7. Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 계면의 깊이에 따른 Auger 측정 (a) 원소분석 스펙트럼, (b) 2차원 원소 분석 스펙트럼

Fig. 7. The Auger depth profile of Au/ Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te interface. (a) Interfacial depth profile, (b) 2-D depth profile

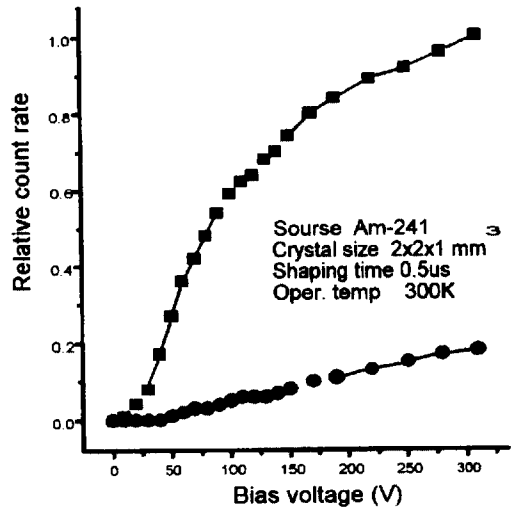


그림 8. 인가전압에 따른 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 탐지소자의 전하 운반자 수집효율

(■ : 정방향 인가전압 ● : 역방향 인가전압)

Fig. 8. The dependence of relative count rate on the applied bias voltage for Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te detector. (■ : positive bias ● : negative bias)

그림 2와 같이 구성된 방사능 측정 시스템을 사용하여 표준 방사선원인 Ba-133 (80keV, 276keV, 302keV, 356keV 및 382keV) 과 Co-60 (1.13MeV 및 1.17MeV)의 방사능 동위원소에 대한 감마선 측정 결과는 그림 9와 같다. 낮은 에너지 감마선원인 Ba-133의 Photo peak 는 그림 9(A)와 같이 잘 분리됨을 관찰 할 수 있으나, Co-60에서 방출되는 높은 에

너지 감마선은 그림 9(B)와 같이 탐지는 가능하였으나 특성 피크는 관찰 할 수 없었다. 이는 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te를 사용한 탐지소자는 낮은 에너지 감마선의 흡수율이 높은 반면 높은 에너지의 감마선과의 상호작용을 일으킬 확률이 작은 그림 3의 결과와 일치하는 결과로 낮은 에너지 감마선 탐지에 효과적임을 알 수 있다.

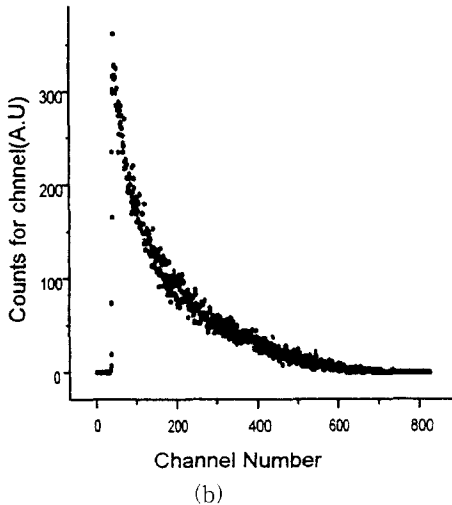
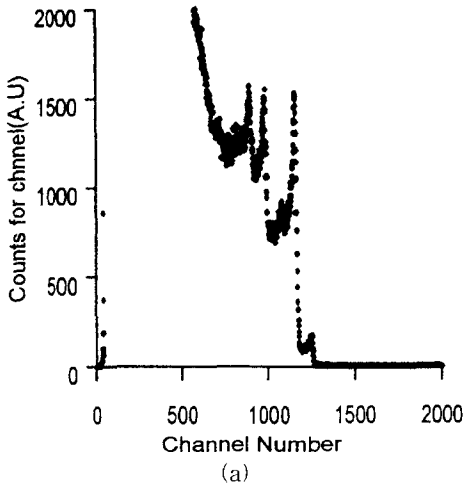


그림 9. Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au 탐지소자의 표준선원에 대한 스펙트럼(2x2x1mm<sup>3</sup>, 300K)  
(a) Ba-133 동위원소, (b) Co-60 동위원소  
Fig. 9. Photon spectrum from isotopes obtained using a 2x2x1(mm<sup>3</sup>) Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te detector at 300K.  
(a) Ba-133 isotope, (b) Co-60 isotope

#### IV. 결 론

HPB방법으로 성장시킨 비저항이  $2.0 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$

인 p-Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te에 electroless deposition법으로 Au 전극을 형성시키면 Au가 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te 표면으로 침투 되는 현상을 관찰 할 수 있었고, 이로 인하여 터널링에 의한 저항성 접촉이 이루어진 것으로 판단된다.

제작된 탐지소자는 감마선에 의하여 생성된 전하 운반자중 정공보다 전자의 수집효율이 약 5배정도 높았으며 Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te는 낮은 에너지 감마선 흡수율이 크기 때문에 낮은 에너지 감마선 탐지에 효과적이었다. Au/Cd<sub>80</sub>Zn<sub>20</sub>Te/Au구조의 탐지소자는 전형적인 MIM구조로서 상온에서 방사능 측정 뿐만 아니라 방사능 동위원소를 사용한 의료용 장비등 다양하게 응용할 수 있으며 앞으로 어레이 형태의 다소자 개발<sup>[9]</sup>이 필요한 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J.F. Butler, F. P. Doty, B. Apotovsky, S. J. Friesenhahn, and C. Lingren, Progress in Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te(CZT) radiation sensor, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. 302, pp. 497-506, 1993.
- [2] Glenn F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, Wiley, New York, pp. 465-477, 1989.
- [3] L. Verger, Electronic properties of Cl doped CdTe used as high energy photoconductive detector, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A322, pp. 357-362, 1992.
- [4] E. Raiskin and J. F. Butler, CdTe low level Gamma detectors based on a new crystal growth method, *IEEE Trans. on Nucl. Science*, vol. 35, no. 1, pp. 82-84, 1988.
- [5] D. de Nobel, Phase equilibria and semi-conducting properties of Cadmium Telluride, *Philips Res. Repts* 14, pp. 361-399, 1959.
- [6] K. Hecht, Zum mechanismus des lichtelektrischen primarstromes in isolierenden kristallen, *Zeits Phys.*, vol. 77, pp. 235-243, 1932.
- [7] 이홍규, 최명진, 왕진석, 정원중, 최영일, 김병택, CdZnTe 감마선 검출기에서 전하 운반자의 평균 자유행로가 검출기 특성에 미치는 영향, *응용물리*, vol. 9, no. 4, pp. 556-561, 1996

- [8] Sueki Baba, Hiroshi Tsutsui, Kouichi Dhmori, Tetsuro Ohtsuchi, Hideo Toyoda, Hiromasa Funakoshi and Tochiyuki Kawara, A high speed Cadmium Telluride radiation detector, *IEEE Trans. on Nucl. Science*, vol. 40, no. 1, pp. 56-62, 1993.
- [9] J. F. Butler, C. L. Lingren and F. P. Doty, Cd1-xZnxTe Gamma ray detectors, *IEEE Trans. on Nucl. Science*, vol. 39, no. 4, pp. 606-609, 1992.

저 자 소 개



崔 明 鎭(正會員)

1955년 9월 21일생. 1977년 2월 인하대 전자공학과 졸업. 1984년 8월 건국대학교 화학과 석사. 1992년 2월 충남대 전자공학과 석사. 1995년 2월 충남대 전자공학과 박사과정 수료. 1997년 현재 국방과학연구소 선임연

구소



王 鎭 錫(正會員)

1945년 6월 23일생. 1971년 2월 연세대 전기공학과 졸업. 1974년 2월 연세대 전자공학과 석사. 1981년 2월 연세대 전자공학과(공학박사). 1982년 8월 ~ 1983년 7월 Penn Stat. Univ. : Post-doctor. 1975년 ~ 현

재 충남대 전자공학과 교수