

**창립**  
40주년학술대회  
논문 87-F-20-1

MIS형  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  Diode 의 전기적 특성에 관한 연구

김태성 박종건 어인선 이진유 림\*  
(전남대학교)

Electrical Characteristics of MIS Type  $Pb_{1-x}Sn_xTe$

Kim, Tae-Seoung, Park, Jong-Kun, Yeo, In-Seon, Lee, Jin, You, Rim

Abstract

This paper is for the charge storage effect and C-V characteristics of MIS type diode which is the basic structural unit of charge-coupled device after growing the  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  crystal.

$Pb_{1-x}Sn_xTe$  singlecrystal obtained from the horizontal furnace using Bridgman method.

To judge whether the grown singlecrystal is suitable for specimen or not, it was investigated by X-ray diffraction analysis, thermogravimetry and differential thermal analysis.

The C-V characteristics of the specimen caused to anodic oxidation was the best when the insulator film's depth was  $250[\text{\AA}]$ .

Measuring the C-V characteristics after manufacturing MIS type diode resulted that the whole capacitance was the largest when the supply voltage was low,  $0.3[V]$  and the capacitance also varied according to the variance frequency when the supply voltage is over  $0.5[V]$ .

From the above result, even if the supply voltage is low, the  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  also have a good charge storage effect.

1. 서론

CCD(Charge coupled device)소자로서 Pb 화합물

반도체는 Ge 나 Si 등의 단원소 반도체가 갖는 전자의 이동속도보다 특성이 양호하며 정도가 높고 전자장치의 부피를 축소시킬 수 있는 등 성능이 우수한 새로운 반도체 소자 개발의 산물로서 얻어지게되었다.

$Pb_{1-x}Sn_xTe$ 는 조성비, 온도 및 압력을 변화시켜서 Energy gap을 0 에서 약  $300[mV]$ 까지의 범위에서 임의로 선택할 수 있으므로 비교적 energy가 작은 광자를 취급하는 적외선 영역의 소자로서 적합하다.

따라서  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ 를 이용하여 CCD 를 제작하면 적외선용 image sensor로 이용할 수 있다.

이와같은 IV-VI족 Pb 화합물 반도체는 적외선 검출소자, 열전소자, 열전발전소자 및 광도전체 소자로서 매우 유용한 것으로 알려져있다.

본 논문에서는  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ 시료를 조제하고 MIS diode를 제작하여 C-V 특성을 측정하였다.

$Pb_{1-x}Sn_xTe$ 는 조성비 x를 갖도록 PbTe 결정과 SnTe 결정을 혼합하여 Bridgman법으로 75시간 성장시켜 얻었고 X-ray회절분석을 통하여 결정과 상태를 관찰하였고, 전이온도와 결정화 온도의 변화 유무를 알기 위하여 열시차 분석을 하였으며, 온도변화에 따른 시료의 안정성을 알아보기 위하여 열중량 측정을 하였다. X-ray회절도를 분석한 결과 시료로서 적합한 단결정임을 알 수 있었으며, 열시차 분석에서는 시료의 흡열반응이나 발열반응이 평형을 이루어 안정함을 알 수 있었다.

또한 열중량 측정에서는 온도상승에 따른

중량감소 없이 안정성을 알 수 있었다.

2. 이 론

(1) Hall효과 및 Carrier 밀도와 이동도

Hall효과는 반도체의 전기적 특성을 고찰 하는데 이용된다.

Hall효과를 Fig.1 에 도시하였다.

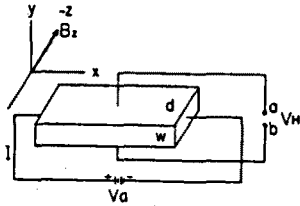


Fig1 The Hall effect

Fig.1 은 n 형 반도체에 x 방향으로 전장  $E_x[V/m]$  를 -z 방향으로 자장  $B[z\text{Weber}/m^2]$  를 가하면 y축 방향으로 자장이 형성된다.

$$F_y = eV_n B = e\mu_n E_x B \quad (1)$$

$F_y$ 의 힘을 받은 전자는 반도체의 외층에 모이게 되며 반도체의 아래에는 이온화된 donor가 남게 되어 외층과 아래층 사이에 공간전하영역이 형성되며, 공간전하분포로 인하여 y축 방향으로 전계가 형성된다.

$$E_y = E_x B / e\mu_n = J_x B / e\mu_n = R_H J_x B \quad (2)$$

Fig.1 의 단자 a, b 에 나타나는 Hall 전압은

$$V_H = w E_y = R_H I B / d \quad (3)$$

이며 여기서  $R_H$  는 Hall계수이다.

또한 Hall 계수의 식에서 전자 정공밀도  $n$ (or  $p$ ) =  $1/R_H e$  이며 n 형의 경우 도전율이  $\sigma = e\mu_n n$  이므로 Carrier의 이동도는 다음과 같다.

$$\mu_n = \sigma / e n = \sigma / e n R_H \quad (4)$$

(2) 이상적인

Fig.2는 이상적인 MIS diode 에 정(+),부(-)전압이 인가되었을 때 반도체 표면에서 일어나는 band의 변화를 나타내었다.

평형의 경우  $V < 0$  이면 band 의 끝부분이 위로 구부러지는데 이것은 절연체를 통한 전류의 이동이 없으므로 Fermi level 이 일정하게 유지되고

반도체 다수 Carrier 가 축적되기 때문이다.

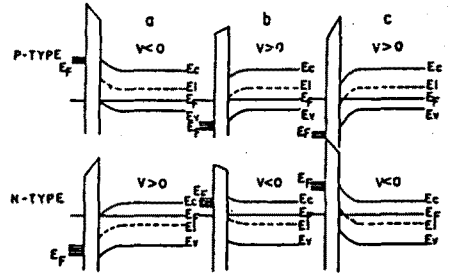


Fig.2 Energy-band diagrams for ideal MIS diodes

다음에 작은 정(+ ) 전압이 인가되면 band 는 아래로 구부러지는데 이 때는 다수 Carrier 가 소멸되며 큰 정(+ ) 전압이 인가되면 band 는 더욱더 아래로 구부러져서 진성 Fermi level 이 Fermi level 보다 아래로 내려가고 반도체 표면에 전자의 수가 정공의 수보다 많아져 n 형 반도체와 같게된다.

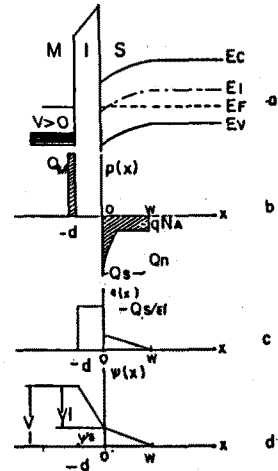


Fig.3 Ideal MIS diode  
a) Band diagram  
b) Charge distribution  
c) Electric field distribution  
d) Potential distribution

Fig.3에서 금속의 단위면적당 전하는

$$Q_m = -Q_s = q N_A W - Q_n \quad (5)$$

이며 인가전압은 절연체에 걸리는  $V_i$ 와 반도체 공핍영역의  $\phi_s$  로 분압되므로

$$V = V_i + \phi_s \quad (6)$$

가 된다.

한편 절연체의 전압은 다음과같이 주어진다.

$$V_i = \epsilon_1 d Q_s / \epsilon_1 = -Q_s / C_i \quad (7)$$

이 때 MIS diode의 총 정전용량 C는 집연체의 정전용량  $C_i$ 와 반도체공핍층의 정전용량  $C_d$ 의 직렬용량으로

$$C = C_i C_d / (C_i + C_d) \text{ ----- (8)}$$

가 된다.

### 3. 실험 방법

#### (1) 시료 조제

##### 1) PbTe SnTe 결정 합성

PbTe와 SnTe 시료를 조제하기 위해서 내경 10[mm] 두께 1[mm]의 두명한 석영관의 한쪽을 봉한 후 왕수와 탁스로 세척하고 진공 건조기에서  $10^{-6}$  [Torr]의 진공도로 유지하면서 1000[°C]에서 10분간 건조 시켰다.

상기한 석영관에 PbTe SnTe를 mole 비로 섞어 석영관에 넣고 배기하여 진공도가  $10^{-6}$  [Torr]로 되었을 때 석영관을 봉입하여 수평관상의 전기로에 넣고 온도를 1000[°C]까지 상승시켜 PbTe SnTe 결정을 얻었다.

##### 2) $Pb_{1-x}Sn_xTe$ 시료의 합성

PbTe SnTe 결정을  $x=0.22$ 가 되도록 측정하여 깨끗이 세척된 석영관에 넣고 950[°C]로 10분간 용융시킨 다음 물속에 수직으로 집어넣어 실린더 형태의 결정을 얻었다.

##### 3) $Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$ 단결정 성장

합금된  $Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$  결정을 끝이 보폭하게 가공된 석영관에 넣고 진공도가  $10^{-6}$  [Torr] 정도 되었을 때 봉입하여 Fig.4와 같은 Bridgman 전기로의 최고온부에서 장치한 후 온도를 10[°C/hr]의 속도로 서서히 상승 시켰다.

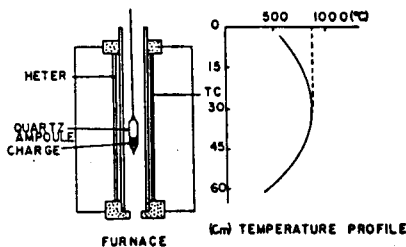


Fig.4 Bridgman furnace and its temperature distribution

다음에 시료의 용융점 895[°C]보다 10[°C]정도 높은 온도에서 24시간 유지시킨 후 석영관을 4[mm/hr]의 속도로 상단 고온부에서 실은 상태의 최하단까지 75시간 동안 이동시켜서  $Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$  단결정을 얻었다.

#### 4) MIS형 diode의 제작

MIS형 diode의 제작시 절연막은 산화막을 이용하였다.

산화막을 형성시키는 방법으로는 수증기로 포화된 산소나  $O_3$ 를 통과시키는 방법, Plasma산화법 및 양극산화법등이 있는데, 본 논문에서는 전극금속 및 전해조건에 따라 반응의 진행을 제어할 수 있으며 쉽게 산화막을 형성시킬 수 있는 양극산화법을 이용하였고 구성된 양극산화 장치는 Fig.5와 같다.

$Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$  단결정을 언마하여 Wafer로 만든 다음 Print 기판위에 시료를 Ag Paste로 고정시킨 다음 산화막을 형성시키고자 하는 면 이외에는 절연도료를 도포하였다.

또한 Cell 전압과 산화막의 두께는 낮은 전압에서 40[V] 부근까지는 약  $50(\text{Å}/V)$ 로 되었고 산화막을 형성시킨 후 Aluminum을 증착시켜 금속전극을 부착시켰다.

#### (2) 특성 측정

##### 1) PbTe와 $Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$ 결정 분석

Bridgman 전기로를 통해 성장된 PbTe와  $Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$  단결정이 결정을 성장시키는 과정에서 혼입될 수 있는 불순물의 존재여부와 결정화 상태를 관찰하기 위해 X-ray 회절 분석을 했다.

##### 2) 열시차 분석과 열중량 측정

열시차 분석을 실시하여 시료의 전이온도와 결정화 온도를 관찰하였으며, 열중량 측정으로 승온에 따른 중량의 변화유무를 관찰하였다.

4. 결과 및 고찰

(1)  $PbTe$ 와  $Pb_{0.78}Sn_{0.22}Te$ 의 X-ray 회절 분석 결과의 상태를 관찰하기 위하여 시료의 X-ray 회절도를 ASTM Card에 주어진 자료를 참조해 분석한 결과를 Fig.6 에 나타내었다.

Fig.6에서  $PbTe$  결정은 Bragg angle 이  $23.9^\circ$ ,  $27.6^\circ$ ,  $39.5^\circ$ ,  $46.6^\circ$ ,  $57.2^\circ$ 에서 특징적인 피크가 나타나고 있으며 불순물에 의한 Peak 는 찾을 수 없었고 분석 결과는 ASTM(8-28)의  $PbTe$  값과 비교하여 잘 일치함을 알 수 있었다.

또한  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  단결정의 경우는 Fig.6b에서 Bragg angle이  $24^\circ$ ,  $27.7^\circ$ ,  $39.6^\circ$ ,  $48.8^\circ$ ,  $57.64.5^\circ$ 로 ASTM Card의  $[25-465](Pb_{1-y}Sn_y)-xTe_x$ 와 흡사한 값이 나타나므로 판정되었다.

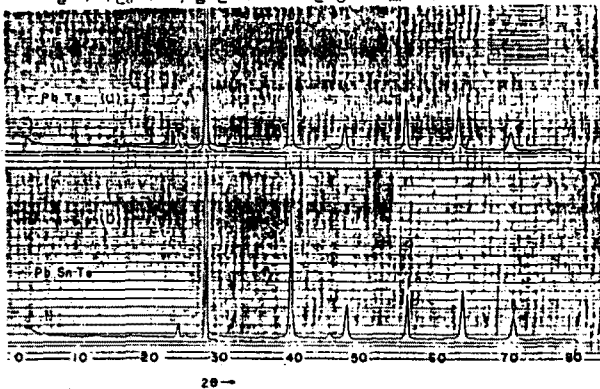


Fig.6 X-ray diffraction Pattern

(2) 열시차 분석 및 열중량 측정

Bridgman 전기로에서 성장된  $PbTe$  와  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  결정의 온도상승에 의한 안정성을 관찰하기 위하여 열시차 분석과 열중량 측정의 결과를 Fig.7에서처럼 고온부에서 약간의 변화가 있을 뿐 시료가 거의 안정함을 알 수 있었다.

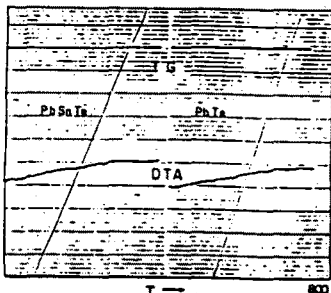


Fig.7 Thermogravimetry differential thermal analysis curves

(3) MIS diode의 특성

MIS diode 를 제작하여 측정된 결과 인가전압이 0.3[V]정도에 이르렀을 때 전체 Capacitance 가 가장 컸고 전하축적효과도 우수하였으며 인가전압이 0.5[V] 이상이 되면 주파수 변화에 따라 전체 Capacitance 도 매우 민감하게 반응하였다.

5. 결론

MIS형 diode 의 전기적 특성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Bridgman방법에 의해 성장된 단결정은 성장방향이 (200) 면 방향이었다.
2. MIS형 diode 를 제작하여 C-V 특성을 측정할 때 인가전압이 0.3[V]에서 전하축적효과가 가장 우수하였다.

REFERENCE

1. Sze, S.M., "Physics of Semiconductor Device", 2nd ed, PP.362-430. A Wiley-Interscience Pub, New York. (1981)
2. Streetman, B.G., "Solid State Electronic Devices", PP.285-325. Prentice Hall, Inc., New York (1981)
3. Boyle, W.S. and Smith, G.E., "Charge-Coupled Devices-A New Approach to MIS Devices Structures", IEEE, Inside 7, Jun. PP.18-27
4. Silberg, E. and Zemel, A., "A Study of Cd Diffusion into  $PbTe$  and  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  Crystals Using Hall-effect Conductivity and Cd Solubility Measurements", Appl. Phys. Lett., 15, Dec., 1970, pp.807-809.
5. Jeong, Ki-Tae and Chung, Ho-Sun, "GaAs를 이용한 MIS형 diode의 제작 및 전기적 특성", 대한전자공학회지, 23(1), 1986, pp.50-57.
6. Vydyanath, H.R., "Defect Structure of Cd-doped  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ", J. of Appl. Phys., 47(11), Nov., 1976, pp.5003-5009.