

## MnCrTe 박막의 비정상 홀효과 연구

김우철<sup>1\*</sup>, 박일진<sup>1</sup>, 김삼진<sup>1</sup>, 윤정범<sup>2</sup>, 정명화<sup>2</sup>, 김철성<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 물리학과, 서울 136-702

<sup>2</sup>한국기초과학지원 연구원, 대전 305-333

### 1. 서론

본래부터 반도체이면서 자기적으로 반강자성체 성질을 가지고 있는 물질의 경우 전이금속 자성이온을 치환하면 본래의 반도체 성질을 유지하면서 반강자성으로부터 강자성 또는 준강자성 상태로 전이할 수 있는 가능성이 있다. 이러한 물질로 대표적인 반강자성 반도체인 망간계 칼코지나이드 MnTe을 들 수 있다. MnTe 물질은  $E_g = 1.3$  eV의 밴드갭 에너지를 가지는 *p*-형의 반도체로 격자상수  $a = 4.143$  Å,  $c = 6.711$  Å을 가지는 NiAs 형의 hexagonal 구조를 가진다.[1] 자기적으로는 반강자성 특성을 가지며 Néel 온도는  $T_N = 310$  K 로 알려져 있다.[2] 같은 결정구조와 격자상수의 비교적 작은 불일치 때문에 자성반도체 물질을 합성하기 위하여 반강자성 반도체 MnTe과 함께 강자성체 물질인 CrTe[3]의 혼합을 고려해 볼 수 있다. 본 연구는 MBE법으로  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.05, 0.1, 0.15$ ) 박막을 제조하고 물질의 전자기 특성에 대하여 살펴보았다.

### 2. 실험방법

분자선 증착(Molecular beam epitaxy)법을 이용하여 MnCrTe를 Si(100)의 기판위에 성장을 시켰다. Mn과 Te이 들어있는 두개의 K-cell과 Cr 원자를 위한 E-beam을 동시에 사용하여 박막을 합성하였다. 기판을 챔버에 넣기 전에 표면의 오염물질을 제거하기 위해 아세톤, 알코올 및 증류수를 사용하여 세척하였고 챔버에 넣은 후 증착전에 700 °C 에서 15 분간 열처리를 하였다. 성장과정 동안 Te이 풍부한 상태와 기판온도 400 °C를 유지하였다. 성장시 챔버는  $10^{-9}$  Torr 정도의 진공도가 유지되었다. MnCrTe 물질의 증착속도는 1.1 Å/s 이었고 성장된 층의 두께는 대략 1000 Å 정도였다. 합성된 MnCrTe를 X-선회절(XRD)과 물리적 측정장비(PPMS)를 사용하여 박막의 결정학적 및 전자기적 특성을 조사하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 실험결과 Si(100) 기판에서 성장한  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.05, 0.1, 0.15$ ) 박막은 Cr 또는 MnTe<sub>2</sub>와 같은 이차상이 존재하지 않는 단일상의 NiAs-hexagonal 구조를 나타내었다. 격자상수는  $a = 4.1388, 4.1391, 4.1402$  Å와  $c = 6.065, 6.7060, 6.7005$  Å로 결정되었으며 Cr의 도핑량이 증가할수록 *a*축에 대해서는 증가함을 보였으며 *c*축에 대해서는 감소함을 나타내었다. 5-300 K 에서의 온도에 따른 전기수송 실험결과  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.05, 0.1, 0.15$ ) 박막은 낮은 온도에서 금속-반도체 전이가 관찰되었다. 즉 실온에서 저온으로 온도가 감소할수록 저항은 완만하게 증가하는 Arrhenius 형의 반도체 특성을 보여 주다가 Cr에 대해  $x=0.05$  도핑된 시료의 경우 170 K에서,  $x=0.1$  도핑된 시료의 경우 35 K에서,  $x=0.15$  도핑된 시료의 경우는 20 K 근처에서 저항이 급격히 감소하는 금속성 특성을 보여주었다. 0 와 1 T의 인가 자기장 하에서의 자기저항 특성은 측정온도 구간에서 관찰되지 않았다.  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.05, 0.1, 0.15$ ) 박막에 대해 9 T의 인가 자기장하에서 자기수송 현상을 확인하기 위해 Hall 저항 측정을 하였고 그 결과 저온 (10 K)에서 분명한 이력(hysteresis) 곡선을 보여주었고 분극

화된 carrier와 자성원자사이의 교환상호작용을 의미하는 비정상 홀효과(Anomalous Hall effect)를 관찰할 수 있었다. carrier는  $n$ -형을 나타내었으며 Cr 농도가  $x=0.15$  시료에서 가장 큰 이력곡선을 보여주었다.

#### 4. 결론

분자선 증착(Molecular beam epitaxy)법을 이용하여  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.05, 0.1, 0.15$ ) 박막을 Te이 풍부한 상태에서 합성하였다. X-선회절 실험결과 Si(100) 기판위에 성장된 MnCrTe 박막은 단일상의 다결정 NiAs-hexagonal 구조를 나타내었다. 전기수송 실험결과 박막 시료 모두 상온에서 반도체적 특성을 나타내었고 저온에서는 반도체-금속 전이를 보여주었다. 자기수송 실험결과 저온에서(10 K) 박막시료 모두 비정상 홀효과가 관찰되었고 이로부터 박막 시료 모두 저온에서 자성반도체 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다.

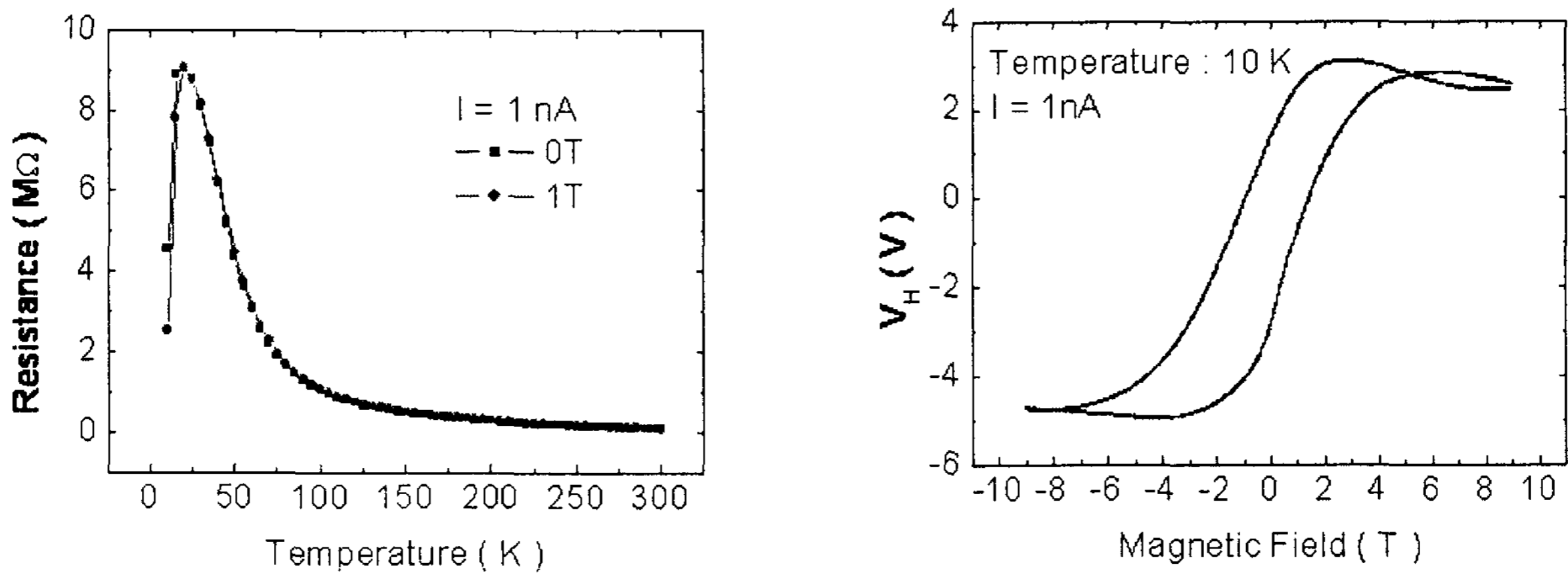


Fig. 1. Temperature dependence of electric resistance for  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.1$ ) (left). Anomalous Hall effect hysteresis curves at 10 K for  $Mn_{1-x}Cr_xTe$  ( $x=0.1$ ) (right).

#### 5. 참고문헌

- [1] E. Przeździecka, E. Kamińska, E. Dynowska, R. Butkutė, W. Dobrowolski, H. Kępa, R. Jakiela, M. Aleszkiewicz, E. Łusakowska, E. Janik, and J. Kossut, Phys. Stat. Sol. (c) 2 (2005), 1218.
- [2] H. Sato, M. Tamura, N. Happo, T. Mihara, M. Taniguchi, T. Mizokawa, A. Fujimori, and Y. Ueda, J. Magn. Magn. Mater. 140-144 (1995), 153.
- [3] Y. B. Li, Y. Q. Zhang, N. K. Sun, Q. Zhang, D. Li, J. Li, and Z. D. Zhang, Phys. Rev. B 72 (2005), 193308.