

MBE법에 의한 MnTe 박막의 구조적, 자기적 및 수송특성

김우철^{1*}, 고태준¹, 심인보¹, 김삼진¹, 윤정범², 정명화², 김철성¹

¹국민대학교 물리학과, 서울 136-702

²한국기초과학지원 연구원, 대전 305-333

1. 서론

최근에 희박자성반도체(Dilute magnetic semiconductor)에 관한 연구가 스핀트로닉스 소자로 응용하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.[1] 자성반도체에 대한 연구와 관련해서 반강자성 반도체에 대한 자기적 특성의 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 안정한 이원계 망간 화합물로 MnTe, MnAs, MnSb, MnO, MnS 등이 있으며 이 가운데 MnTe만이 반도체 성질을 나타내며 MnAs와 MnSb는 금속성을 MnO와 MnS는 절연체 특성을 보여준다.[2] NiAs의 Hexagonal 구조를 가지는 MnTe는 Néel 온도, $T_N = 310$ K를 가지는 반강자성의 p -형의 반도체 물질로[3] 전이금속 자성이온의 치환을 통해 고유의 반도체 성질을 유지하면서 반강자성(antiferromagnetism) 으로부터 강자성(ferromagnetism) 또는 준강자성(ferrimagnetism) 상태로의 상전이가 유도될 수 있는 물질이다. 본 연구는 MBE법으로 MnTe 박막을 합성하고 물질의 구조적, 자기적 및 수송 특성에 대하여 살펴보았다.

2. 실험방법

분자선 에피성장(Molecular beam epitaxy)법을 이용하여 MnTe를 Si(111):B와 $Al_2O_3(0001)$ 의 기판위에 성장을 시켰다. Mn, Te이 들어있는 두 개의 K-cell 을 사용하여 기판온도와 Te의 비율을 변화시켜 가면서 Mn과 Te을 합성하였다. 이 경우 증착비율은 1.1 \AA/s 이었고 성장된 층의 두께는 대략 700 \AA 정도였다. 합성된 MnTe를 x-선회절(XRD), 초전도 양자 간섭계(SQUID), 물리적 측정장비(PPMS) 및 광전자 분광기(XPS)를 사용하여 박막의 구조적, 자기적 및 수송 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선회절 실험결과 Si(111) 기판에서 성장한 MnTe 박막의 경우 Mn과 Te의 양이 1:1.5 일 경우 기판온도가 실온일 때 MnTe 상 이외에 Mn과 Te의 상이 함께 나타났다. 또한 기판온도가 200, 300, 400 °C 일 경우 MnTe 상 이외에 Mn 상이 같이 나타났다. 반면에 400 °C 기판온도에서 Mn과 Te의 양이 1:2.7 일 경우 순수한 hexagonal MnTe의 다결정상이 얻어졌다. 한편 $Al_2O_3(0001)$ 기판에서 성장한 MnTe 박막의 경우는 (0002)와 (0004) 면의 피크만이 관찰되었다. 이는 XRD의 ω -scan에서 얻은 선폭치 0.27° 와 Rheed 측정의 streaky 패턴의 결과로부터 MnTe 박막이 에피성장 했음을 알 수 있었다. 다결정과 에피성장 MnTe 박막의 경자상수는 $a = 4.143 \pm 0.001 \text{ \AA}$, $c = 6.707 \pm 0.001 \text{ \AA}$ 와 $c = 6.705 \pm 0.001 \text{ \AA}$ 인 값을 각각 얻었다. 자기적 특성 실험결과 반강자성을 보여주는 벌크 MnTe과는 아주 다른 특성을 보여주었다. Zero-field-cooling (ZFC)과 field-cooling (FC) 조건에서 취해진 자화율 측정에서 다결정 박막은 상자성 상태를 나타냈고 반면에 에피성장 박막은 강자성 나노 클러스터의 무질서에서 발현하는 자화율 형태와 유사함을 보여주었다. 또한 ZFC와 FC 자화율 사이의 큰 불가역성을 나타내었다. 에피성장 박막의 경우 5 K와 300 K에서 자기이력곡선 측정결과 보자력이 5 K에서 $H_c = 27 \text{ Oe}$, 300 K에서 5 Oe 의 값이 각각 얻어졌다. 전기수송 측정 실험에서 온도에 따른 비저항은 다결정 및 에피성장 박막 모두 전형적인 반도체 특성을 보여주었다. 자기저항 실험은 다결정 및 에피성장 박막 모두 양의 포물선 형태의 자기저항 특성을 보여주었다. 한편

다결정과 에피성장 박막의 구조적 결합상태를 알아보기 위해 광전자분광기(XPS)로 Mn과 Te의 core level 결합에너지와 valence band 스펙트럼을 조사하였으며 그 결과 Mn $2p_{3/2}$ 의 피크는 다결정 시료의 경우 639.7 eV, 에피성장 시료의 경우 640.1 eV의 결합에너지를 나타냈으며 이는 망간산화물 (MnO, MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄)이 보여주는 결합에너지와는 차이를 보여준다. 또한 Te $3d_{5/2}$ 의 피크는 다결정 시료의 경우 571.4 eV의 결합 에너지를 에피성장 시료는 571.8 eV의 결합 에너지의 음이온 상태를 보여주었다. valence band 스펙트럼은 금속 Mn에서 보여주는 d밴드의 피크가 관찰되지 않았다.

4. 결론

분자선 에피성장(Molecular beam epitaxy)법을 이용하여 MnTe 박막을 Te이 풍부한 상태에서 양질의 박막이 만들어졌다. X-선회절 실험결과 Si(111)과 Al₂O₃(0001) 기판위에 성장된 MnTe는 다결정과 에피성장의 hexagonal 구조를 각각 나타내었다. 자기적 실험결과 반강자성을 보여주는 벌크 MnTe과는 아주 다른 특성을 보여주었다. 전기수송특성 실험결과 시료 모두 반도체적 특성을 나타내었다. 광전자분광 실험으로부터 다른 상이 섞여있지 않은 MnTe만의 결합을 확인할 수 있었다.

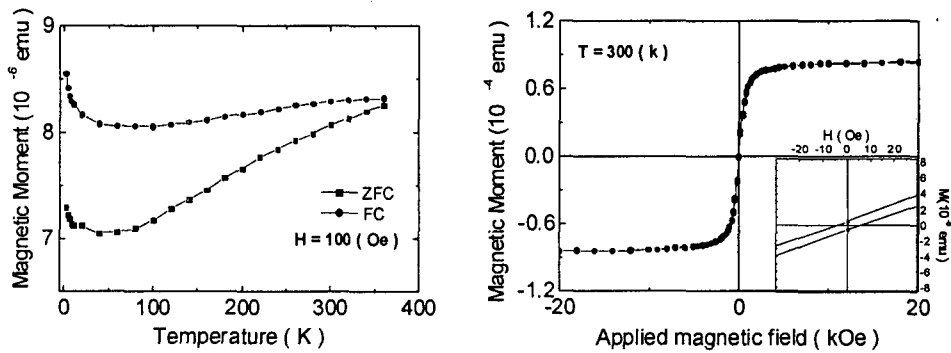


Fig. 1. Temperature dependence of FC and ZFC magnetization for MnTe/Al₂O₃(0001) film.(left) Magnetization loops at 300 K for MnTe/Al₂O₃(0001) film.(right)

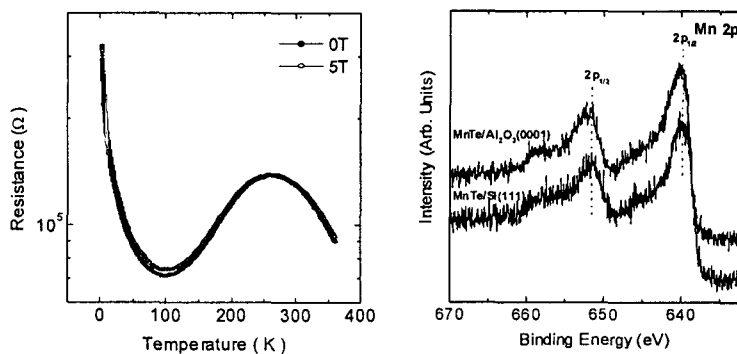


Fig. 2. Temperature dependence of resistance of MnTe/Al₂O₃(0001) film.(left) Mn $2p$ core-level spectrum of MnTe/Al₂O₃(0001) and MnTe/Si(111) films by x-ray photoelectron spectroscopy.(right)

5. 참고문헌

- [1] Y. Ohno, D. K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno, and D. D. Awschalom, *Science* **402** (1999) 790.
- [2] W. Szuszkiewicz, E. Dynowska, B. Witkowska, B. Hennion, *Phys. Rev. B* **73** (2006), 104403.
- [3] J. B. C. Efrem D'Sa, P. A. Bhohe, K. R. Priolkar, A. Das, S. K. Paranjpe, R. B. Prabhu, P. R. Sarode, *J. Magn. Magn. Mater.* **285** (2005), 267.