

비정질 MnGe를 이용한 Magnetic Semiconductor 특성에 대한 연구

고 려 대 학 교 이궁원, 정치운*

한국과학기술연구원 임상호, 송상훈

1. 서론

최근 거대자기저항(Giant magneto resistance)과 성질상으로 닮고 spin-valve와 같은 작용을 하는 ferromagnet(FM)/semiconductor, magnetic semiconductor(MS)/semiconductor 등의 다층막이 만들어지고 있으며, 비자성반도체에 spin-injection을 통한 spin-dependent electronic devices의 제작을 위한 연구가 활발히 진행중이다. 이처럼 III-FM-V, II-FM-VI, IV-FM 구조의 자성반도체(Magnetic semiconductor)에 대한 연구는 자기적 요소에 기반을 둔 반도체로의 적용가능성을 보임으로 많은 주목을 끌고 있다. 우리가 선택한 MnGe이 다른 자성반도체에 대해 상대적으로 가지는 이점은 다음과 같다. 첫째, 타 구조에 비해 IV-FM의 간단한 구조를 가진다. 둘째, Ge 고유의 높은 hole mobility. 셋째, $Al_yGa_{1-y}As$ 와의 lattice match를 이용한 gate voltage control이 가능하다. 넷째, 상대적으로 저렴한 가격을 가지는 점등이 있으며, 이미 molecular beam epitaxy(MBE)를 이용해 성장시킨 단결정 MnGe 박막에 대해 연구된바 있다. 그러나 단결정 MnGe은 결정 구조상 많은 양의 Mn이 치환되어 들어갈 수 없으나 비정질 MnGe에서는 단결정의 경우보다 많은 양의 Mn이 들어갈 수 있으므로 반도체 host에 보다 많은 수의 nano scale ferromagnetic clusters가 생성되고, 이러한 비정질의 특성을 이용한 자성반도체로서의 MnGe에 대하여 연구하고자 하는 것이 본 실험의 목적이다.

2. 실험방법

비정질 MnGe의 성장은 thermal evaporation 장비를 사용하여 6000Å~9000Å 두께를 가지고, $0.167 \leq Mn \leq 0.453$ 의 Mn 조성비를 가지도록 제작되었다. 두께와 Mn 조성비의 측정은 각각 Surface Profiler (Alpha Step-P1)을, Rutherford Back Scattering(RBS)를 사용하여 측정하였다. Magnetization과 Curie온도는 superconducting quantum interference device(SQUID) magnetometer를 사용하여 측정된 결과를 통해 계산하였다. Hall 효과 및 자기저항은 4-point probe방법에 의하여 Physical Property Measurement System(PPMS) 장비를 사용하여 외부자기장 -5T~5T의 범위에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

비정질 MnGe의 Hall 효과를 측정한 결과 운송자의 농도는 상온에서 대략 $10^{20}(cm^{-3})$ 이며, -5T와 5T에서도 Hall resistivity의 data에 보이듯이 완전히 포화되지 않았다.(Fig.1) Mn 함량이 0.167인 시료의 Hall 효과 측정에서 300K에서는 전자가, 저온(~77K)에서는 정공이 전도에 지배적인 역할을 하는 운송자인 것을 관측 할 수 있고, 이것은 반도체 전도에 기여하는 운송자가 두 개 일 때 Hall상수가

$R_H = \frac{\mu_p^2 p - \mu_n^2 n}{e(\mu_p p - \mu_n n)^2}$ 임을 고려하면 설명되어질 수 있다. 즉, p-type으로 만들어진 비정질 MnGe이

300K에서는 전자의 이동도가 정공에 비해 상대적으로 크기 때문에 전도에 지배적인 역할을 하는 운송자는 전자가 되어 주된 운송자가 정공임에도 불구하고 n-type의 특성을 나타낸다. 또한 넓은 온도영역에서 extraordinary Hall effect(EHE)를 관측할 수 있다. 이것은 비정질 MnGe의 내부에 ferromagnetic clusters가 만들어져 있음을 시사하는 것이다. 자기저항의 측정 결과(Fig.2)는 기존에 보고된 단결정 data와 같은 모양을 보이나, 음의 자기저항과 양의 자기저항이 바뀌는 온도영역은 단결정에서와 비교했을 때 상당히 높아진 것을 볼 수 있으나 MR의 변화율은 상당히 작았다.

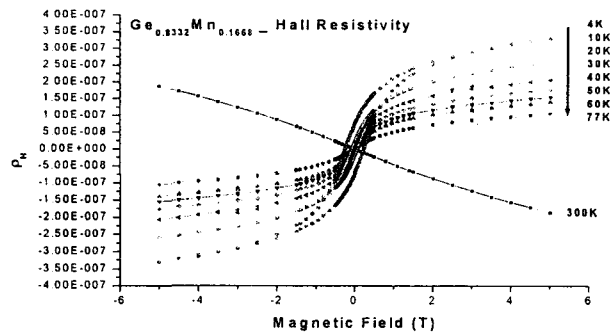


Fig. 1. Hall resistivity versus Magnetic Field at low temperatures for a $Mn_{0.167}Ge_{0.833}$. The extraordinary Hall effect dominates at low fields

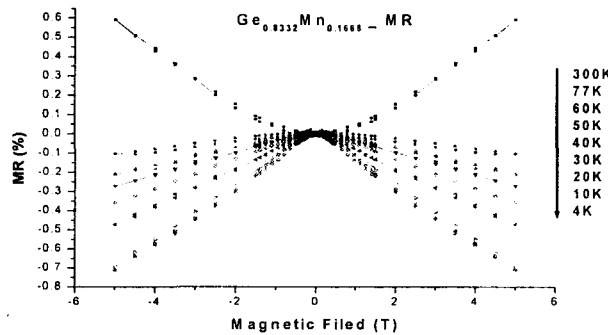


Fig. 2. MR response at low temperature for a $Mn_{0.167}Ge_{0.833}$.

4. 결 론

비정질 MnGe의 전기적 특성을 측정된 결과 EHE를 보이고, 온도의 감소에 따라 저항이 증가하여 반도체적 특성임을 알 수 있었다. 기존에 보고된 단결정 MnGe은 Mn의 조성비가 $0.006 \leq Mn \leq 0.035$ 일 때, Curie 온도는 25~116K이었으며, 자기저항은 22K이하에서 음의 자기저항(~6%)을 보였고, 그 이상의 온도영역에서는 양의 자기저항(~60%)을 보였다. 자성반도체에서의 자기저항은 반도체 host에 nano scale ferromagnetic clusters로 구성된 granular semiconductor based system으로 설명될 수 있다. 이에 비추어 볼 때 비정질 MnGe의 자성반도체로서의 특성을 확인할 수 있다. 이것은 magnetic semiconductor/semiconductor 구조를 이용한 spin injection과 같은 연구에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Y.D. Park, A.Wilson, A.T. Hanbicki, J.E Mattson. APL vol78 18
- [2] Y.D. Park, A.T. Hanbicki, S.C. Hellberg, Science vol.295 651 (2002).
- [3] Sunglae Cho, Physical Review B 66, 033303 (2002).