

## Magnetotransport properties of amorphous $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ thin films grown by vapor deposition

Sang Soo Yu<sup>1\*</sup>, Tran Thi Lan Anh<sup>1</sup>, Ki Hak Kim<sup>1</sup>, Young Eon Ihm<sup>1</sup>,  
Dojin Kim<sup>1</sup>, Hyojin Kim<sup>1</sup>, Sangjun Oh<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

<sup>2</sup>Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-333, Korea

### 1. 서론

최근 상대적으로 높은 Curie 온도를 가지는 Single crystal  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  자성 반도체의 발견으로 그 동안 III-V, II-VI족 화합물 반도체에 집중되었던 자성 반도체 연구 분야에 Si, Ge을 기반으로 한 IV족 자성 반도체 연구가 더해지고 있다. 공통적으로 자성 반도체는 높은 Curie 온도를 얻기 위해 순수한 반도체의 구조적인 변화없이 높은 자성 이온이 치환이 되어야 하는데 모든 자성 반도체가 자성 이온의 치환에는 한계가 있어서 우리가 원하지 않는 second phase 형성이 형성, 그로 인해 자성 반도체의 구조적, 물성적으로 변화를 일으킨다.

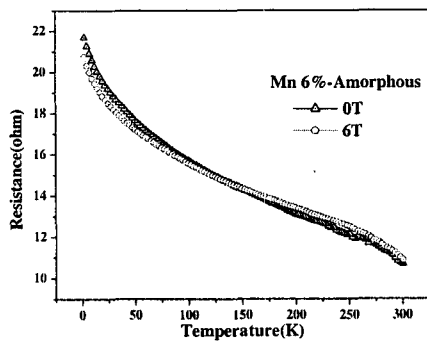
우리가 선택한 amorphous GeMn은 single crystal GeMn이 가지는 고용한계를 넘어 많은 양의 Mn을 치환시켜 Tc의 함께 자화 특성의 향상을 목표로 하고 있다.

### 2. 실험 방법

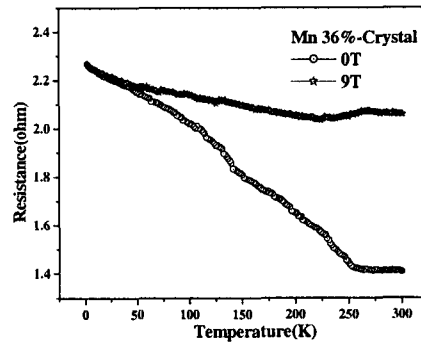
Amorphous  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  박막의 성장은 thermal evaporator 장비를 이용하였고 working pressure는 약  $10^{-5}$  torr, 성장 막의 두께 2000Å - 5000Å를 가지고,  $0 < x < 0.51$ 의 Mn 조성비를 가진다. 자기적 특성 분석은 SQUID(Superconducting Quantum Interference Device)를 이용한 MPMS(Magnetic Property Measurement System)을 이용하였고 transport 특성 분석은 역시 SQUID를 이용한 PPMS(Physical Property Measurement System)를 이용하여 외부 자기장 -9T - 9T의 범위에서 측정하였다.

### 3. 실험 결과

성장시킨  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  박막의 XRD 측정 결과 Mn  $x > 0.3$ 부터는 Mn phase와 더 나아가서는 second phase가 생긴다. 이에 자성 특성 및 transport 특성은 주로 Mn 조성  $x < 0.3$ 인 박막을 측정하였다.  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  박막은 p-type의 carrier를 가지고 약  $10^{18} - 10^{22}(\text{cm}^{-3})$ 의 carrier 농도를 가지고 있다. 저항의 온도 의존 특성 결과 Amorphous  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  박막은 전형적인 semiconductor 거동 즉 온도가 올라갈수록 저항이 감소하는 거동을 보인다. 반면  $x > 0.3$ 이상의  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  박막은 반도체 특성 거동을 하다가  $T > 250\text{K}$ 에서 anomalous metallic 거동을 한다. 또한 Amorphous 박막에 magnetic field를 가하면 Tc이하에서는 저항 값의 감소 Tc이상에서는 저항 값이 증가한다. 이러한 경우는 MR측정시 negative MR이 보이며 온도가 증가할 수록 MR ratio는 줄어들어서 Tc이상에서는 MR특성을 보이지 않는다. Negative MR ratio는 Mn의 조성이 큰 amorphous  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 에서 더 크게 나타난다. 하지만 Mn조성이  $x > 0.14$ 인 amorphous 박막의 경우는 Tc에 상과 없이 자기장을 가하면 저항 값이 증가한다. 이는 각각 magnetic field에 의존하는 amorphous  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  박막의 내부에 Ge matrix에 localized Mn, 또는 다른 ferromagnetic cluster에 의한 spin dependent scattering에 의한 효과, sp-d coupling, charge carrier에 작용하는 classical Lorentz force에 의한 효과로 설명할수 있으나 아직은 명확하지는 않다.

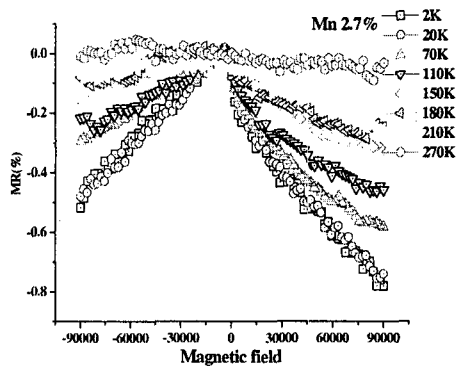


(a)

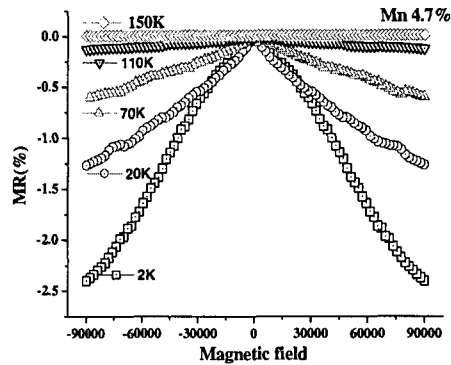


(b)

Fig.1 저항의 온도 의존성 (a): Mn 6at% amorphous film  
(b): Mn 36at% crystal film



(a)



(b)

Fig.2 온도에 따른 Magnetoresistance 변화  
(a): Mn 2.7at% amorphous film (b): Mn 4.7at% amorphous film

#### 4. 참고 문헌

- 1]. Y. D. Park, A. Wilson, A.T. Hanbicki, J.E. Mattson, Science vol.295 651 (2002)
- 2]. H. Akinaga, J. De Boeck, G. Borghs Appl. Phys. lett., Vol.72 No.25 3368 (1998)

#### 5. Acknowledgement

This work was supported by the Research Center for Advanced Magnetic Materials (Chungnam National University), the BK21 Program (the Ministry of Education & Human Resource Development in Korea) and KRF (Korea Research Foundation).