

Growth and Magnetism in Amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ Semiconductor thin films

Ki Hak Kim^{1*}, Sang Soo Yu¹, Sang Won Seo¹, Tran Thi Lan Anh¹, Young Eon Ihm¹,
Dojin Kim¹, Hyojin Kim¹, Sang Jun Oh²,

¹School of Materials Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764,

²Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-333, Korea

1. 서론

DMS(Diluted Magnetic Semiconductor)는 spintronics분야에서 spin injection을 이용한 소자를 제작하기 위한 차세대 소재로 많은 관심을 끌고 있다. 이전에는 자성 원소 Mn, Cr, Co, Fe, Ni등을 도핑한 III-V족, II-VI족 화합물 반도체가 집중적으로 연구되었다. 하지만 최근, IV족 반도체 Ge에 자성 원소 Mn을 첨가하여 Curie 온도가 약 110K인 single crystal $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ DMS가 발견되면서 상대적으로 외면 받았던 IV족 DMS 분야가 다시금 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 single crystal DMS가 가지는 solubility한계를 극복하기 위해 amorphous 형태의 matrix에 자성 원소 Mn을 첨가하여 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 박막을 성장, 전기적, 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막은 Thermal Evaporator를 이용하여 400K 아래의 낮은 기판 온도에서 증착되었다. amorphous 박막을 쉽게 만들기 위해서 열적 산화시킨 $\text{SiO}_2(5000\text{\AA})/\text{Si}(100)$ 의 기판에서 성장시켰다. 박막 성장 중의 압력은 10^{-5}Torr 이고, 증착 두께는 a-step을 이용하여 측정하였는데 두께는 약 1000-2500 \AA 이며 증착 비율은 약 100 $\text{\AA}/\text{min}$ 이다. X-ray diffractometer와 Transmission Electron Microscopy(TEM)을 이용하여 박막의 미세구조를 확인하였다. Standard 4-points Probe와 Hall device를 이용하여 박막의 전기적인 특성을 측정하였다. 자기적 특성은 상온에서는 Vibrating Sample Magnetometer(VSM)을 이용하였고, 저온에서의 자기적 특성은 Superconducting Quantum Interference Device(SQUID)를 이용한 MPMS(Magnetic Property Measurement System)로 낮은 온도 5K에서부터 300K까지 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

X-ray diffractometer와 TEM을 이용한 amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 박막의 미세 구조 분석 결과 Mn의 함량에 따라서 amorphous 형태에서 crystal형태로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 1은 amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 박막의 미세구조를 X-ray diffractometer를 이용하여 분석한 결과이다.

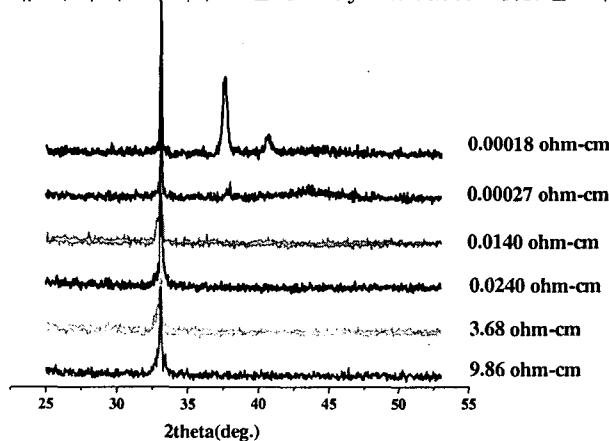


그림. 1 X-ray Diffractometer를 통한 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 박막의 구조 분석

또한, 4-point probe를 이용한 amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 박막의 전기적 비저항은 Mn의 농도가 증가함에 따라 $9.86\Omega\text{-cm}$ 에서 $6.59 \times 10^{-4}\Omega\text{-cm}$ 까지 감소하고, Hall device 측정 결과 p-type의 carrier를 가지고 있고, carrier의 농도는 약 $10^{20}/\text{cm}^3$ 이다. carrier 농도가 증가함에 따라 Hall device에서의 resistivity도 감소함을 알 수 있었다.

VSM을 통한 자성 특성 결과 상온에서는 자기적 특성을 발견할 수 없었다. 그와 함께 MPMS를 이용한 저온 자기적 특성에서는 거의 모든 시편은 paramagnetic 특성을 보이고 간혹 antiferromagnetic 특성을 보이는 시편도 있다. 그림 2는 저온에서 상온까지의 온도에 따른 각각의 amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 박막의 자화 곡선을 보여준다. 이러한 특성은 amorphous $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 과 상당한 차이가 있고, single crystal $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$, $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 의 실험 결과와도 상당한 차이가 있다.

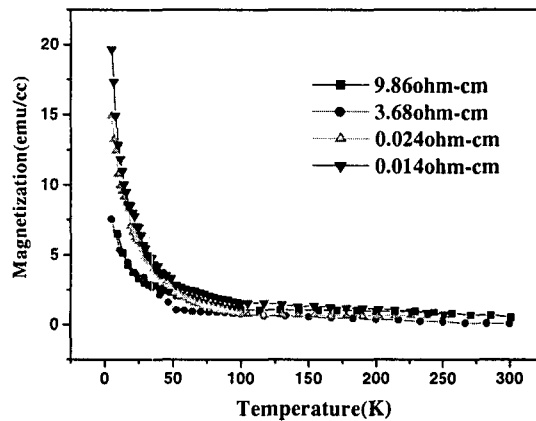


그림. 2 온도에 따른 amorphous의 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막의 자화 곡선

4. Acknowledgement

This work was supported by the Research Center for Advanced Magnetic Materials (RECAMM, Chung Nam National University, Korea) and the Brain Korea 21 Program (BK21, the Ministry of Education & Human Resource Development, Korea).

5. References

- [1] H. Ohno, "Making nonmagnetic semiconductors ferromagnetic", *Science* **281**,951 (1998).
- [2] Y. Ohno, D.K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno, and D.D. Awschalom, *Nature(London)* **402**, 790 (1999).
- [3] Y .D. Park, *Science* **295**, 651 (2002).