

Magnetic and Electrical Properties of (Si_{1-x}Ge_x)_{1-y}Mn_y Thin Films grown MBE

Sang Soo Yu^{1*}, Young Mi Cho¹, Young Eon Ihm¹, Dojin Kim¹, Hyojin Kim¹,
Sangjun Oh², Chang Soo Kim³

¹Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

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

³Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, 305-600, Korea

1. 서론

자성반도체(Diluted Magnetic Semiconductor)는 스핀트로닉스(Spintronocs)의 발전에 필수 불가결한 요소로서 DMS는 CdMnTe에서 자기 광학 효과의 거대 현상을 보고 한 이후에 수십년간 활발히 연구 되어 오고 있다. DMS는 화합물 반도체나 순수한 반도체에 양이온을 자기 이온으로 치환함으로써 형성되는 물질이다. 현재까지는 주로 GaMnAs나 InMnAs같은 III-V 또는 ZnMnO나 CdMnTe같은 II-VI 화합물 반도체에 집중적으로 연구되었다. 이와 더불어 최근에 상대적은 높은 Tc를 가지는 Single crystal GeMn DMS가 발견되면서 IV족 자성 반도체가 다시금 관심을 끌고 있다.

이에 본 연구에서는 IV족 반도체인 Si_{1-x}Ge_x에 자성 원소 Mn을 첨가하여 자기적 특성 및 전지적 특성에 관해 연구할 것이다.

2. 실험 방법

본 연구를 위해 MBE(Molecular Beam Epitaxy) 장비를 이용하여 두께 3000 Å - 4000 Å를 가지는 (Si_{1-x}Ge_x)_{1-y}Mn_y 박막을 low 10⁻⁷ torr pressure에서 제작하였다. Si_{1-x}Ge_x는 완전 고용체이기에, 또 MBE의 특성상 높은 Si effusion cell의 온도 영향 때문에 상대적으로 vapor rate가 좋은 Mn의 영향을 줄이기 위해 x=1, 0.9, 0.7, 0.5, 0.3, 0으로 고정하여 각각의 조건에 Mn effusion cell의 온도를 변화시켜 Mn을 첨가하는 방법으로 제작하였다. 이렇게 제작된 (Si_{1-x}Ge_x)_{1-y}Mn_y 박막은 4-point probe와 Hall 측정, SQUID(Superconducting Quantum Interference Device)를 이용한 PPMS(Physical Property Measurement System)으로 전기적인 특성 분석을 수행하였다. 자기적 특성 분석은 상온 VSM, SQUID를 이용한 MPMS(Magnetic Property Measurement System)을 이용하였고, 미세 구조 분석은 특정 phase들의 존재를 확인하기 위해 XRD와 특정 phase에 lattice 변화를 확인하기 위해 HR(High-Resolution) XRD를 이용하였다.

3. 실험 결과

먼저 XRD결과 제작된 (Si_{1-x}Ge_x)_{1-y}Mn_y 박막은 polycrystal임을 알 수 있다. 즉 Si, Ge 각각에 Mn이 결합 second phase를 만들었다. 상온 VSM측정을 통해 각각의 Si_{1-x}Ge_x 조성에 따라 특정 Mn cell온도에서 자화 값의 최고 값이 존재함을 알 수 있었다. 이는 특정 조건에서 자화 값이 큰 특정 phase가 형성됨을 설명해 준다. 구체적으로 자화 특성에 영향을 주는 특정 phase를 구분하기 위해 MPMS를 이용하여 저온 자화 거동을 알아보았다. Fig.1 Si₀Ge₁의 Mn조성에 따른 자화 거동이다. Fig.2은 Si_{0.3}Ge_{0.7}의 Mn조성에 따른 자화 거동이다. 먼저 5K에서 자화 값의 크기의 감소를 알 수 있다. 또한 자화 Fig.1에서는 강한 강자성 Phase가 하나이다. 이 강자성 phase는 XRD측정 결과 Ge₃Mn₅이다. 이와 달리 Fig.2는 저온 부근에서 강자성 Phase가 하나 그리고 상온까지 이어지는 또 다른 자성 Phase가 존재함을 알 수 있다. 전체적으로 자화 값 역시 줄어 들었다. 이는 Ge₃Mn₅의 형성 조건에 Mn을 첨가할시 상당 부분의 Mn이 Si과의 결합으로 Si₃Mn₅, Si₄Mn₇과 같은 약한 그리고 낮은 Curie 온도를 가지는 intermetallic phase를 형성하거나, 기존의 Ge₃Mn₅에 Ge site에 Si이 치환되어서 (Si_{1-x}Ge_x)₃Mn₅의 형성으로 자화 값의 감소를 설명할 수 있다. 이러한 현상은 Si이 많이 첨가 될 수록 더욱 커진다. 또한 Si 함량에 따라서 약간이지만 Curie 온도의 변화도 관측되는데 이는 다른

Si-Ge-Mn system에서의 intermetallic phase의 변화보다는 $(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_3\text{Mn}_5$ 의 형성에서 Si에 따른 electrical structure의 변화에 따른 것이다.

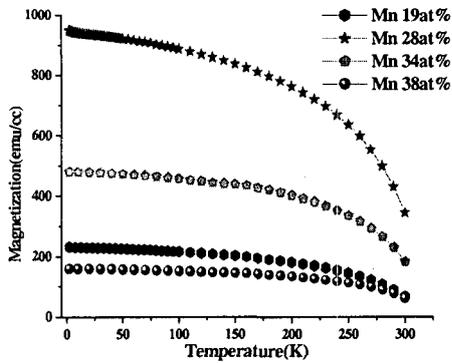


Fig.1. M-T curve of $(\text{Si}_0\text{Ge}_1)_{1-y}\text{Mn}_y$ thin films

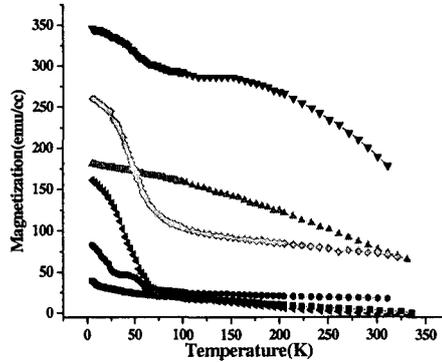


Fig.2. M-T curve of $(\text{Si}_{0.3}\text{Ge}_{0.7})_{1-y}\text{Mn}_y$ thin films

4. 참고 문헌

- 1]. Y. D. Park, A. Wilson, A.T. Hanbicki, J.E. Mattson, Science vol.295 651 (2002)
- 2]. M. Gajdzik, C. Sürgers, M. T. Kelemen, H. V. Löhneysen, J. Magn. Magn. Mater. **221** (2000) 248-254
- 3]. P. Panissod, A. Qachaou, G. Kappel, J. Phys. C: Solid state Phys. 17 (1984)

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).