

MBE로 성장한 다결정 $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체의 중성자 조사 효과

(Neutron irradiation effect on polycrystalline $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ semiconductor grown by MBE)

조영미^{1*}, 유상수¹, 임영언¹, 이승원¹, 김도진¹, 김효진¹, 손재민², 김봉구², 강영환², 오상준³, 김창수⁴

¹충남대학교 공과대학 신소재공학부, 대전광역시 유성구 궁동 220, 305-764

²한국원자력연구소 하나로이용기술개발부, 대전광역시 유성구 덕진동 150, 305-353

³한국기초과학지원연구원, 대전광역시 유성구 어은동 52, 305-333

⁴한국표준과학연구원, 대전광역시 유성구 도룡동 1, 305-600

1. 서론

미국, 일본 등 선진 각국은 현재의 Giga급 소자를 대체할 차세대 Tera급 나노소자 (Nano-Devices)의 기술 개발에 국가 차원의 연구 Project를 수행하고 있다. 이 중 Spin Injection 소자는 가장 기대되는 Tera급 Nano-Devices이다. Spin Injection을 위한 반도체 소재로는 기존의 반도체인 III-V[1-3], II-VI[4-6], Si, Ge[7-10] 및 ZnO[11-12]반도체에 자성 원소인 Mn을 첨가한 조성계가 주로 연구되고 있다. 그 중 Mn을 도핑한 Si, Ge, ZnO 반도체는 이론적으로 상온 스핀 주입이 가능할 것으로 예측되어 이들에 대한 연구가 중점적으로 진행되고 있다. 실용화를 앞두고 있는 Tera급 나노소자는 원자력 발전소, 우주 왕복선 등에서 사용될 경우 중성자 조사에 노출될 수 있으며 이를 위하여 중성자 조사가 반도체의 특성에 미치는 영향을 체계적으로 연구할 필요가 있다. 또한 반도체 박막에 대한 중성자 조사 효과를 연구함으로써 중성자 조사 효과를 응용한 새로운 소재의 개발에 활용할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 중성자 조사가 Molecular Beam Epitaxy(MBE)로 성장한 $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막의 미세 구조 및 전자기적 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험방법

$\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막은 Molecular Beam Epitaxy (MBE)를 사용하여 (100)Si 기판 위에 성장하였다. $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막의 두께는 약 3000Å-5000Å이며 Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDXS)로 측정된 Mn의 조성은 약 28at%이었다. 중성자 조사용 $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막 시료의 크기는 $7.0 \times 7.0 \times 0.8 \text{mm}^3$ 이며, 시료의 총 수량은 75개 이었다. 중성자 조사는 시료를 소형 알루미늄 무게장 캡슐에 장입하여 High-flux Advanced Neutron Application Reactor (HANARO)의 IP5 조사공에서 실시하였다. 조사한 중성자는 Fast Neutron (0.82MeV)이었으며, 조사 속도는 $3.45 \times 10^{10} \text{neutron/cm}^2 \text{sec}$, 조사량은 2.4×10^{14} (2.4시간), 10^{15} (10시간), $10^{16} \text{neutron/cm}^2$ (100시간)이었다. 전기적 특성은 Physical Property Measurement System(PPMS)와 4-point Probe, Hall device를 사용하여 측정하였다. 자기적 특성은 Vibrating Sample Magnetometer (VSM)와 Superconducting Quantum Interference Device (SQUID)로 분석 하였다. 미세구조는 X-ray diffractometer(XRD)를 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

As-grown $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막은 p-type carrier를 가지며, 전기 비저항은 $1.3 \times 10^{-4} - 5.2 \times 10^{-4} \text{ohm.cm}$ 이다. 중성자 조사 후, carrier type은 변하지 않으나 전기 비저항은 증가한다. 온도에 따른 저항 곡선에서, 조사한 $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막의 전기 비저항은 전형적인 metallic 거동을 한다. $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막의 자화 값은 조사량이 증가할수록 감소하나, 조사 동안 강자성 거동은 변하지 않는다.(그림1) 미세 구조 분석 결과는 또한 $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막의 Ge_3Mn_5 강자성 상 변화가 없음을 나타낸다. (그림2) 그러므로 $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막의 전자기적 특성 변화는 자성상의 변화보다, 중성자 조사에 의한 구조 결함에 의한 것으로 예측하였다.

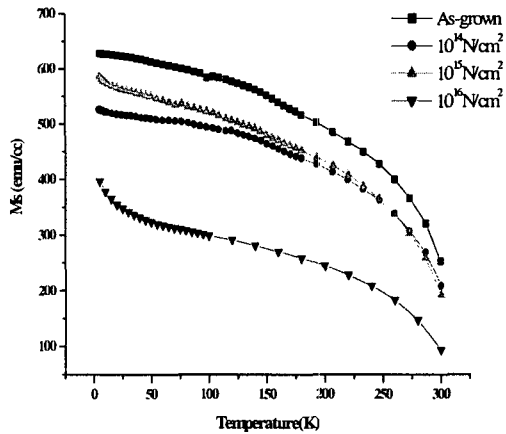


그림1. $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막의 저온자화 거동 (2T)

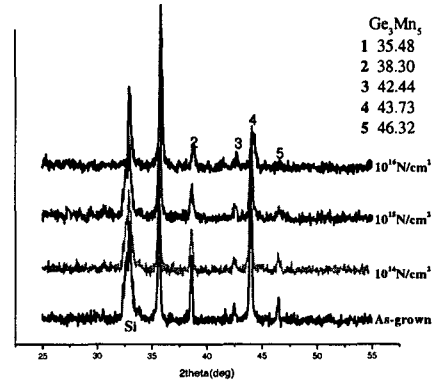


그림2. $\text{Ge}_{0.72}\text{Mn}_{0.28}$ 반도체 박막의 XRD 회절패턴

감사의 글

본 논문은 하나로공동이용 활성화 사업과 ReCAMM의 지원으로 수행되었으며, BK21 사업 지원에 감사드립니다.

4. 참고 문헌

- [1] H. Ohno et al, Appl. Phys. Lett. 69, 363(1996)
- [2] K.H. Kim et al, Appl. Phys. Lett., Vol.82, No.11, 1775-1777, (2003)
- [3] G. A. Prinz, Science 250, 1092(1990)
- [4] J. K. Furdyna et al, J. Appl. Phys. 61(8), 15, 3526(1987)
- [5] J. K. Furdyna, J. Vac. Sci. Technol. A4(4), 2002(1986)
- [6] H. Akina et al, Appl. Phys. Lett. 72, 3368(1998)
- [7] P. J. Wellmann et al, Appl. Phys. Lett. 71, 2532(1997)
- [8] Y.D. Park et al, Appl. Phys. Lett. 78, 2739(2001)
- [9] N. Yamada et al, J.Phys.Soc.Japan, Vol.55, No.11,3721(1986)
- [10] N. Yamada et al, J.Phys.Soc. Japan, Vol.59, No.1, 273(1990)
- [11] J.H. Kim, et al, Physica B, 327, 304-306, (2003)
- [12] J.H. Kim et al, J. Appl. Phys., Vol.92, No.10, 6066-6071 (2002)