

MBE로 성장한 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막의 중성자 조사 효과

(Neutron irradiation effect of $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ semiconductors grown by MBE)

권 당^{1*}, 임영언¹, 이승원¹, 김도진¹, 김효진¹, 손재민², 김봉구², 강영환², 김창수³, 오상준⁴

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

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

³한국표준연구원 물질량표준부, 대전광역시 유성구 도룡동 1, 305-600

⁴한국기초과학지원연구원 극한물성팀, 대전광역시 유성구 어은동 52, 305-333

1. 서론

대표적인 III-V족 반도체인 GaAs에 천이원소인 Mn을 도핑한 GaMnAs 강자성 반도체로부터 반도체로의 스핀주입이 확인되면서 스핀트로닉스 재료에 대한 관심이 높아졌다.¹⁾ 그래서 본 연구는 대표적인 IV족 반도체인 Si에 Mn을 도핑한 후 중성자 조사를 하여 스핀트로닉스 소재로서의 활용 가능성과 물성 변화에 대해 알아보기 위해 수행되었다.

2. 실험방법 및 결과

$\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막은 Molecular Beam Epitaxy(MBE) 방법으로 (100)Si wafer 위에 성장되었으며, 중성자를 조사한 후 미세구조 및 전자기적 특성 변화에 관하여 연구되었다. 성장온도는 400°C이고, 성장시킨 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막의 두께는 약 3,000-4,000Å이며, Energy Dispersive Spectroscopy(EDS)로 측정된 Mn의 함량은 29a% 였다. Hall Device와 Standard 4-point Probe를 사용하여 전기적 특성을 측정한 결과 as-grown $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막은 농도가 $2.5 \times 10^{21} \text{#/cm}^3$ 인 p-type carriers를 가지며, mobility는 $10.5 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$, 비저항은 $1.8 \times 10^{-4} - 4.3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 이다. X-ray Diffractometer(XRD)로 미세구조를 분석한 결과 다결정으로 성장되었음을 알 수 있었고, MnSi, Mn_5Si_3 , Mn_4Si_7 과 같은 자성상이 생성되었음을 확인하였다. 자기적 특성은 상온에서 Vibrating Sample Magnetometer(VSM)로 저온에서는 Superconducting Quantum Interference Device(SQUID)로 측정되었다. As-grown $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막의 포화자화값은 상온에서 13 emu/cc, 5K에서는 113 emu/cc 이었다.

이러한 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막을 소형 알루미늄 무게장 캡슐에 장입하여 한국원자력연구소 내 High-flux Advanced Neutron Application Reactor(HANARO)의 IP5 조사공에서 중성자 조사를 하였다. 조사한 중성자는 Fast Neutron(0.82 MeV)이었으며, 조사속도는 $3.45 \times 10^{10} \text{neutrons/cm}^2\text{sec}$, 조사량은 각각 2.4×10^{14} (2.4시간), 10^{15} (10시간), 10^{16} (100시간), 10^{17} (1,000시간) neutrons/cm² 이었다. 중성자 조사 후 앞서 언급한 것과 동일한 방법으로 전자기적 특성을 분석하였다.

3. 결론

MBE로 성장시킨 $\text{Si}_{1-x}\text{Mn}_x$ 반도체 박막에 중성자를 조사하여 특성을 조사하였다. 그 결과 조사량이 증가함에 따라 포화자화값, mobility는 감소하였고, 비저항은 증가하였다 (Fig.1). carrier 농도의 경우 as-grown 시료의 carrier 농도에 비해 조사 후 모든 조사량의 경우에서 7배정도 감소하였다. 한편 시료의 carrier type은 모두 p-type으로 동일하였으며, 조사량에 관계없이 큐리온도(=30K)는 일정하였다. 또한 X-ray diffraction peak 분석으로는 Intensity의 변화 외에 주목할 만한 상변화를 관찰할 수 없었으므로 위와 같은 물성 변화는 자성상의 변화에 의한 것이라기보다 중성자 조사로 인해 발생한 시료내의 결함증가에 기인한 것으로 판단된다 (Fig.2).

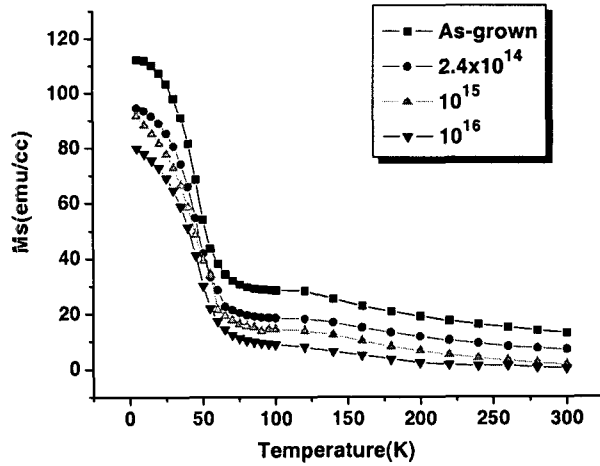


Fig. 1. Variation of the saturation magnetization as a function of temperature for as-grown and neutron irradiated specimens. (Applied field : 2T)

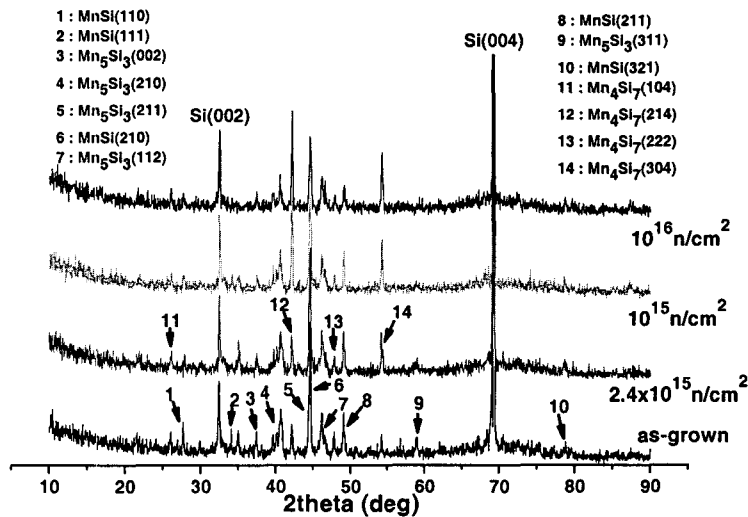


Fig. 2. XRD patterns of as-grown and neutron irradiated specimens

감사의 글

본 연구는 Research Center for Advanced Magnetic Materials (ReCAMM, 충남대학교), 하나로공동 이용활성화 사업(한국원자력연구소)과 Brain Korea 21 사업(BK21, 교육인적자원부)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Y. Ohno, D.K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno and D.D. Awschalom, Nature 402, 790 (1999).