

Fe 이온이 주입된 GaN의 구조적 및 자기적 특성

김우철^{1*}, 김철성¹, 강희재², 노삼규³, 송종한⁴, 오상준⁵

¹국민대학교 물리학과, 서울 136-702

²충북대학교 물리학과, 청주 361-763

³한국표준과학연구원, 대전 305-340

⁴한국과학기술 연구원, 서울 136-791

⁵한국기초과학지원 연구원, 305-333

1. 서론

최근에 스핀트로닉스 소자의 응용을 위한 물질로 희박 자성반도체 물질(Dilute magnetic semiconductor)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1,2] III-V 화합물 반도체에 관련한 희박 자성반도체에서 넓은갭을 가진 GaN 반도체가 이론적인 연구에 의해 실온에서 강자성 특성을 보인다는 보고이후[3] 이물질에 대한 연구가 많은 주목을 받고 있다. 비록 이론적인 기초에 의해 Mn이 도핑된 GaN의 물질이 많이 연구가 되고 있지만 Fe, Co, Ni가 도핑된 GaN도 또한 자성반도체 물질로 적합한 성질을 가질 것으로 예상된다. 이에 본 연구는 희박자성반도체의 강자성의 성질을 조사하는데 하나의 대체방법인 이온주입법을 이용하여 Fe 이온이 주입된 GaN의 후열처리에 따른 구조적 및 자기적 특성에 대하여 살펴보았다.

2. 실험방법

MOCVD법으로 Al₂O₃ 기판위에 2 μm 두께의 GaN 에피층을 성장시키고 3×10¹⁶ cm⁻²의 dose로 80 KeV Co 이온을 350 °C에서 GaN에 주입하였다. 주입된 시료들은 주입손실의 제거와 재결정화를 위해 5분 동안 질소분위 기에서 빠른 열처리(Rapid Thermal Annealing) 방법으로 700-900 °C에서 후열처리를 하였다. High resolution X-ray diffraction (XRD), superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer와 x-ray photoelectron spectroscopy (XPS)를 사용하여 Fe 이온이 주입된 GaN 물질의 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

XRD 결과는 이차상의 형성을 보여주지 않았으며 단지 GaN층과 Al₂O₃ 기판에서 보여주는 피크만이 관찰되었다. 900 °C 에서 열처리한 시료의 5 K에서 자화곡선은 강자성 이력현상을 보여주었지만 실온에서는 강자성 이력곡선은 측정 분해능안에서 사라지는 것으로 관측되었다. 반면에 800 °C 에서 열처리한 시료는 5 K와 실온에서 강자성 이력현상을 보여주지 않았다. Zero field cooled (ZFC)와 field-cooled (FC)의 온도의존성 자화측정에서 900 °C 에서 열처리한 시료는 두 개의 다른 상태에서 비가역성과 ZFC 자화곡선안의 약 30 K에서 돌출곡선이 관찰되었다. 이러한 두 현상은 초상자성 또는 spin-glass 상태가 일어남을 나타내 준다. 반면에 800 °C 에서 열처리한 시료는 무질서계에서 나타나는 non-Brillouin 같은 자화곡선이 관찰되었다. XPS 측정은 후열처리 되지 않은 이온주입시료에서 Fe 2p_{3/2}의 코어레벨은 Fe 금속결합과 Fe-N의 결합을 나타내는 706 eV와 709.4 eV 결합 에너지에서 관찰되었지만 700-900 °C에서 후열처리 된 시료들의 Fe 2p_{3/2}의 코어레벨은 단지 Fe-N의 결합을 보여주는 709.4 eV 주위의 결합에너지에서만 관찰이 되었다. Ga 3d 피크는 이온주입과 후열처리 시료들은 GaN 성장박막에 비해 낮은 결합에너지 쪽으로 피크가 이동을 했고 단지 대칭적인 Ga-N 결합만의 스펙트럼이 관찰되었다. N 1s의 총 피크의 세기와 N-O와 N-H 결합에 비해 N-Ga 결합의 상대적 피크의 세기는 Fe 이온주입과 후열처리 후에 감소되는 것으로 관찰되었다. 이는 N 원자들이 후열처리 과정 중에 시료 밖으로 확산되는 것에 기

인하는 것으로 보여 진다. 그리고 valence band 스펙트럼은 후열처리 되지 않은 시료는 표면이 금속성으로 변화 되었음을 보여주었지만 700-900 °C 에서 후열 처리한 시료는 GaN 성장시료 박막과 같은 비금속성 표면을 유지 하는 것으로 관찰되었다.

4. 결론

Fe 이온이 주입된 GaN의 구조적 및 자기적 특성을 연구하였다. 본 시료의 이온주입과 열처리 조건에서 HRXRD 결과 이차상은 관찰되지 않았다. 900 °C에서 후열 처리한 시료는 초상자성 또는 spin-glass 특성을 보여 주었다. 반면에 800 °C에서 후열 처리한 시료는 무질서계에서 나타나는 자기적 특성을 보여주었다. XPS 측정에서 추론된 미시적 관점으로부터 본 시료의 자기적 성질은 FeN 구조로부터 기인함을 알 수 있었다.

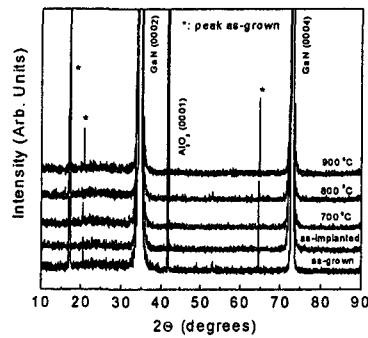


Fig. 1. XRD profile for Fe ion-implanted GaN at various annealing temperatures.

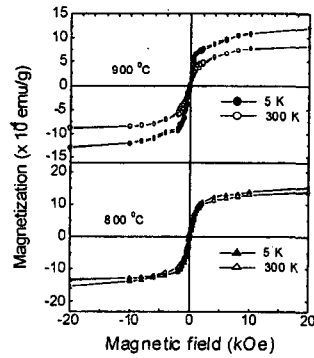


Fig. 2. Magnetization loops at 5 and 300 K for samples annealed at 800 and 900 °C of Fe ion-implanted GaN.

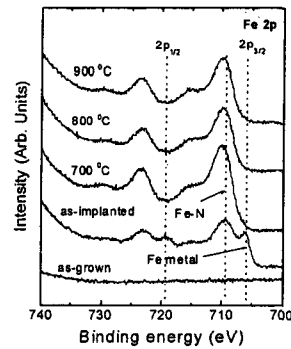


Fig. 3. Change in the XPS spectra for Fe 2p core levels in Fe ion-implanted and annealed GaN.

5. 참고문헌

- [1] Y. Ohno, D. K. Young, B. Beschoten, F. Matsukura, H. Ohno, and D. D. Awschalom, Science 402 (1999) 790.
- [2] H. Akinaga and H. Ohno, IEEE Trans. Nanotechnology 1 (2002) 19.
- [3] T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, and D. Ferrand, Science 287, (2000) 1019.