

Co 이온이 주입된 GaN의 구조적, 자기적 및 광특성

충북대학교 물리학과
한국과학기술연구원
한국표준과학연구원
한국기초과학지원연구원

김우철*, 강희재, 오석근
신상원, 이종한, 송종한
노삼규
오상준

1. 서론

최근에 스핀트로닉스 소자로의 응용을 위해 희박 자성반도체 물질(Dilute magnetic semiconductor)에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. GaAs와 InAs에 기초한 희박 자성반도체는 실제적인 응용을 위해서 낮은 큐리온를 가지고 있지만[1] GaN에 기초한 희박자성반도체는 실온이상의 높은 큐리온도를 가질것으로 예상되어진다.[2] 몇몇 연구그룹들이 Mn이 도핑된 GaN 물질에 대해 실온이상의 큐리온도를 보고하였다.[3,4] 반면에 Fe, Co, Ni과 같은 전이금속이 도핑된 GaN의 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 Co 이온이 주입된 GaN의 후열처리에 따른 구조적, 자기적 및 광특성을 보고한다.

2. 실험방법

MOCVD법으로 Al₂O₃ 기판위에 2 μ m 두께의 GaN 에피층을 성장시키고 3 \times 10¹⁶ cm⁻²의 dose로 80 KeV Co⁻ 이온을 350 $^{\circ}$ C에서 GaN에 주입하였다. 주입된 시료들은 주입손실의 제거와 재결정화를 위해 5분동안 질소분위기에서 빠른 열처리(Rapid Thermal Annealing) 방법으로 700-900 $^{\circ}$ C에서 후열처리를 하였다. X-ray diffraction (XRD), secondary ion mass spectroscopy (SIMS), atomic force microscopy (AFM), x-ray photoelectron spectroscopy (XPS), superconducting quantum interference device (SQUID)와 photoluminescence (PL)를 사용하여 Co 이온이 주입된 GaN 물질의 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

XRD 결과는 이차상의 형성을 보여주지 않았으며 단지 GaN층에서 보여주는 피크만이 관찰되었다. 후열처리전과 700 $^{\circ}$ C 열처리후의 SIMS 깊이분포는 약 7.4 %의 Co 이온농도와 함께 \sim 390 \AA 의 투사범위를 나타내었다. AFM 측정은 열처리 하지않은 시료와 700 $^{\circ}$ C에서 열처리한 시료는 표면 크레이터가 형성된 것이 관찰되었다. 하지만 800, 900 $^{\circ}$ C에서 열처리 시료는 아주 작은 표면 거칠기(0.4 nm 이하)와 함께 Co 이온이 주입되지 않은 시료(GaN/Al₂O₃)와 같은 줄무늬의 표면형태를 보여 주었다. 자기적 측정에서 온도의 함수로서 field-cooled (FC)와 zero field cooled (ZFC)의 자화 사이의 차이값은 700-900 $^{\circ}$ C에서 열처리한 시료에 대해 실온에서 강자성 성질을 가짐을 보여 주었다. 700-900 $^{\circ}$ C에서 열처리한 시료의 5 K에서 자화곡선은 강자성 이력현상을 보여주었으며 800 $^{\circ}$ C 열처리 시료에서 가장높은 잔류자화($M_R=1.5\times 10^{-4}$ emu/g)와 보자력($H_c=107$ Oe)을 나타내었다. XPS 측정은 777.6 eV에서 Co 2p_{3/2}의 core levels과 Co 2p_{3/2}와 Co 2p_{1/2} 사이의 14.8 eV 에너지차는 금속성 Co 결합을, 그리고 valence band 스펙트럼은 시료의 표면이 금속성으로 변화되었음을 각각 보여주었다. 10 K에서 측정된 Co 이온이 주입된 GaN의 PL 스펙트럼은 열처리 하지않은 시료 그리고 700-900 $^{\circ}$ C에서 열처리한 시료 모두 진폭변조 현상을 보였으며 단지 약 2.7 eV의 정점을 가지는 넓은 하나의 밴드를 보여주었다.

4. 결론

Co 이온이 주입된 GaN의 구조적, 자기적 및 광특성을 연구하였다. 본시료의 이온주입과 열처리 조건에서 XRD 결과 이차상은 관찰되지 않았다. 700-900 $^{\circ}$ C 열처리 시료에서 강자성 성질이 실온이상

까지 지속되었다. XPS 측정에서 추론된 미시적 관점에서 본시료의 실온강자성은 강자성 Co 나노클러스터 또는 Co 나노화합물에 기인됨으로 제안된다.

5. 참고문헌

- [1] H. Ohno, *J. Vac. Sci. Technol. B.* vol. 18, pp. 2039-2043 (2000).
- [2] T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, and D. Ferrand, *Science*, vol. 287, pp. 1019-1022 (2000).
- [3] M. L. Reed, N. A. El-Masry, H. H. Stadelmaier, M. K. Ritums, M. J. Reed, C. A. Parker, J. C. Roberts, and S. M. Bedair, *Appl. Phys. Lett.* vol. 79, pp. 3473-3475 (2001).
- [4] N. Theodoropoulou, A. F. Hebard, M. E. Overberg, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, S. N. G. Chu, and R. G. Wilson, *Appl. Phys. Lett.* vol. 78, pp. 3475-3477 (2001).

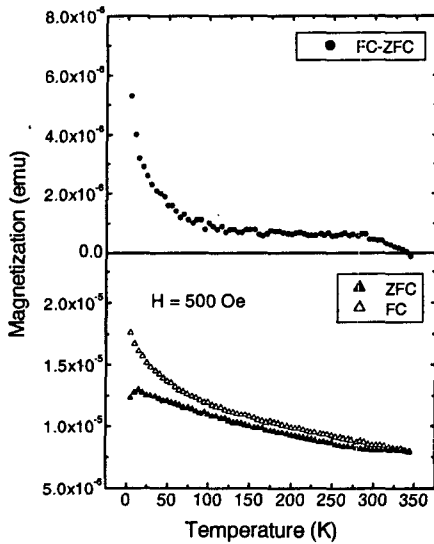


Fig. 1. The temperature dependence of field-cooled (FC) and zero field-cooled (ZFC) magnetization and difference between field-cooled (FC) minus zero field cooled (FC-ZFC) measurements for samples annealed at 800 °C.

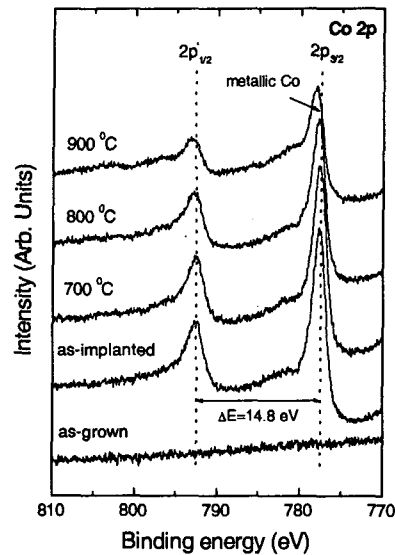


Fig. 2. Change of XPS spectra for Co 2p core levels in Co ion-implanted GaN with various annealing temperatures. .