

전이금속 원소 치환에 의한 마그네타이드 박막의 전자구조 및 자기저항 변화

김광주*, 이희정, 이중한, 이승호
건국대학교 물리학과

1. 서론

마그네타이트(magnetite; Fe_3O_4)는 약 2500년 전 그 존재가 인류에게 알려지기 시작한 이래로 그 자기적 성질과 관련되어 많은 주목의 대상이 되어오고 있는데, 이런 긴 역사와 최근의 많은 실험적, 이론적 연구에도 불구하고 아직 물리적으로 완전히 이해되지 못하고 있다. 이와 같은 마그네타이트는 물질을 구성하는 Fe 이온의 스핀 상태가 그 주위의 O^{2-} 이온의 배치 상태에 따라 달라지는 준강자성을 나타내며, 최근 이론적으로 100%의 carrier 스핀 분극도를 나타낼 수 있음이 알려졌는데, 이에 따라 carrier 들의 전기적, 자기적 성질 측정 및 그 응용성에 관한 연구가 최근 많은 관심의 대상이 되고 있다. 본 연구에서는 마그네타이트에서 Fe가 같은 계열에 있는 전이금속 원소로 치환됨에 따르는 다양한 물리적 성질 변화를 관측하고, 그 결과를 토대로 마그네타이트의 전자구조 특히 carrier 성질에 대하여 고찰하였다.

2. 실험방법

본 연구에 이용된 3d 전이금속($T = \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}$) 치환된 $\text{T}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 박막들은 졸-겔 방법을 이용하여 Si(100) 기판 위에 제작되었다. 제작된 시료들에 대하여 X-ray diffraction(XRD) 측정을 통한 그 격자구조 변화를 조사하였고, X-ray photoelectron spectroscopy(XPS), spectroscopic ellipsometry(SE) 측정 등을 통하여 그 전자구조 관련 성질들을 조사하였다. 또한, magnetic hysteresis 및 magnetoresistance(MR) 특성 조사 등을 통한 자기적 성질 및 그 carrier 관련성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

XRD 측정 결과 모든 전이금속 치환에 대하여 $\text{T}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 화합물들은 $x \leq 1$ 범위에서 입방 spinel 구조를 유지하는 것으로 나타났으며, V 및 Cr 치환의 경우에 비하여 Mn 치환 시 격자 상수의 큰 증가가 나타났다. XPS 측정을 통한 전이금속 2p 준위에 대한 결합에너지 스펙트럼을 조사한 결과, V 및 Cr 치환의 경우 O^{2-} 2p 궤도로부터 전이금속 3d 궤도로의 전하 이동을 통하여 이루어지는 screening 효과에 의한 구조가 그렇지 않은 것에 비하여 두드러지게 나타났다. 이러한 결과를 토대로 V 및 Cr 치환 시, 치환된 이온은 O^{2-} 이온과의 혼성궤도 형성(hybridization)이 용이함을 알 수 있게 된다. 이와 같은 혼성궤도 형성은 화합물 내 carrier의 스핀 상태 및 그 자기적, 전기적 성질 등에 영향을 줄 수 있게 되며, MR 측정 결과 나타나는 치환 원소에 따르는 큰 차이를 설명하여 줄 수 있는 원인으로 이해될 수 있다. 본 연구에서는 또한 시료들에 대한 SE 측정 결과 분석을 통하여 마그네타이트의 광학적 흡수 메커니즘의 원인이 되는 주요한 에너지 준위들의 위치를 파악하였다. 이를 통하여 치환 원소들에 의하여 나타날 수 있는 전자구조 변화 및 이와 관련된 구조적, 자기적 성질의 이해가 가능하다. 또한, 전이금속 치환에 따르는 스핀 분극된 carrier 성질의 변화에 대하여 고찰하였으며, 이를 토대로 MR 측정 결과의 해석을 시도하였다.