

# 수소 이온 조사가 IrMn 반강자성체를 적용한 스핀 밸브의 미세 구조에 미치는 영향 분석

한윤성\*, 이수길, 홍종일

연세대학교 공과대학 신소재공학과, 서울특별시 서대문구 신촌동 134, 120-749

## 1. 서론

스핀 밸브의 거대자기저항, 이방성, 교환 결합력 등의 전자기적 특성 향상을 위해서 일반적으로 사용되는 방법은 스핀 밸브를 증착한 다음 후속 공정으로 진공 자장 열처리를 하는 방법이다. 하지만 자장 열처리 방법 외에도 이온 조사를 통한 스핀 밸브의 물성을 향상시키려는 실험도 많이 진행되어 왔다[1-5]. 최근의 연구에서 수소 이온을 조사한 경우 교환 결합력과 거대자기저항 특성이 동시에 향상된 결과를 관찰하였고, 이는 진공 자장 열처리를 했을 경우보다 거대자기저항비 측면에서 훨씬 향상된 결과임을 보고하였다. 본 발표에서는 그 향상된 원인을 x-ray diffraction (XRD)과 x-ray reflectivity (XRR)를 사용하여 박막의 미세 구조 분석을 통해 조사하였다.

## 2. 실험방법

스핀 밸브는  $4 \times 10^{-6}$  Pa 이하의 기본 진공도를 가지는 DC-magnetron UHV 스퍼터로 증착하였다. 그 구조는 Si/SiO<sub>2</sub> 200/Ta 5/Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> 2/Ir<sub>19</sub>Mn<sub>81</sub> 6/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 3/Cu 2.7/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 2/Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> 2/Cu 1/Ta 5 (nm) 이며, 일축 이방성을 형성하기 위해 증착하는 동안 90 Oe의 자기장을 가해 주었다. 샘플의 종류는 1) 증착 상태 그대로의 기준 샘플, 2) 증착 시 가해진 자기장 방향과 같은 방향으로 5 kOe의 자기장 하에서 250°C에서 1 시간 열처리한 샘플, 3) 550 eV의 에너지( $2.8 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>에 해당)를 가지는 수소 이온을 증착 시 가해진 자기장 방향과 같은 방향으로 400 Oe의 자기장 하에서 20분간 조사한 샘플 등 3 가지 종류로 준비하였다. 스핀 밸브의 전자기적 특성은 상온에서 -5 kOe에서 5 kOe 자기장을 가하며 4-point probe를 이용하여 측정하였다. 미세 구조는 포항가속기 연구소 5A 빔라인의 XRD를 통해서 분석하였다. 스핀 밸브의 계면에서의 intermixing 정도와 roughness를 측정하기 위해 specular 및 diffuse x-ray reflectivity 실험을 추가적으로 11A 빔라인에서 진행하였으며, IrMn 층의 변화를 관찰하기 위해서 Mn edge와 Mn edge에서 200 eV 떨어진 에너지를 가지는 x-ray를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과

4-point probe를 이용한 측정을 통하여 자장 열처리 샘플과 수소 이온 조사 샘플의 교환 결합력은 기준 샘플의 교환 결합력(355 Oe)에 비해 각각 65% (587 Oe), 59% (565 Oe) 증가한 값을 보였고, 거대자기저항비는 기준 샘플 (8.1%)에 비해 각각 8% (8.7%), 19% (9.6%) 증가함을 알 수 있었다. 이는 IrMn 층의 (111) texture와 mosaic spread가 좋아져서 그 면에 존재하는 Mn 원자의 배열에 의해 교환결합력이 증가하였고, 그에 따라 거대자기저항비도 증가한 것임을 알 수 있었다. 하지만 수소 이온 조사 샘플의 경우 자장 열처리 샘플에 비해 약 1% 정도 더 큰 거대자기저항비를 보이는 것에 대해서는 이 이유만으로는 설명할 수 없었다. 거대자기저항 현상은 자성층 내부와 자성층의 계면에서 스핀 의존 산란에 의한 것이기 때문에 defects, interface roughness, intermixing 등에 의해 많은 영향을 받는다. 따라서 이러한 변수들이 거대자기저항비에 미치는 영향을 specular 및 diffuse x-ray reflectivity 측정을 통해서 알아보았다. Specular x-ray reflectivity를 통해서 수소 이온 조사의 경우 샘플의 두께가 증가하였음 (특히, capping Ta layer)을 확인할 수 있었지만 interface roughness의 경우 차이를 발견할 수 없었다. 그리고 diffuse x-ray reflectivity에서 두 샘플 모두 비슷한 기울기를 보이며 intermixing에서도 별다른 차이를 발견할 수 없었다. 측정 결과 두 샘플 모두 interface roughness와 intermixing 정도에서 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 수소 이온 조사를 한

샘플을 같은 조건으로 자장 열처리를 하였을 때 교환결합력이 598 Oe, 거대자기저항비가 8.5%를 보였다. 이는 수소 이온 조사 시 발생한 defects가 자장 열처리 과정에서 완화되어 제거되면서 거대자기저항비가 낮아진 것이라고 생각한다. 그리고 자장 열처리 과정에서 Mn 원자가 다른 층으로 확산되는 것 역시 거대자기저항비의 감소 원인이라고 생각한다.

#### 4. 고찰

스핀 밸브의 거대자기저항비는 자성층의 상대적인 배열에 의하여 결정된다. 구체적으로 자성층 내부 또는 그 계면에서의 스핀 의존 산란에 의해 결정된다. 본 실험에서 스핀 밸브의 대표적인 전자기적 특성인 거대자기저항비와 교환결합력은 자장 열처리와 수소 이온 조사에 의해서 모두 향상된 값을 얻었지만, 특히 수소 이온 조사에 의해 거대자기저항비의 경우 더욱 향상된 값을 획득하였다. 거대자기저항비의 차이를 설명할 수 있는 (111) texture, mosaic spread, interface roughness, intermixing 등에서 두 샘플 모두 비슷한 특성을 보였다. 다만, 수소 이온 조사 이후 자장 열처리를 한 샘플에서 거대자기저항비가 감소하는 경향을 보이며 이는 수소 이온 조사 시 발생한 defects가 열처리 과정에서 완화되었기 때문이라고 생각한다. 그리고 자장 열처리 과정에서 Mn 원자가 다른 층으로 확산되는 것 역시 거대자기저항비의 감소 원인이라고 생각한다.

#### 5. 결론

DC-magnetron UHV 챔버에서 증착된 스핀 밸브의 물성 향상을 위한 방법으로 자장 열처리와 수소 이온 조사 방법을 적용하여 거대자기저항비와 교환결합력이 모두 향상된 결과를 얻을 수 있었다. XRD와 XRR 실험을 통해 수소 이온 조사를 한 경우 더 큰 거대자기저항비를 가지는 이유를 분석하였으며, 이는 수소 이온 조사 시 발생한 defects와 Mn 원자의 확산 방지에 의해 자성층 내부와 그 계면에서 스핀 의존 산란 정도가 증가하였기 때문인 것으로 생각된다.

#### 6. 참고문헌

- [1] C. Chappert, H. Bernas, J. Ferré, V. Kottler, J.-P. Jamet, Y. Chen, E. Cambril, T. Devolder, F. Rousseaux, V. Mathet, and H. Launois, *Science* 280, 1919 (1998).
- [2] D. M. Kelly, I. K. Schuller, V. Korenivski, K. V. Rao, K. K. Larsen, J. Bottiger, E. M. Gyorgy, and R. B. van Dover, *Phys. Rev. B.* 50, 3481 (1994).
- [3] D. Engel, I. Krug, H. Schmoranzer, A. Ehresmann, A. Paetzold, K. Röhl, B. Ocker, W. Maass, *J. Appl. Phys.* 94, 5925 (2003).
- [4] A. Mougín, T. Mewes, M. Jung, D. Engel, A. Ehresmann, H. Schmoranzer, J. Fassbender, and B. Hillebrands, *Phys. Rev. B.* 63, 060409 (2001).
- [5] C.-H. Lai, C. H. Yang, Y. J. Wang, H. Niu, C. Hou, and S. Mao, *J. Appl. Phys.* 91, 7101 (2002).