

Magnetic impurity의 삽입 위치에 따른 MTJ특성 관측

¹주성중,²이제형,¹홍진기,¹이궁원,³이병찬,⁴김태석,²신경호¹ 고려대학교 물리학과²한국과학기술연구원(KIST) 나노소자연구센터³ 인하대학교 물리학과⁴ 서울대학교 물리학과

자기터널접합 (MTJ : magnetic tunnel junction) 소자의 터널링자기저항 (TMR : tunneling magnetoresistance)에 대한 연구가 최근에 많이 실행되었다[1]. 제작기술의 발전으로 60%대의 TMR 값을 갖는 소자제작도 가능해졌다. MTJ 소자 제작과정에서 두 자성금속사이에 산화물질인 부도체를 끼워 넣는데, 이 부도체 형성과정에서 의도적이든 비의도적이든 자성불순물들이 금속과 부도체사이에 만들어질 수가 있다. 60년대에 금속터널접합 소자에서 측정된 전기 전도도 또는 저항에서 관측된 zero-bias anomaly (ZBA)가 바로 산화과정에서 비의도적으로 만들어진 자성불순물에 기인한다[2]. 이후 자성불순물을 의도적으로 두 금속전극사이에 넣으려는 실험이 많이 진행되었고, 자성불순물의 위치가 수송현상에 지대한 영향을 끼치는 것으로 밝혀졌다. 하지만 자성불순물의 인위적인 위치조절은 쉽게 구현되지 못했다. 보다 효율적인 MTJ소자 제작을 위해서도 자성불순물을 조절하는 방법이 필요하다. 여기서는 이런 노하우를 얻기 위해 의도적으로 자성불순물을 소자에 도입하여 물성연구를 하려고 한다.

1964년에 두 가지 다른 금속을 접합한 금속터널접합(metallic tunnel junction) 소자의 동적 전기전도도(dI/dV)를 측정했을 때 zero bias 근처에서 온도에 강하게 의존하는 peak이 존재한다는 실험결과가 발표되었다[2]. dI/dV 또는 dV/dI의 이런 peak구조를 통틀어 ZBA라 부른다. 자성불순물에 대한 Anderson 모델[3]과 Kondo 이론을 이용하여, Appelbaum은 터널접합 소자에서의 전기전도도 ZBA를 섭동이론으로 설명하였다[4]. 그가 사용한 모델에선 자성불순물이 금속-부도체-금속 접합체에서 부도체 내부에 존재하는 것으로 가정하였다. 이론적인 모델 제시 후에 60년대 및 70년도 초반에 많은 실험적인 결과들이 쏟아져 나왔다[5]. ZBA가 전기전도도뿐만 아니라 전기저항에서 나타나는 접합소자들도 만들어졌다. ZBA가 전도도의 peak으로 나타날 경우 자성불순물의 위치가 부도체 내부에 위치하는 것이며 저항의 peak으로 나타나는 경우는 자성 불순물이 계면에 존재하는 것으로 알려졌다. 접합소자에서 자성불순물의 위치를 실험적으로 조절하려는 실험이 한동안 계속 되었지만 그리 성공적이지 못했고, 많은 실험결과들이 명쾌하게 설명되지 않은 상태로 잊혀졌다. 그럴 수밖에 없었던 것은 그 당시에는 이론적으로나 실험적으로나 여건이 성숙되지 않았기 때문이다. 우리는 그 동안 이루어진 여러 가지 발전을 바탕으로 자성불순물의 위치에 따른 MTJ 특성을 관측하고자 한다.

시료는 impurity의 위치를 변화시켜 세 가지 구조로 제작하였다. 제작된 시료의 구조는 A: Si /SiO₂ /Ru /NiFe /IrMn /CoFe /FeZr /CoFe /Al /CoFe /NiFe /Ru, B: Si /SiO₂ /Ru /NiFe /IrMn /CoFe /Al /FeZr /Al /CoFe /NiFe /Ru, C: Si /SiO₂ /Ru /NiFe /IrMn /CoFe /Al /FeZr /CoFe /NiFe /Ru 이다. 고진공조에서 metal mask를 이용하여 시료를 증착한 후, photo mask를 이용하여 lithography공정을 하고, ion milling을 하여 단자를 형성한다. 그리고 photo-lithography 작업으로 junction을 형성한다. 이때 Bottom 단자에 전극을 연결할 수 있도록 PR로 가려 준다. 그 다음 AlOx barrier 전까지, 즉 자유층(CoFe/NiFe/Ru)까지 milling을 한다. 그리고 PR을 남겨둔 그 상태로 AlOx로 passivation을 하여 bottom 단자와 top 단자를 서로 절연시키고, PR을 제거하는 “lift-off 공정”을 한다. 그 위에 다시 photo-lithography 작업을 하여 Top 단자를 증착한다. Tunneling barrier 형성은 plasma oxidation을 사용하였고, 모든 산화막은 마지막 Al 증착 후 형성되었다. 여기서 FeZr을 사용한 이유는, FeZr이 비정질이기에 때문에 산화막 내에서 클러스터를 형성하지 않고 골고루 퍼져 스핀산란자의 역할을 할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 산화막에 자성금속을 뿌릴 경우 클러스터가 형성되어 스핀 산란자의 역할을 제대로 수행하지 못할 것이다. 따라서 우리는 이를 극복할 수 있도록 금속 산화막에 원자형태로 안정성을 갖는 비정질 금속을 사용하여 극미량하면서도 효과적인 스핀산란자 층을 만들어 내려한다.

자성불순물 삽입위치에 따른 시료의 특성을 살펴보면 우선 저항 및 MR의 차이가 난다. 저항은 4-probe measurement system을 이용하여 측정하였으며, 측정결과는 Fig. 1과 같다. 시료 A의 경우 상당히 큰 터널링자기저항(TMR)을 얻었는데, 이는 비정질 금속을 자성층에 삽입하면 계면이 평탄해지기 때문이다.

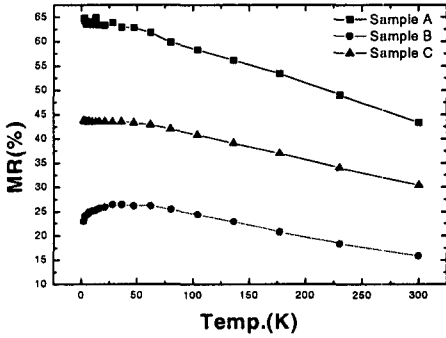


Fig. 1. 각 구조에 따른 MR 변화

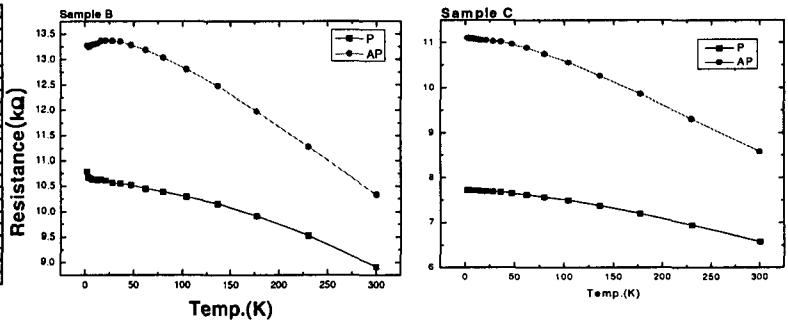


Fig. 2. 시료 B, C에 대한 온도에 따른 저항변화

이 결과에서 시료 A, C는 저온으로 갈수록 MR이 증가하는 전형적인 MTJ의 특성을 보이고 있다. 하지만 시료 B는 저온에서는 온도에 따라 MR이 증가하다가 약 25K 이후부터 감소하기 시작함을 알 수 있다. 시료 B, C에 대한 저항의 온도 의존성은 Fig. 2에 나타내었다. 또한, ZBA의 존재를 보기 위해 dV/dI 를 측정하였다. 측정은 온도, 자기장을 변화시키면서 측정한 결과가 Fig3., Fig4., Fig5이다..

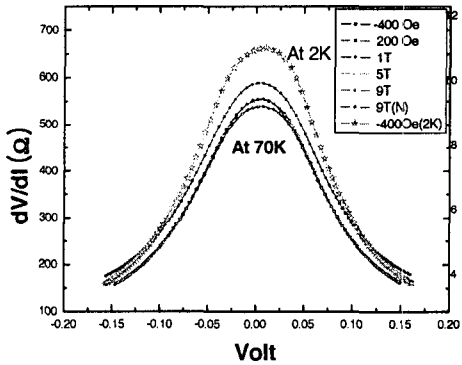


Fig. 3. A 시료의 dV/dI

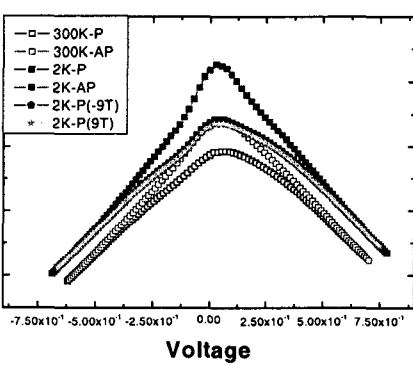


Fig. 4. B 시료의 dV/dI

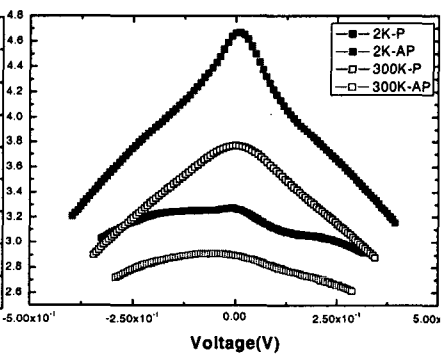


Fig. 5. C 시료의 dV/dI

Reference

- [1] C. H. Shang, J. Norwak, R. Jansen, and J. S. Moodera, Phys. Rev. B 58, R2917 (1998)
- [2] A. F. G. Wyatt, Phys. Rev. Lett. 13, 401 (1964).
- [3] P. W. Anderson, Phys. Rev. Lett. 17, 95 (1966).
- [4] J. A. Appelbaum, Phys. Rev. Lett. 17, 91 (1966).
- [5] J. M. Rowell and L. Y. L. Shen, Phys. Rev. Lett. 17, 15 (1966); A. F. G. Wyatt and D. F. Lythall, Phys. Lett. 25A, 541 (1967); L. Y. L. Shen and J. M. Rowell, Phys. Rev. 165, 566 (1968)