

Large Asymmetric Behavior of the Spin Pumping in High Resistive Materials

김동준^{1*}, 이경동¹, 박병국¹, 김상일², 박승영²

¹Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea

²Division of Materials Science, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea

1. 서론

강자기공명현상(Ferromagnetic Resonance, FMR)은 강자성체의 세차진동수와 외부 교류 자기장의 진동수가 일치하여 공명이 발생하는 현상을 말한다. 공명하는 강자성층에는 마그논(스핀파동)이 생성되며 비자성층이 인접해있는 경우에는 이 마그논이 비자성층으로 주입(펌핑) 되게 된다. 이러한 스핀 전류의 주입은 강한 스핀-오빗 계수를 갖는 Pt이나 Ta과 같은 전극을 사용하여 Inverse Spin Hall Effect(ISHE)에 의해 전압으로 측정이 되는데 이러한 측정을 하는 것을 Spin Pumping 실험이라 한다. 이러한 Spin Pumping에 의해 얻을 수 있는 정보 들로는 Spin Mixing Conductance, Damping Constant, Spin Hall Angle 등의 정보가 있다. 이상적으로 Spin pumping만 존재한다면 전압은 오직 ISHE에 의한 전압만 측정되게 되고 이는 Resonance Field 중심으로 로렌츠 모양의 곡선[1]으로 나타나게 된다. 그러나 최근 Ferromagnetic Metal System에서 비대칭적인 신호가 존재한다는 것이 알려졌다. 이는 Anomalous Hall Effect (AHE) [1] 혹은 Anisotropic Magnetoresistance (AMR) [2,3]에 의해 발생한다고 언급되고 있으나 확실한 답은 아직 모르는 상황이다. 특히, Ferromagnetic Metal (FM)/Nonmagnetic Metal (NM) Bilayer System 에서는 ISHE 신호에, 이러한 비대칭적인 신호가 같이 혼재하게 되는 현상이 최근 발견되어서 원하는 정보를 얻는데 어려움을 겪고 있는 상황이다. 이런 문제점을 해결하기 위해 우리는 CoFeB/NM System에서 강자기공명현상 특성을 조사하였다. 구조적인 순서를 바꾸어서 얻은 신호를 가감함으로써, Ta 같은 높은 저항을 가지는 물질의 Bilayer 에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 없을 정도로 크고, Pt 같은 낮은 저항을 가지는 물질의 Bilayer 에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 있을 정도로 작음을 확인할 수 있었다. 또한 자료 분석을 통해서 대칭적인 기여와 비대칭적인 기여를 구분하고 이 정보들로 순수한 Spin Pumping에 의한 신호를 얻는 방법을 보이고 구조 순서 변화에 대한 신호들을 빼주었을 때와 비교함으로써 실험결과가 이론과 잘 맞음을 확인할 수 있었다.

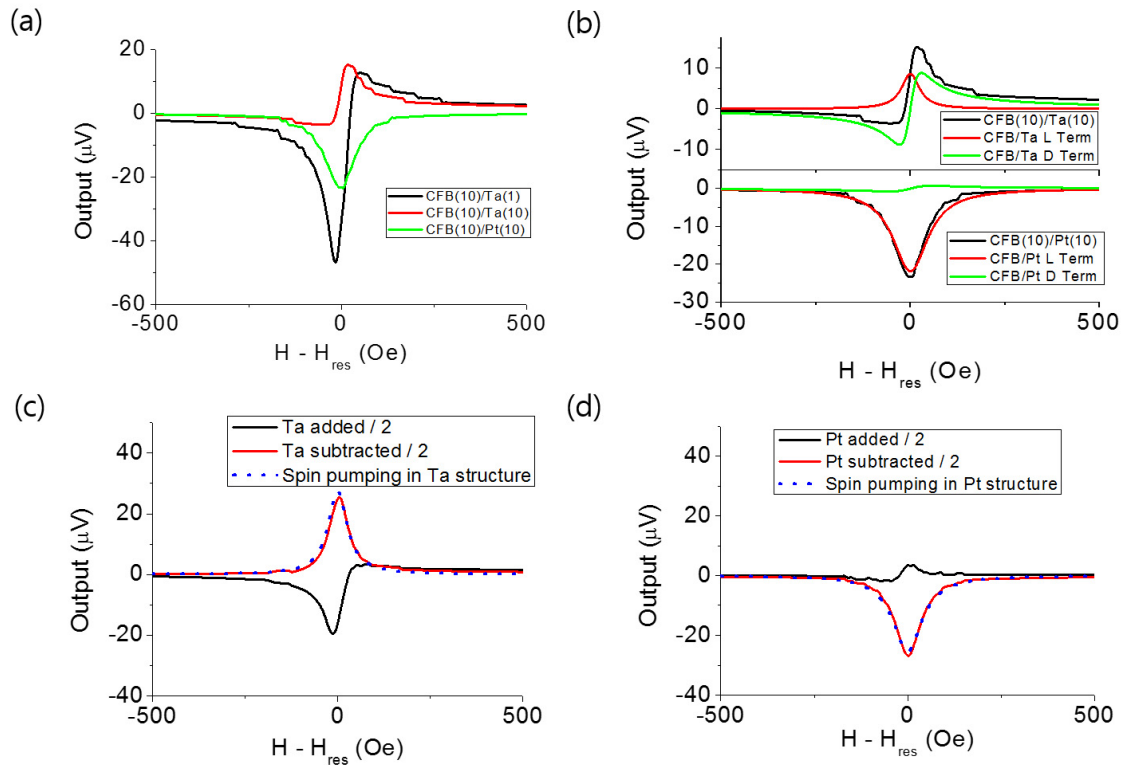
2. 실험방법

이 실험에 쓰인 시편은 200 nm의 열적으로 산화된 SiO₂를 가진 Si 기판을 사용하였고 그 위의 구조는 UHV Sputtering System을 이용해서 증착을 진행하였다. 실험에서 쓰인 구조는 Co₃₂Fe₄₈B₂₀(10nm)/NM(10nm), NM(10)/CoFeB(10)/Ta(1), CoFeB(10)/Ta(1)의 구조를 사용했다. Ta(1)는 CoFeB의 산화를 막기 위해 증착되어졌고 NM 층은 저항차이가 크게 나는 Ta와 Pt를 사용하였다. 구조를 만들기 위해서는 Photolithography, 그 후 Ion Miller로 식각을 함으로써 구조를 만들었다. Sample을 만든 후 원통형 공명기 내에 공명주파수에 해당하는 교류자기장을 인가함으로써 스핀의 공명현상이 일어나게 만들어 주었고 이를 반사율과 전압을 측정함으로써 각각 자기공명 흡수 신호와 공명이 일어났을 때의 전압을 얻을 수 있었다.

3. 실험결과 및 고찰

Pt 같은 저항이 작은 물질이 증착 되어있는 Bilayer 같은 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 적은 것을 확인할 수 있었고 이 때문에 전압을 측정하면 Spin Pumping 신호인 로렌츠 모양의 곡선을 잘 보임을 확인할

수 있다. Ta같은 저항이 큰 물질이 증착 되어있는 Bilayer의 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 매우 큼을 확인할 수 있었고 이에 의해 스핀주입 신호인 로렌츠 모양의 곡선이 묻혀버리게 되어 신호가 섞여 있는 현상을 발견할 수 있었다. 이를 구별하기 위해 단순히 위, 아래의 적층순서를 바꾸어 주어서 간단하게 이들 신호를 구분하려고 했고, 예상처럼 이들 구조에서 나온 신호를 각각 더하였을 때는 비대칭적인 모양의 신호를, 그리고 빼주었을 때 Spin Pumping 신호를 얻을 수 있었다. 이러한 신호와 자료 분석을 통해서 얻은 순수한 Spin Pumping 성분을 구해서 비교를 하여 아래에 첨부하였다. 이 순수한 Spin Pumping 신호는 Lorentz 성분과 Dispersive 성분을 나누어 준 후 Reference와의 비교를 통해 구해졌다. 이로 인해 Data가 서로 잘 일치함을 확인할 수 있고 추가로 최근의 연구에서 잘 알려진 것처럼 Ta와 Pt의 경우에서 각각 Spin Hall Angle이 각각 부호가 반대임을 확인할 수 있었다[4]. 이로 인해 우리들의 해석이 합당함을 간접적으로 증명할 수 있었다.



[Fig 1] (a) Voltage comparison of three different structures. (b) Lorentz Term and Dispersive Term of CoFeB/Ta (top panel) and CoFeB/Pt. (bottom panel) (c) Added and subtracted voltage vs. spin pumping signal in a Ta system. (d) Added and subtracted voltage vs. spin pumping signal in a Pt System.

4. 참고문헌

- [1] S. Isogami *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 063004 (2013).
- [2] A. Azevedo *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 144402 (2011).
- [3] J. C. Rojas-Sanchez *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 064403 (2013).
- [4] H. L. Wang *et al.*, arXiv:1307.2648