

Analysis of Inverse Spin Hall Effect from Spin Pumping in CoFeB/non-magnetic structures

김동준^{1*}, 김상일², 이경동¹, 박승영², 박병국¹

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

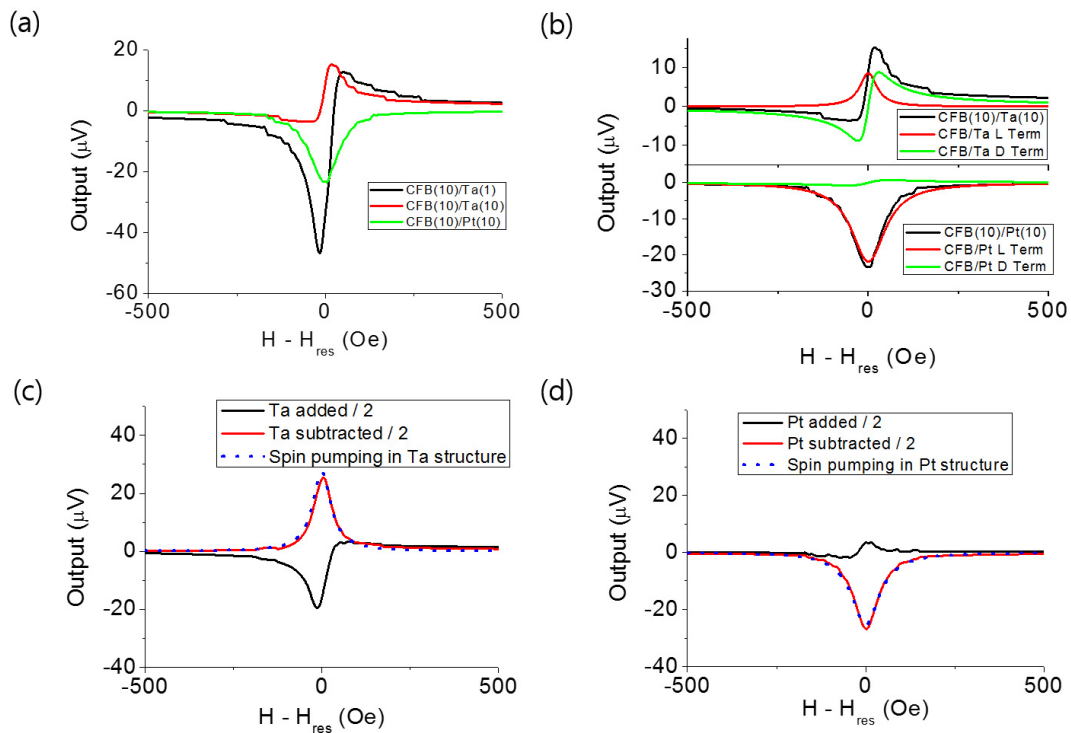
강자기공명현상(Ferromagnetic Resonance, FMR)은 강자성체의 세차진동수와 외부 교류 자기장의 진동수가 일치하여 공명이 발생하는 현상을 말한다. 공명하는 강자성층에는 마그논(스핀파동)이 생성되며 비자성층이 인접해있는 경우에는 이 마그논이 비자성층으로 주입(펌핑) 되게 된다. 이러한 스핀 전류의 주입은 강한 스핀-오빗 계수를 갖는 Pt이나 Ta과 같은 전극을 사용하여 Inverse Spin Hall Effect(ISHE)에 의해 전압으로 측정이 되는데 이러한 측정을 하는 것을 Spin Pumping 실험이라 한다. 이러한 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 나타나야 한다. 그러나 최근 Ferromagnetic Metal System에서의 실험결과에서 비대칭적인 신호가 존재한다는 것이 알려졌다. 이는 Anomalous Hall Effect (AHE) [1] 혹은 Anisotropic Magnetoresistance (AMR) [2,3]에 의해 발생한다고 언급되고 있으나 현재까지는 명확한 규명이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, Ferromagnetic Metal (FM)/Nonmagnetic Metal (NM) Bilayer System 에서는 ISHE 신호에, 이러한 비대칭적인 신호가 같이 혼재하게 되는 현상이 최근 발견되어 정확한 정보를 얻는데 어려움을 겪고 있다. 이와 같은 문제점을 고찰하기 위해, 본 연구에서는 CoFeB/NM System에서의 강자기공명현상 특성이 조사되어졌다. 실험 결과, 구조적인 순서변화에 따른 신호의 가감을 통해 Ta처럼 비교적 높은 저항을 가지는 물질의 Bilayer 구조에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 없을 정도로 컸으며, Pt처럼 비교적 낮은 저항을 가지는 물질에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 있을 정도로 작음을 확인할 수 있었다. 또한 자료 분석을 통해서 대칭/비대칭적인 기여를 구분하고, 이 정보들로 얻은 순수한 Spin Pumping에 의한 신호를 구조순서 변화에 대한 신호 들을 빼주었을 때의 결과와 비교함으로써 두 방법으로 분석한 결과가 서로 잘 일치함을 확인 할 수 있었다.

2. 실험방법

본 실험은 UHV Sputtering System을 이용하여 Si/SiO₂(200nm) 기판위에 Co₃₂Fe₄₈B₂₀(10nm) /NM(10nm), NM(10)/CoFeB(10)/Ta(1), CoFeB(10)/Ta(1)의 구조를 가지도록 증착하였다. Ta(1)는 CoFeB의 산화를 막기 위해 증착되어졌고 NM 층은 저항차이가 크게 나는 Ta와 Pt를 사용하였다. 자기적 특성 측정을 위한 Sample의 구조는 Photolithography 및 Ion Milling etching을 통해 제작되었다. Sample을 만든 후에는 원통형 공명기 내에 넣고 공명주파수에 해당하는 교류자기장을 인가함에 따라 스핀의 공명현상이 일어나게 하였고, 이에 따른 반사율과 전압을 측정함으로써 각각 자기공명 흡수 신호와 공명이 일어났을 때의 전압을 측정하였다

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)에서 보면 저항이 작은 Pt을 전극으로 가진 Bilayer 같은 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 적은 것을 확인 할 수 있었고 이 때문에 전압을 측정하면 Spin Pumping 신호인 로렌츠 모양의 곡선을 잘 보임을 확인할 수 있다. 반면에 저항이 큰 Ta 전극의 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, 이들 구조에서 나온 신호의 차이를 구하여 비대칭적인 신호를 제거하고 순수한 대칭의 Spin Pumping 신호를 얻을 수 있었다(그림 1(c, d)). 이러한 방법으로 구한 spin pumping 신호를 비교하기 위해서 또 다른 분석 방법으로 처음 신호에서 CoFeB의 기여를 제거하여 spin pumping 신호를 구하였다. 두 방법으로 분석한 결과가 서로 잘 일치함을 확인 할 수 있었고, 이로 인해 spin pumping 신호를 분석하는데 전극의 저항에 따라서 자성물질에서 발생하는 추가적인 신호를 필수적으로 고려를 해 주어야 한다는 결론을 얻었다.



[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).