

공명기에서 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과의 비가역적인 거동

김상일*, 서민수, 박승영

물성과학연구부, 한국기초과학지원연구원, 대전 305-806, 대한민국

1. 서론

역 스핀 홀 효과를 이용한 스핀 전류의 생성과 측정은 응용 스핀트로닉스 소자의 연구에 중요한 기술로 대두 되고 있다. 최근에 역 스핀 홀 효과가 Py/Pt 샘플에서 스핀 펌핑 방법을 통해서 관측이 되었다[1]. 스핀 펌핑 방법은 강자성 공명 조건하에 세차 운동하는 자화로부터 스핀 전류가 생성되게 하는 방법이고, 역 스핀 홀 효과는 생성된 스핀 전류를 검출하는 방법이다. 이와 같이 검출하는 역 스핀 홀 효과는 TE_{011} 와 TE_{102} 공명기 내부의 정 중앙에 샘플을 놓고 측정 한다. 공명기의 정 중앙에서는 자기장은 최대가 되고, 전기장은 최소가 된다. 그러나 샘플의 위치가 공명기의 정 중앙으로부터 이탈하게 되면, 잔류 전기장이 샘플에 영향을 주게 된다. 따라서 잔류 전기장으로부터 생성된 이상 홀 효과가 역 스핀 홀 효과 측정을 방해 한다는 연구 결과가 발표 되었다[2]. 공명기 모드[3]와 샘플의 최적의 위치 선택은 역 스핀 홀 효과 성분의 순도 향상을 위해서 중요하다. 또한 이러한 순도 향상을 통해서 최근에 많이 논의가 되는 스핀 홀 각도 인자를 보다 정확하게 유추 할 수 있다[4].

2. 실험방법

강자성 공명 조건 하에 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과로부터 발생하는 직류 전압(V)을 자기장 (H) 주사 방향(H_{LH} : Low H to High H , H_{HL} : High H to Low H)에 따라 $TE_{011(102)}$ 공명기 모드에서 CoFeB(5 nm)/Pt(10 nm) 샘플을 이용하여 측정 하였다. 그리고, 각각의 공명기 모드에서 얻어진 전압 결과를 분석식을 이용하여 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과를 분리한다. 최종적으로, 이상 홀 효과의 이력현상 분석을 통해 순수한 역 스핀 홀 효과에서 기인한 전압을 얻는다.

3. 실험결과

직류 전압을 측정하기 위해서 샘플의 위치는 각 공명기 내부의 전기장이 최소가 되는 정 중앙에 놓고 실험 하였다. 그림 1의 결과는 TE_{102} 모드 공명기에서 측정된 V 의 결과를 간단한 수식($V=A_{SHE}+B_{AHE}$) [1,3]을 통해서 분석한 결과이다. 그림 2의 결과도 TE_{011} 모드 공명기에서 측정된 V 의 결과를 수식을 통해서 분석한 결과를 보인 것이다. 여기에서, V 는 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과가 합쳐진 총 전압 값이다. 그림 1(2)의 결과를 보면 H_{LH} 혹은 H_{HL} 로 H 을 가하면, 이력 현상이 관찰됨을 확인 할 수 있다. 기존에 스핀 펌핑을 이용한 V 측정 실험에서는 H_{LH} 의 조건 하에 실험 결과를 얻었지만, H 주사 방향을 달리 함에 따라 이상 홀 효과를 배제한 순수한 역 스핀 홀 효과에서 기인한 전압 값을 추출 할 수 있게 되었다.

4. 참고문헌

- [1] E. Saitoh et al., Appl. Phys. Lett., **88**, 182509 (2006).
- [2] K. Harii et al., J. Appl. Phys., **103**, 07F311 (2008).
- [3] S. Kim et al., J. Appl. Phys., **115**, 17C501 (2014).
- [4] H. Y. Hung et al., J. Appl. Phys., **113**, 17C507 (2013).

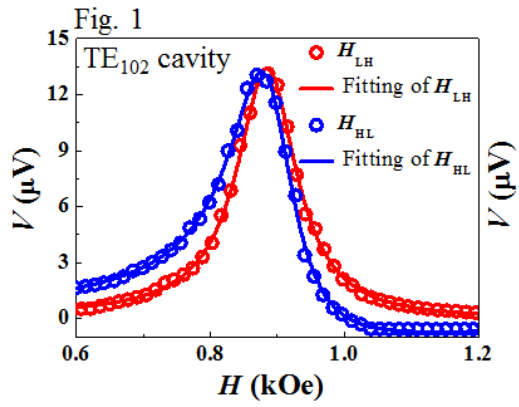


그림 1. TE₁₀₂ 모드 공명기에서 H_{LH} 혹은 H_{HL} 인가하면서 측정한 V 결과.

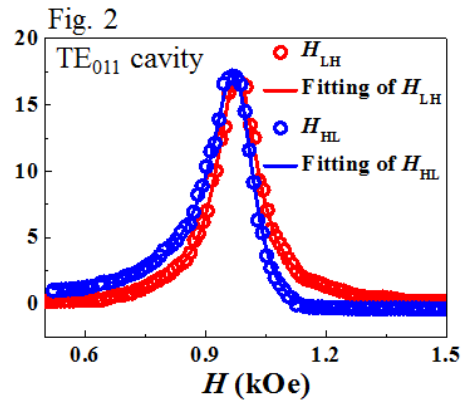


그림 2. TE₀₁₁ 모드 공명기에서 H_{LH} 혹은 H_{HL} 인가하면서 측정한 V 결과.