

강자성 공명 스핀 펌핑 전압의 이력현상 분석

김상일^{1,2,*}, 서민수², 최연석², 조영훈², 박승영²

¹고려대학교, 신소재공학부

²한국기초과학지원연구원, 스핀공학물리연구팀

1. 서론

전하 전류를 스핀 전류로 변환하는 스핀 홀 효과는 스핀트로닉스 응용 연구 분야에서 효율적인 전자스핀 제어를 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다[1]. 일반적으로 스핀 홀 효과는 스핀-궤도 결합 크기와 연관된 물질 상수(전하-스핀 변환 효율: θ_{SH})로 수량화 된다[2]. 스핀 홀 효과의 폭 넓은 이해와 새로운 스핀트로닉스 소자의 응용 측면에서 θ_{SH} 의 정확한 계측은 대단히 중요하다. 강자성/비자성 이중 접합 시료에서 강자성 공명조건 하에 스핀 펌핑된 스핀 전류는 비자성 층 내부에서 역 스핀 홀 효과에 기인한 전하 전류로 변환된다. 이러한 직류 전압 측정을 통해 비자성 물질의 θ_{SH} 값을 얻을 수 있다. 그러나 이때 측정되는 직류 전압에는 스핀 정류 효과(이방성 자기 저항 혹은 비정상적인 홀 효과)에 의한 원치 않는 직류 전압도 함께 측정되므로 순수한 역 스핀 홀 효과로부터 생성되는 전압 측정에 어려움이 따른다[3-6]. 또한 한 물질에서 얻어지는 θ_{SH} 값이 시료의 두께, 기관의 종류, 공명기 모드, 자기장 주사 방향 등에 따라 상이한 결과를 보일 수 있어 실험 설계의 엄밀함이 요구된다. 본 연구에서는 직류 전압의 이력현상 분석을 통해 θ_{SH} 값의 적합성을 향상 시켰다.

2. 실험방법

역 스핀 홀 효과로부터 생성된 전압의 자기장 주사 방향 의존성을 조사했다. 이를 위해 CoFeB(5nm)/Pt(10nm) 구조의 이중 접합 시료를 TE011 모드 공명기의 정중앙에 위치시키고, 자기장을 양방향(자기장의 증가(H^+) 혹은 감소(H^-))으로 순차적으로 인가하여 강자성 공명(dI/dH vs. H)과 직류 전압(V vs. H)을 측정했다.

3. 실험결과

자기장을 증가 혹은 감소시킴에 따라 그림 1과 같은 비가역적인 공명 곡선과 이에 상응하는 전압 곡선을 얻었다. 이전의 실험 방법들은 자기장을 한 방향으로만 인가한 상태에서 전압을 측정하였지만, 실제로 자기장을 양방향으로 인가함에 따른 이력현상이 나타났다. 그림 1(b)의 전압 곡선을 분석하기 위해 아래의 수식을 사용했다.

$$V_{DC} = V_{ISHE} \frac{\Delta H^2}{(H - H_0)^2 + \Delta H^2} + V_{SRE} \frac{-2\Delta H(H - H_0)}{(H - H_0)^2 + \Delta H^2}$$

측정된 직류 전압에서 첫 번째 항은 역 스핀 홀 효과로부터 발생되고, 두 번째 항은 스핀 정류 효과로부터 발생된다. 여기에서 H_0 는 공명 자기장, ΔH 는 강자성 공명 곡선의 선포이다.

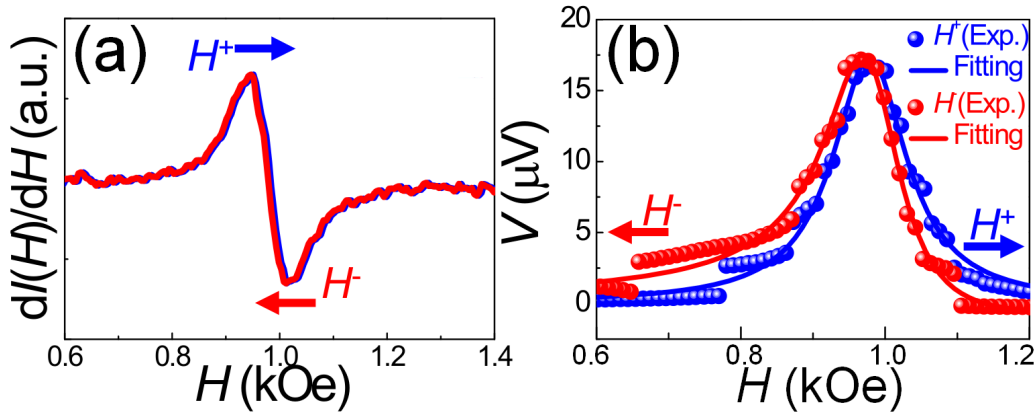


그림 1. Pt 전극을 사용하는 CoFeB 박막에서 자기장 주사 방향에 따른 (a)강자성 공명과 (b)스핀 펌핑에 의한 전압 출력 곡선

4. 고찰

총 전압(V_{DC})은 마이크로파 전력에 비례하고, 역 스핀 홀 효과와 스핀 정류 효과로부터 생긴 각각의 전압 (V_{ISHE} , V_{SRE}) 역시 총 전압의 진폭에 비례한다. 또한 $V_{DC} = R \times V_{ISHE} + (1-R) \times V_{SRE}$ 의 관계식이 성립한다. 자기장 조사 방향에 따른 V_{ISHE} , V_{SRE} 의 비율은 서로 상이하나, R 은 일치하는 결과를 얻었고, 이를 통해 V_{ISHE} , V_{SRE} 의 비율 곡선의 기울기를 추출할 수 있었으며, 결과적으로 역 스핀 홀 효과가 전적으로 일어나는 조건($R = 1$)에 해당하는 전압($V_{ISHE} = 17.5 \mu V$)과 $\theta_{SH} = 0.03$ 값을 얻을 수 있었다.

5. 결론

전압의 이력현상 분석을 통해서 스핀 정류 효과가 억제된 조건($R = 1$)하에 품질이 향상된 θ_{SH} 값($=0.03$ for Pt)을 얻을 수 있었다.

6. 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] S. Kim et al., J. Appl. Phys., **117**, 17D901 (2015).
- [5] S. Kim et al., Appl. Phys. Lett., **106**, 032409 (2015).
- [6] H. Y. Hung et al., J. Appl. Phys., **113**, 17C507 (2013).