

## 3d, 4d, 5d 전이금속을 이용한 Co 수직 자성 초박막의 스핀궤도 돌림힘과 Dzyaloshinskii-Moriya 상호작용

조정구<sup>1\*</sup>, 황현석<sup>1</sup>, 김대연<sup>1</sup>, 윤상준<sup>1</sup>, 김덕호<sup>1</sup>, 문준<sup>1</sup>, 제송근<sup>1</sup>, 최석봉<sup>1</sup>, 오영완<sup>2</sup>, 박병국<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 물리천문학부

<sup>2</sup>한국과학기술원

전류인가 자구벽 운동은 차세대 고집적, 저전력 소자 메모리의 구현 원리로 주목 받고 있다. 특히 Dzyaloshinskii-Moriya(DM)상호작용이 수직자성 초박막에서 자구벽 구조에 존재함이 밝혀지면서 그 응용 범위가 점차 넓어지고 있다. 이는 자성층과 비자성-중금속 물질 내부에 전류전 흐를 때 발생하는 스핀 홀-스핀궤도 돌림힘에 의한 자구벽 이동현상에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 즉, 수직자성 초박막의 DM상호작용과 스핀궤도 돌림힘의 물리적 원리를 규명이 중요할 뿐 아니라 차세대 고집적, 저전력 소자 메모리를 구현하는데 핵심적인 원리를 구현 할 것으로 기대 되고 있다. 본 연구는 다양한 수직 자성 초박막에서 DM상호작용과 스핀궤도 돌림힘을 연구하기 위해 Ta 5nm / Pt 2.5nm / Co 0.6 nm / X (5nm) [X= Ti(3d), Cu(3d), Ru(4d), Pd(4d), Ta(5d), W(5d), Au(5d)] 의 구조의 수직 자성 초박막을 제작하였다. 이렇게 제작된 수직 자성 초박막은 기존에 보고된 비대칭 자구벽 확장법을 이용하여 평면 자기장과 자구벽 속도에 대한 관계로 유효 DM 자기장을 측정할 수 있다.[그림 1.] 이후,  $w$ - $2w$  전기 측정방법을 사용하여 스핀 궤도 돌림힘을 측정할 수 있다. 이로부터 3d, 4d, 5d 전이금속 에 따른 자성 초박막의 DM 상호작용과 스핀궤도 돌림힘의 경향성을 보고하고자 한다.

Current-induced domain-wall motion has been intensively studied over the last decades due to its promising application toward high-density and low-energy-consumption memory and logic devices. Recently, it has been found that the efficiency of the domain-wall motion can be largely enhanced by the spin-orbit torque (SOT) [1] combined with the Dzyaloshinskii-Moria interaction (DMI) [2]. In presence of the DMI caused by a broken symmetry in heavy-metal/ferromagnetic interfaces [3], the Neel-type domain-wall structure is stabilized, which then results in the domain-wall motion driven by the SOT via the spin Hall current from non-ferromagnetic heavy metals [4]. It is therefore radical to analyze the sign and magnitude of the DMI and SOT to understand their physical origin as well as to achieve memory and logic devices. In this study, we investigate the DMI and SOT of various metallic ferromagnetic films, of which the structures are Ta(5 nm)/Pt(2.5 nm)/Co(0.6 nm)/X(1.5 nm) films with various choice of X by Ti(3d), Cu(3d), Ru(4d), Pd(4d), Ta(5d), W(5d), Au(5d), and Mg. The sign and magnitude of the DMI are then measured from the asymmetric domain-wall expansion [3] as shown by Fig. 1. Figure 1 shows the asymmetric domain-wall expansion image (inset) and the domain-wall speed  $v$  with respect to the in-plane magnetic field  $H_x$ , from which the magnitude of the DMI-induced effective field  $H_{DMI}$  is determined by observing the inversion symmetry axis. The figure clearly shows that  $H_{DMI}$  is sensitive to the composition of X. The SOT is then measured by the  $w$ - $2w$  measurement method [5], as exemplified by Fig. 2 for the sample with the choice of X by Ta. The tendency of SOT and DMI will be provided a designing rule for engineering new spintronics devices.