

## 정자기장적 관점에서 본 합성수직기록매체의 구조적 제한 (Structural Limitation on Composite Perpendicular Media in Magnetostatic point of view)

김우진\*, 이성철, 이택동  
대전 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 신소재공학과

### 1. 서론

수평자기기록 방식은 200-300 Gbit/in.<sup>2</sup> 정도의 한계를 가지고 있다. 더 높은 기록 밀도를 얻기 위해서 약 20년 전 수직자기기록 방식이 제안되었고, 현재 1 Tbit/in.<sup>2</sup>의 기록밀도까지 가능할 것으로 예상된다. 기록밀도를 높이기 위해서는 ordered FePt 합금과 같은 매우 높은 Ku(Ku, 자기이방성상수)가 기록매체에 요구된다. 그러나 대략 Ku/Ms에 비례하는 writing field가 현재 얻을 수 있는 수직자기기록헤드의 writing field보다 훨씬 높다는 심각한 문제점이 있다.

이 문제를 해결하기 위해서 기록매체의 easy axis가 수직방향에 대해 45° 기울어 있는 tilted magnetic recording 방식이 제안되었고 이를 통해서 통상의 수직기록의 경우보다 절반에 불과한 switching field를 얻을 수 있다는 결과가 보고되었다.[1] 그러나 tilted media는 이러한 장점에도 불구하고 제조상의 어려움 때문에 실제 적용이 힘들다. 따라서 제조가 용이하면서도 tilted media의 장점을 갖춘 새로운 매체를 찾는 노력이 필요하다.

이와 같은 조건을 만족시키기 위해 최근 제안된 구조가 수직적으로 exchange-coupled된 Hard magnetic Recording layer(RL)와 Soft/Semi-hard magnetic layer(SHL)로 구성된 합성수직자기기록매체이다.[2][3] 이 이중층 구조는 수직방향으로 인접한 SHL과 RL의 grain이 exchange-coupled되어 있기 때문에 이전에 제안되었던 기록층과 분리된 Soft magnetic Under Layer(SUL)가 사용된 구조와는 다르다. 적절히 exchange-coupled 되었을 경우, SHL의 자화가 외부자장에 의해 먼저 회전하게 되면 RL에 exchange field가 가해져서 RL의 자화가 기울어져 회전이 용이해지게 된다. 또한 SHL에서 나오는 magnetostatic field 또한 RL의 자화의 회전에 기여한다.

이미 연구된 결과에 따르면, RL과 SHL 사이의 Jex (interlayer coupling constant)가 클수록 좋은 특성을 나타낸다고 한다. 그러나 실제 제조시 SHL 위에 RL을 증착하려면 seed layer가 필요한데, 이는 Jex를 감소시키는 결과를 가져온다. 하지만 RL 위에 SHL을 증착시킬 때에는 직접 증착할 수 있기 때문에 제조가 용이하고 큰 Jex 값을 얻을 수 있다. 실제로 이 구조를 구현한 매체로 수행된 각종 실험 결과가 보고되었다.[4] 그런데 이와 같은 SHL/RL 구조에서는 SHL의 magnetostatic field에 의한 switching field의 이득을 얻지 못할 뿐 아니라, 오히려 switching field의 반대방향으로 작용하는 magnetostatic field에 의해 switching field의 손해를 겪게 된다. 따라서 SHL/RL 구조는 exchange field의 증가에 의한 switching field의 이득이 magnetostatic field에 의한 손해보다 더 커야 RL/SHL 구조보다 더 좋은 writing 특성을 얻을 수 있다.

### 2. 실험방법

RL과 SHL을 비롯하여 Soft UnderLayer(SUL)와 Single Pole Head(SPH)를 포함하는 system에 대해서 RL/SHL/SUL 구조와 SHL/RL/SUL 구조에서 SPH에 의한 writing을 micromagnetics를 이용하여 모사하였다. RL과 SHL의 두께는 각각 10 nm이고 unit cell size는 7×7×10 nm<sup>3</sup>이다. RL의 anisotropy constant(Ku)는 3.8×10<sup>6</sup> erg/cm<sup>3</sup>, SHL의 Ku는 1.0×10<sup>5</sup> erg/cm<sup>3</sup>, 두 층 사이의 interlayer exchange constant(Jex)는 1.0×10<sup>-6</sup> erg/cm로 가정하였다.

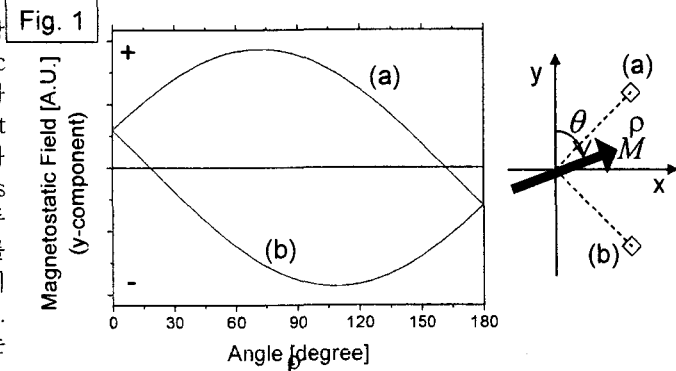
각 구조에서 7개의 bit를 기록한 후 SPH가 최대한 saturated되었을 때 SPH의 중심의 바로 아래 위치한 RL에서의 SHL에 의한 magnetostatic field를 얻어서 down track direction에 따라 기록하였다. 또한 이를 SHL의 out-of-plane magnetization component와 in-plane magnetization component에 의한 영향을 분리하여 기록하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

SHL의 magnetization이 위층과 아래층에 서로 다른 field를 가하게 되는 것은 쉽게 예상할 수 있다. Magnetic moment에 의한 r위치에서의 magnetic field는 equation 1 과 같이 주어진다. 이를 Fig. 1

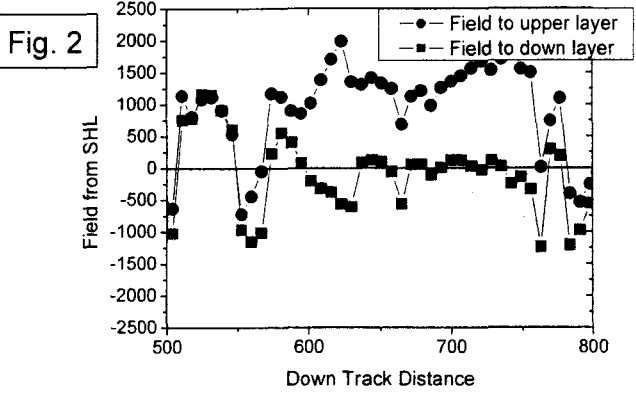
$$\text{Equation 1 : } \vec{H} = -\frac{1}{4\pi\mu_0} \left[ \frac{\vec{M}}{r^3} - \frac{3}{r^5} (\vec{M} \cdot \vec{r}) \frac{\vec{r}}{r} \right]$$

과 같이 magnetic moment의 대각선 방향의 위치 (a), (b)에서 magnetic moment가 회전하는 각도에 따라 계산하여 magnetostatic field의 y-component만 구하면 Fig. 1의 그래프와 같은 결과를 얻는다. Magnetic moment가 y-axis와 평행할 때에는 두 경우 모두 magnetic moment와 같은 방향의 field를 받지만 magnetic moment가 회전함에 따라 (b)는 -y 방향의 field를 받게 된다.



Magnetostatic field by  $\vec{M}$  at the origin to the points (a) and (b) located in diagonal direction w.r.t. x- and y-axis.

이와 같은 매우 간단한 경우의 결과는 composite media에서의 perpendicular magnetic recording에서도 똑같이 적용된다. Fig. 2에서 SPH는 약 630nm에 위치하고 있다. SHL이 RL 위에 있을 때에는 SHL의 field가 1000-1500 Oe 정도 이득을 얻고 있지만 SHL이 아래에 있을 때에는 거의 이득이 없다. 게다가 실제 writing이 일어나는 SPH의 edge 부근에서는 500 Oe 정도의 손해가 발생한다.



#### 4. 결론

Interlayer exchange field의 이득을 극대화하기 위해서 SHL을 RL 위에 두기 위해서는 그 이득이 magnetostatic field의 손해를 감쇄시킬 수 있을 만큼 충분히 커야 한다. 또는 SHL의 magnetization이 충분히 수직방향으로 향할 수 있도록 SHL의 Ku가 커서 magnetostatic field에 의한 손해가 발생하지 않도록 해야한다.

#### 5. 참고문헌

- [1] K. Z. Gao et al., IEEE Trans. Magn. 38, 3675 (2002)
- [2] R. H. Victora et al., IEEE Trans. Magn. 41, 537 (2005)
- [3] W. K. Shen et al., Journal of Applied Physics 97, 10N513 (2005)
- [4] J. P. Wang et. al., Applied Physics Letters 86, 142504 (2005)