

하드 마스크를 이용한 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 고밀도 반응성 이온 식각

신 별, 박익현, 정지원*
 인하대학교 화학공학과
 (cwchung@inha.ac.kr*)

High density reactive ion etching of CoTb and CoZrNb magnetic thin films using a hard mask

Byul Shin, Ik Hyun Park, Chee Won Chung*
 Department of Chemical Engineering, Inha University
 (cwchung@inha.ac.kr*)

서론

최근에 차세대 반도체 메모리 소자로서 magnetoresistive random access memory (MRAM)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 특히 MRAM의 magnetic tunnel junction (MTJ) stack을 구성하는 자성 재료의 건식 식각에 대한 연구에서는 좋은 식각 프로파일을 얻고, 재증착의 문제를 해결하기 위한 노력이 계속해서 진행되고 있다[3,4]. 일반적인 photolithography에 의하여 pattern된 photoresist (PR) 마스크는 두께가 두껍고 식각 속도가 빠른 특징을 갖는다. PR 마스크의 사용은 식각 잔유물에 의한 MTJ stack의 측면에 재증착 현상을 유발한다. 그리고 PR 마스크의 빠른 식각 속도는 식각 속도가 느린 자성 박막을 식각하는데 있어서 낮은 식각 선택도를 나타내고 결과적으로 낮은 식각 경사를 보이게 된다. 이러한 PR 마스크의 특징들은 MRAM 소자의 특성을 저하시키고 고집적화를 방해할 수 있는 요인이 되는 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 하드 마스크를 이용하여 패터닝된 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 식각 특성을 유도 결합 플라즈마를 이용한 고밀도 반응성 이온 식각 방법을 통하여 조사하였다. 하드 마스크 물질로써 TiN 박막이 선정되었고 각 자성 박막에 대한 식각 선택도를 조사한 결과 모두 PR에 대한 선택도보다 개선되었다. 또한 TiN 하드 마스크를 이용하여 CoZrNb 자성 박막을 식각한 결과 깨끗하고 수직인 식각 프로파일을 얻을 수 있었다.

실험

본 연구에서는 고진공에서 고밀도 플라즈마를 이용하는 유도 결합 플라즈마 (ICP) 건식 식각 장비를 사용하여 CoTb과 CoZrNb 자성 박막을 식각하였다. ICP 시스템은 크게 load lock chamber, process chamber와 substrate susceptor로 구성되어 있다[5]. 실험에서 사용된 CoTb과 CoZrNb 자성 박막들은 dc 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 SiO₂/Si (6 inch) 기판 위에 각각 두께 2000 Å으로 증착되었고, 이 때 CoTb 박막은 산화 방지를 위한 capping layer로써 100 Å의 Ta를 증착해주었다. 하드 마스크인

2000 Å 두께의 TiN 박막은 photolithography 공정을 통해서 패터닝 한 후 $\text{Cl}_2/\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 가스를 이용하여 ICP 반응성 이온 식각 방법을 이용하여 패터닝되었다.

본 실험에서는 $\text{O}_2/\text{Cl}_2/\text{Ar}$ 가스를 선택하여 O_2 가스의 농도의 변화에 따른 식각 속도와 식각 프로파일이 관찰되었다. 자성 박막의 식각 속도는 dektak surface profiler를 이용하였고 식각 전후 박막의 두께를 측정함으로써 계산되었다. 식각 프로파일은 field emission scanning electron microscopy (FESEM)를 사용하여 관찰되었고 식각 후 패턴 표면의 성분을 분석하기 위하여 Auger electron spectroscopy (AES)를 사용하였다.

결과 및 토론

본 실험에서는 CoTb과 CoZrNb 자성 박막을 식각할 경우에 나타나는 재증착의 문제점을 해결하기 위하여 Cl_2/Ar 가스를 사용한 ICP 반응성 이온 식각 방법을 이용하여 자성 박막들을 식각하였다. 그림 1은 PR 마스크를 이용한 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 식각 속도와 식각 프로파일을 보여준다. Cl_2 가스의 농도가 증가함에 따라서 Ar 이온의

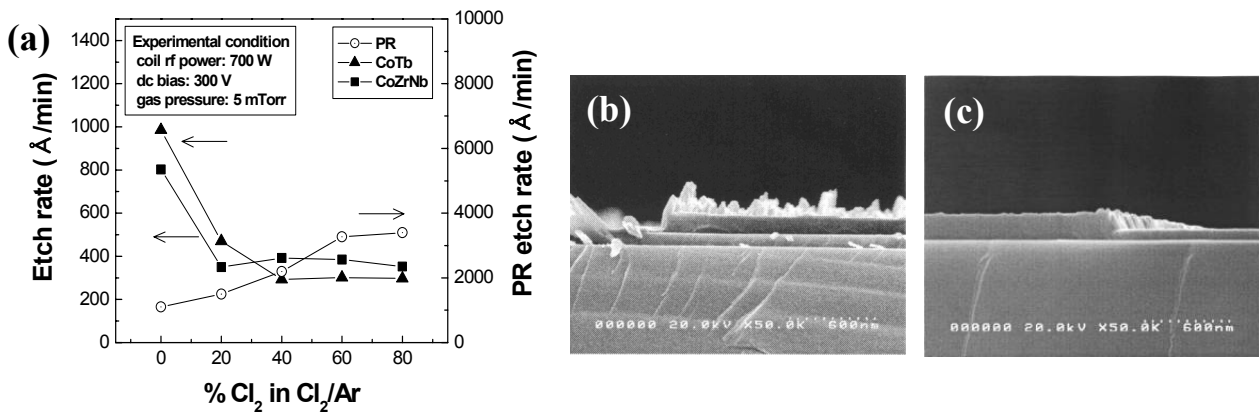


그림 1. Etch rate of CoTb and CoZrNb thin films as a function of Cl_2 gas concentration in Cl_2/Ar (a), FESEM photograph of CoZrNb films etched by 0% Cl_2 (b) and by 20% Cl_2 in Cl_2/Ar (c).

물리적인 스퍼터링 효과가 감소하였기 때문에 자성 박막들의 식각 속도는 감소하였고 박막 표면에서 염소 라디칼과의 화학 반응이 활발해졌기 때문에 재증착 물질은 제거되었다. 그러나 이것은 PR 마스크의 식각 속도를 모든 방향에 대해서 증가시켰기 때문에 식각 경사는 약 90° 에서 65° 로 감소하게 되었다. 즉, 마스크 물질의 식각 속도에 대한 자성 박막의 식각 속도의 비율인 식각 선택도가 감소한 것이다.

자성 박막들의 식각 선택도를 증가시키기 위하여 본 연구에서는 TiN 하드 마스크를 이용한 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 ICP 반응성 이온 식각을 진행하고자 하였다. 그림 2(a)에서는 TiN 하드 마스크에 대한 CoTb과 CoZrNb 자성 박막들의 식각 선택도를 계산하기 위해서 $\text{O}_2/\text{Cl}_2(20\%)/\text{Ar}$ 식각 가스를 이용하여 O_2 가스의 농도 변화에 따른 CoTb, CoZrNb과 TiN 박막의 식각 속도가 측정되었다. O_2 가스의 농도가 증가함에 따라서 자성 박막들과 TiN 박막의 식각 속도는 감소하였다. 특히 TiN 박막은 O_2 가스를 첨가하지 않을 경우에 Ti 물질이 염소 라디칼과 반응하여 TiCl_4 와 같은 휘발성이 높은

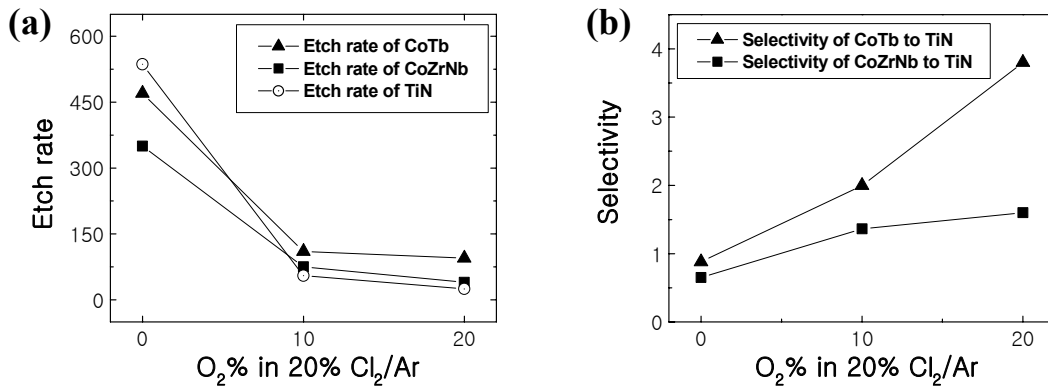


그림 2. Etch rate (a) and Selectivity (b) of CoTb and CoZrNb thin films as a function of O₂ gas concentration in 20% Cl₂/Ar.

화합물을 형성하기 때문에 자성 박막들과 비교하여 빠른 식각 속도를 보였지만 산소를 첨가해주었을 경우에는 TiO_x (x=1~2)와 같은 결합력이 강한 단단한 물질을 형성하기 때문에 식각 속도가 급격하게 감소한 것이라 해석된다. 결과적으로 그림 2(b)에서도 확인할 수 있듯이 O₂ 가스의 농도가 증가함에 따라서 CoTb과 CoZrNb 자성 박막들의 TiN 하드 마스크에 대한 식각 선택도는 증가한 것으로 나타났다.

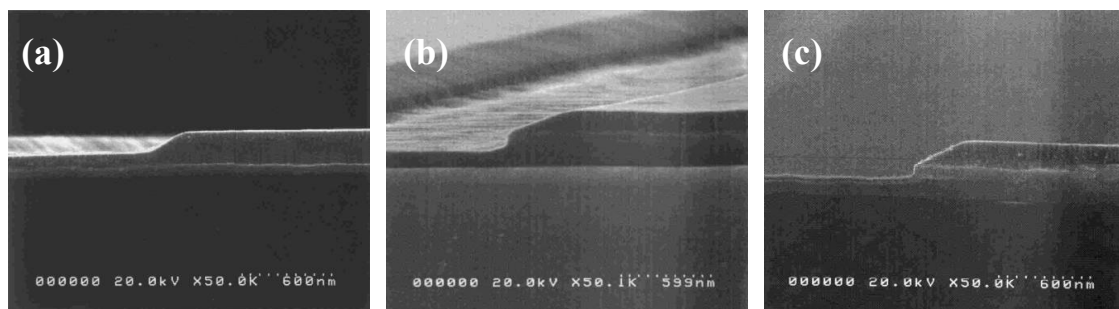


그림 3. FESEM photograph of CoTb films etched by 0% O₂ (a), by 10% O₂ (b) and 20% O₂ (c) in 20% Cl₂/Ar.

그림 3에서는 식각 선택도가 개선된 식각 가스를 이용하여 CoTb 자성 박막을 식각하고 FESEM을 관찰하였다. 낮은 식각 선택도를 갖는 0% O₂ 조건에서 식각 마스크인 TiN박막은 CoTb 자성 박막보다 빠른 식각 속도를 보이기 때문에 자성 박막의 식각 경사는 TiN박막보다 개선될 수가 없었다. 그러나 식각 선택도가 1 이상인 10%와 20% O₂ 조건에서 자성 박막은 약 80~90°의 식각 경사를 보이며 측면의 재증착이 없는 깨끗한 식각 프로파일을 얻을 수 있었다. 또한 TiN 하드 마스크는 PR 마스크와는 달리 식각 후에 마스크 박막이 남아 있더라도 전극 박막으로 사용되어질 수 있기 때문에 별도의 제거 공정이 필요 없다는 장점을 갖고 있다.

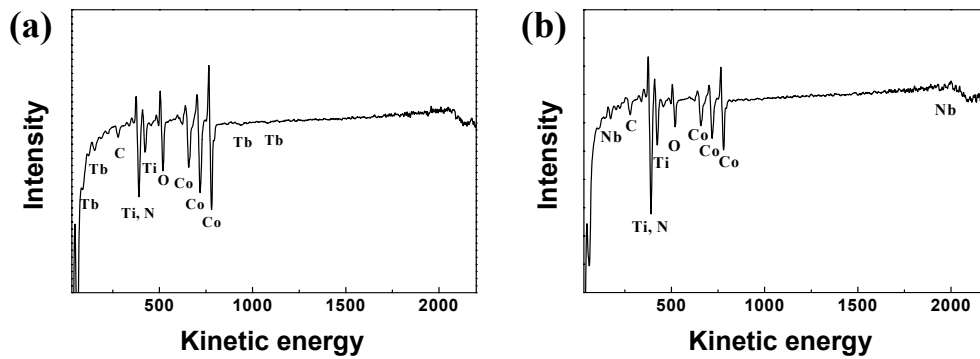


그림 4. AES analysis of (a) CoTb and (b) CoZrNb films etched using TiN hard mask at 20%

그림 4에서는 TiN 하드 마스크를 사용하고 Cl_2/Ar 을 식각 가스로 사용하여 CoTb과 CoZrNb 자성 박막을 식각하였을 경우에 박막의 표면에서 염소 라디칼에 의한 염소 화합물의 존재 여부를 AES 분석을 통해서 확인하고자 하였다. 두 자성 박막에서 모두 염소의 peak (184 eV)은 검출되지 않은 것으로 보았을 때 식각 가스에 의한 염소 잔유물은 박막 표면에 남아 있지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

결론

CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 특성을 유도 결합 플라즈마를 이용한 고밀도 반응성이온 식각을 통하여 연구하였다. $\text{O}_2/\text{Cl}_2(20\%)/\text{Ar}$ 식각 가스를 이용한 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 속도는 O_2 가스의 농도가 증가함에 따라서 감소하였고 TiN 하드 마스크의 식각 속도도 동시에 감소하였다. 결과적으로 TiN 하드 마스크에 대한 CoTb과 CoZrNb 자성 박막들의 식각 선택도는 증가하는 것을 확인할 수 있었다. TiN 하드 마스크를 이용한 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 프로파일을 보았을 때 선택도가 높은 식각 가스 조건에서는 약 90° 의 수직한 식각 경사와 재증착 현상이 없는 깨끗한 표면을 얻을 수 있었다. 특히 식각된 CoTb과 CoZrNb 박막의 표면에는 염소 화합물이 남아있지 않다는 것을 AES 분석을 통해서 확인할 수 있었다.

감사

이 연구는 21 세기 프론티어 프로그램의 일환으로 테라급 나노소자 개발 사업단(TND)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Miyazaki, T. and Kumagai, S., *J. Appl. Phys.*, **81**, 3753(1997).
2. Tehrani, S., Engel, B., Slaughter, J. M., Chen, E., Deherrera, M., Durlam, Naji, P., Wing, R., Janesky, J. and Calder, J., *IEEE*, **36**, 2752(2000).
3. Jung, K. B., Lambers, E. S., Childress, J. R., Pearton, S. J., Jenson, M. and Hurst, A. T., *J. Vac. Sci. Technol.*, **A 16**, 1697(1998).
4. Jung, K. B., Lambers, E. S., Childress, J. R., Pearton, S. J., Jenson, M. and Hurst, A. T., *J. Appl. Phys. Lett.*, **71**, 1255(1997).
5. B. Shin, Y. S. Song, and C. W. Chung, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **15(5)**, 503(2004).