

자성 메모리를 위한 나노미터 크기의 자기터널접합 구조의 고밀도 플라즈마 식각 (High Density Plasma Etching of Nanometer-Sized Magnetic Tunnel Junction Structure for Magnetic Random Access Memory)

정지원^{1,*}, 박익현¹, 박왕현², 신경호², 김기원³, 조영진³, 김태완³

¹인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 생명화학공학과

²서울시 성북구 하월곡동 39-1, 한국과학기술연구원 Nano-Device Research Center

³경기도 용인시 기흥읍 농서리 산14-1, 삼성종합기술원 Device Lab

자성 메모리에 응용을 위한 자기터널접합(magnetic tunnel junction) 구조에 대한 고밀도 플라즈마 반응성 이온 식각이 Cl_2/Ar 과 BCl_3/Ar 의 식각가스를 사용하여 조사되었다. 얇은 TiN 하드마스크가 식각을 위한 마스크로 사용되었으며 이에 대한 식각공정도 연구되었다. 식각가스의 종류와 식각공정의 변수들을 변화시켜서 식각속도 및 식각프로파일들이 조사되었으며 식각가스에 대한 자기접합터널 구조의 전기적 특성도 관찰되었다. $300 \times 300 \text{ nm}^2$ 크기의 자기터널접합 구조에 대한 식각이 재증착 없이 약 70도의 식각경사를 가지고 식각되었다.

1. 서론

최근 dynamic random access memory (DRAM)와 flash memory 등을 대체할 수 있는 차세대 메모리 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 magnetoresistance random access memory (MRAM)는 flash memory의 비휘발성 특성과 읽기 쓰기의 고속화 특성을 나타내고, DRAM보다 높은 기록 밀도가 가능하고 낮은 동작전압과 소비전력 때문에 대표적인 차세대 메모리로서 주목받고 있다[1,2]. 이러한 MRAM 소자의 고속화, 고집적화를 위해서는 재증착이 없고, 우수한 profile을 나타내는 나노미터 크기의 magnetic tunnel junction (MTJ) stack의 건식 식각이 선행되어야 한다[3]. 본 연구에서는 나노미터 크기의 MTJ stack의 건식식각을 위하여 electron (e) beam lithography 공정을 이용하여 나노미터 크기의 패턴을 형성하였고, 고밀도 유도결합 플라즈마 (high density inductively coupled plasma; HDICP)를 이용한 반응성 이온 식각법(reactive ion etching)을 사용하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 MTJ stack의 건식식각을 위해서 e-beam lithography 공정으로 나노미터 크기의 패턴을 형성하였고, 고밀도 플라즈마를 이용하는 유도결합 플라즈마(ICP) 건식식각 장비가 이용되었다. 실험에서 사용된 MTJ stack은 hard mask로 사용되는 TiN(1500 Å)을 시작으로 그 아래에 Ru(50)/Ta(100)/CoFe(70)/MgO(15)/CoFe(35)/Ru(8)/CoFe(35)/IrMn(120)/Ru(50)/Ta(300)/SiO₂(1000)/Si (Å in unit)의 구조로 증착되었다. TiN 박막은 rf 마그네트론 스퍼터링 방법에 의하여 증착되었고, 다른 박막들은 dc 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착되었다. 나노미터 크기의 패턴을 형성하기 위하여 e-beam resist (ER) (MA-N2403)를 2000 Å 두께로 도포한 후 e-beam lithography 공정으로 $500 \times 500 \text{ nm}^2$, $300 \times 300 \text{ nm}^2$ 크기의 패턴을 형성하였다. MTJ stack을 식각하기 위하여 사용되는 TiN hard mask의 식각 조건을 확립하기 위해 $\text{Cl}_2(\text{SF}_6)$ 와 Ar의 혼합가스 내에서 $\text{Cl}_2(\text{SF}_6)$ 가스의 농도변화에 따른 식각이 시도되었다. 그리고 MTJ stack의 식각조건을 확립하기 위해 $\text{Cl}_2(\text{BCl}_3)$ 와 Ar의 혼합가스 그리고 Ar plasma를 사용하여 MTJ stack의 식각 profile이 관찰되었다. 본 실험

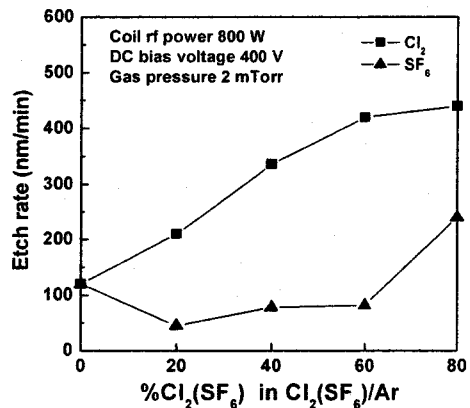


Figure 1. Etch rate of TiN hard mask as a function of chlorine gas concentration; coil rf power 800 W; dc bias voltage 400 V; gas pressure 2 mTorr.

에서 TiN hard mask의 식각속도는 surface profilometer를 사용하여 측정하였고, 식각 profile은 field emission scanning electron microscope (FESEM)을 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Figure 1은 TiN hard mask의 식각속도를 나타낸다. Photolithography 공정을 이용하여 photoresist 패턴을 형성하였고, Cl₂ 가스와 SF₆가스의 농도변화에 따른 식각속도와 profile을 조사하였다. TiN hard mask의 식각속도는 Cl₂(SF₆) 가스의 농도증가에 따라 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 이것은 TiN 박막이 Cl₂(SF₆) 가스와 반응하여 휘발성 물질을 형성하면서 식각되는 반응성 이온 식각이 되고 있음을 증명하는 것이다. 그리고 반응성 가스로 Cl₂ 가스를 선택했을 경우가 SF₆ 가스를 사용했을 때 보다 빠른 식각속도를 나타냈다. 따라서 MTJ stack을 식각하기 위한 TiN hard mask의 식각조건은 40% Cl₂ in Cl₂/Ar; coil rf power 800 W; dc bias voltage 400 V; 2 mTorr의 식각조건이 최적식각 조건으로 성립되었다.

Figure 2(a)는 1100 W의 coil rf power, 300 V의 dc bias voltage, 그리고 5 mTorr gas pressure에서 Ar plasma를 사용하여 식각한 MTJ stack의 FESEM 사진이다. Ar plasma를 사용하여 식각한 MTJ stack의 하단부분은 정사각형 모양을 유지하지만, 상단부분은 둥근 모양으로 변화된 모습이 관찰되었다. 그러나 Cl₂와 BCl₃ 가스를 첨가할 경우 profile이 개선되는 경향이 관찰 되었다. Figure 2(b)는 10% Cl₂ 가스를 첨가하여 식각된 MTJ stack의 식각 profile을 보여준다. 상단부분과 하단부분의 정사각형 모양이 유지되었고, 약 60°의 식각경사를 나타내어 Ar plasma로 식각했을 때 보다 개선된 식각경사를 나타냈다. 그러나 Figure 2(c)에 나타난 30% Cl₂ 가스를 첨가할 경우 상단부분의 정사각형 모양이 많이 변형된 것을 알 수 있다. 이것은 반응성이 높은 Cl₂ 가스의 증가로 인하여 상단부분이 빨리 식각되어 나타난 결과로 판단된다. 즉, 90% Ar 가스에 10% Cl₂ 가스농도에서 가장 좋은 식각 특성이 나타났으며, 낮은 Cl₂ 가스 농도에서 식각 profile이 개선될 수 있는 가능성이 보인다.

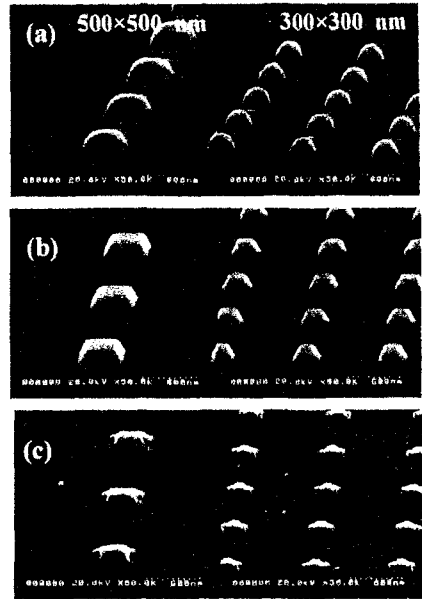


Figure 2. FESEM photographs of etched MTJ stack using (a) pure Ar; (b) 10% Cl₂ in Cl₂/Ar mixture; (c) 30% Cl₂ in Cl₂/Ar mixture, coil rf power 1100 W; dc bias voltage 300 V; gas pressure 5 mTorr.

4. 결론

본 연구에서는 고밀도 유도결합 플라즈마를 이용한 반응성 이온식각법으로 MRAM에 적용되는 MTJ stack을 깨끗하고 우수한 profile을 나타내는 최적의 식각을 하고자 하였다. Hard mask로 사용될 TiN 박막의 식각조건을 확립하였으며 확립된 TiN hard mask 식각조건을 이용하여 MTJ stack 위에 증착된 TiN hard mask를 식각하고 그 이후 pure Ar, Cl₂, 그리고 BCl₃ 가스의 농도변화에 따른 MTJ stack의 식각 profile이 조사되었다. Ar plasma만을 사용하였을 경우보다 반응성 가스인 Cl₂의 첨가는 재증착 현상이 없는 깨끗한 profile의 식각을 가능하게 하였고, BCl₃ 가스를 첨가한 경우에는 매우 수직적인 profile이 관찰되었다. 따라서 더욱 개선된 MTJ stack의 식각 profile과 나노미터 크기의 MTJ 구조의 식각을 위하여 가스의 혼합비는 물론 새로운 식각 공정조건을 조사할 예정이다.

5. 참고문헌

1. D. D. Tang, P. K. Wang, V. S. Speriosu, and S. Le. K. K. Kung, "Spin Valve RAM Cell", *IEEE Trans. Magn.* 31, 3206-3208(1995).
2. Y. Zheng, and J. G. Zhu, "Micromagnetics of Spin Valve Memory Cells", *IEEE Trans. Magn.* 32 4237-4239(1996).
3. S. Tehrani, J. M. Slaughter, E. Chen, M. Durlam, J. Shi, and M. DeHerrera, "Process and Outlook for MRAM Technology", *IEEE Trans. Magn.*, 35, 2814-2817(1999).