CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 고밀도 반응성 이온 식각

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

High density plasma reactive ion etching of CoTb and CoZrNb magnetic materials

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

서론

21세기 현대 사회의 정보화와 통신화는 많은 정보를 빠르게 처리할 수 있는 반도체 메모리 소자를 필요로 하고 있다. 특히 개인 휴대용 정보통신 기기의 출현으로 빠른 속도와 낮은 소비 전력을 갖는 비휘발성 메모리인 magnetoresistive random access memory(MRAM)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1,2]. MRAM이란 자기저항효과를 가진 소자를 이용하여 집적한 메모리이다. 특히 tunneling magnetoresistance(TMR)를 나타내는 박막 재료가 실용화에 가장 근접한 재료로 알려져 있다. 그러나 TMR stack을 구성하는 자성 물질은 일반적으로 식각이 어려운 것으로 알려져 있으며, 현재 이 물질들의 건식 식각에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[3-5].

본 연구에서는 자성 재료인 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 특성이 유도결합 플라즈마를 이용한 고밀도 반응성 이온 식각을 통해서 조사되었다. 식각 가스로 Cl_2/Ar와 C_2F_6/Ar 가스들을 선택하였고 이들의 농도에 따라 식각 속도를 조사하였다. 또한 field emission scanning electron microscopy(FESEM)를 이용하여 식각 profile을 관찰하고 auger electron spectroscopy(AES)를 이용하여 패턴 옆면의 재증착 물질을 분석함으로써 자성박막의 식각 메커니즘을 이해하고 최적의 식각 가스와 식각 조건을 찾고자 하였다.

실험

본 연구에서는 고밀도 플라즈마를 이용하는 유도 결합 플라즈마 건식 식각 장비를 사용하여 자성 박막을 식각하였다. 유도 결합 플라즈마 건식 식각 장비의 개략적인 구조는 그림 1에 나타내었다.

Substrate susceptor는 chiller에 의하여 냉각 되어지고 그 위에 helium 가스가 주입되고 기판이 substrate susceptor에 밀착되어 냉각된다. 유도 결합 플라즈마의 생성을 위하여 반응 chamber 주위에 감겨진 코일은 13.56 MHz rf power supply에 연결되어 있으며 이에 의해 고밀도 플라즈마가 유도된다. Self bias voltage는 또 하나의 13.56 MHz의 rf power가 연결되어 유도되고 독립적으로 ion energy를 조절한다.

본 실험에 사용되어진 시료는 SiO_2(1000 Å)/Si 기판 위에 자성 박막인 CoTb과 CoZrNb을 각각 두께 2000 Å으로 증착하고, CoTb은 박막의 산화를 방지하지 위해 Ta를 얇게 증착하였다. 증착된 박막은 photoresist(PR)를 7700 Å의 두께로 도포한 후 mask를 사용하여 lithography 공정에 의해서 패터닝 하였다. 식각 가스로는 Cl_2/Ar과 C_2F_6/Ar을 사용하였고 식각 조건은 가스 flow rate 20 sccm, coil-rf power 700 W, dc-bias 300 V 그리고 gas pressure 5 mTorr로 고정한 후 가스 농도를 변화시켜 식각 특성이 조사되었다.

본 실험에서의 공정변수로는 식각가스의 종류와 식각가스의 농도가 선택되었다. 식각 속도는 dektak surface profilomer를 이용하여 식각 전후 박막의 두께를 측정함으로써 조사되었다. 식각 profile은 field emission scanning electron microscopy(FESEM)을 사용하

여 관찰되었고 식각 후 생성된 재증착 물질의 성분을 분석하기 위하여 auger electron spectroscopy(AES)를 사용하였다.

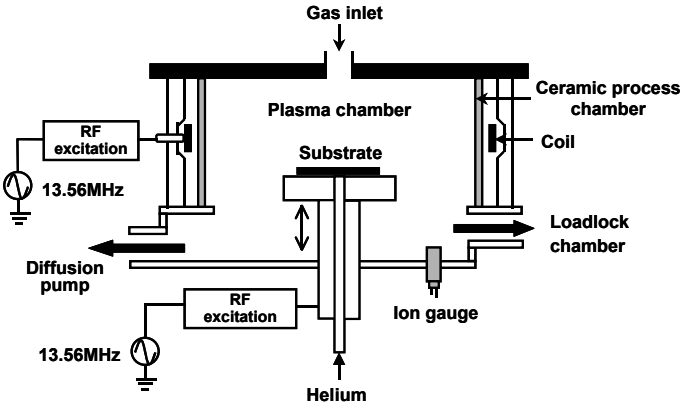


그림 1. Schematic diagram of the inductively coupled plasma reactive ion etcher

결과 및 토론

본 연구에서는 CoTb과 CoZrNb박막의 식각 가스로 Cl_2/Ar의 염소계 가스와 C_2F_6/Ar의 불소계 가스를 선택하여 사용하였다. 그림 2에는 Cl_2/Ar와 C_2F_6/Ar의 농도변화에 따른 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 속도를 나타내었다.

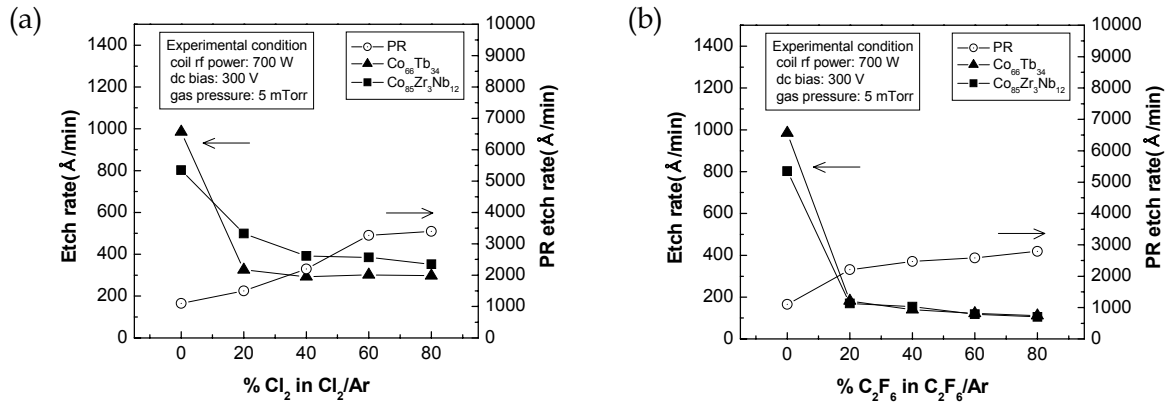
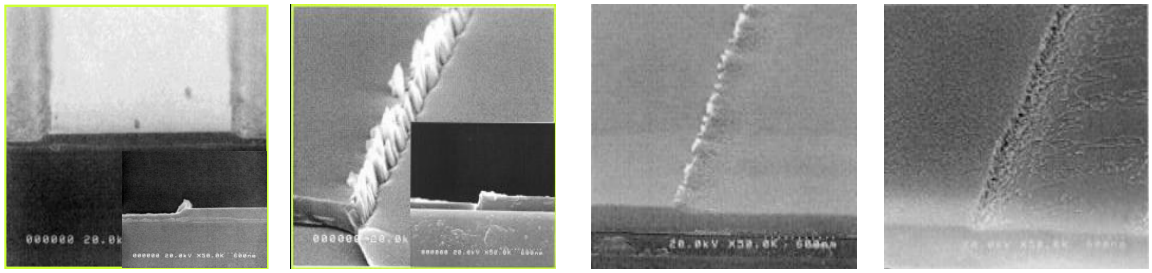


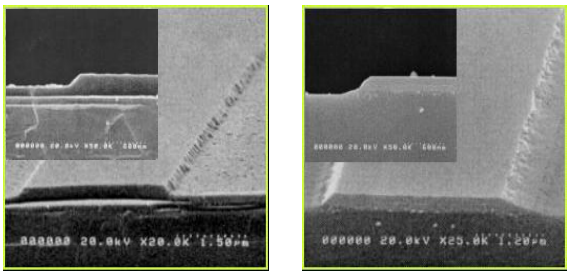
그림 2. Etch rate of CoTb and CoZrNb thin films as a function of chlorine gas concentration(a) and fluorine gas concentration(b); total gas flow rate: 20 sccm; coil-rf power: 700 W; dc-bias voltage: 300 V; gas pressure: 5 mTorr.

식각 가스인 Cl_2와 C_2F_6의 첨가와 함께 식각 속도는 급격히 감소하고 이들의 농도가 증가함에 따라서 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 속도는 서서히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 CoTb과 CoZrNb 자성 박막이 Ar 이온의 물리적인 스퍼터링 효과에 의해서 식각되고 있음을 알 수 있는 결과이다. 그리고 Cl_2/Ar 식각 가스와 비교하여 C_2F_6/Ar을 사용하였을 때 마스크인 PR의 식각 속도는 유사하게 증가하지만 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 식각 속도는 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 C_2F_6/Ar 식각 가스를 사용하였을 때 마스크에 대한 자성박막들의 선택도가 낮아진 것을 의미하므로 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 식각 가스로는 적합하지 않다고 판단하였다.

그림 3은 CoTb과 CoZrNb 박막을 Cl_2/Ar과 C_2F_6/Ar 가스를 사용하여 건식 식각한 패턴의 FESEM 사진을 보여주고 있다. 그림 3(a)와 그림 3(c), 그리고 그림 3(b)와 그림 3(d)를 각각 비교해보았을 때 CoTb과 CoZrNb 자성 박막은 C_2F_6/Ar 가스 조건에서 보다



(a) CoTb - 20%Cl_2 (b) CoZrNb - 20%Cl_2 (c) CoTb - 20%C_2F_6 (d) CoZrNb - 20%C_2F_6



(e) CoTb - 40%Cl_2 (f) CoZrNb - 40%Cl_2

그림 3. FESEM photograph of CoTb and CoZrNb films etched by Cl_2/Ar and C_2F_6/Ar gas.

Cl_2/Ar 가스 조건에서 더 우수한 profile을 보였다. 이것은 식각 속도의 결과를 통해서 예측할 수 있었듯이 Cl_2/Ar와 비교하여 C_2F_6/Ar 식각 가스 조건에서 PR 마스크에 대한 자성박막들의 낮은 선택도의 영향인 것으로 판단된다. 즉, 자성 박막들의 식각이 천천히 진행되는 동안 PR 마스크의 식각은 빨리 진행되어 식각 경사는 더욱 낮아지게 된 것이다. 또한 그림 3(a)와 그림 3(e), 그리고 그림 3(b)와 그림 3(f)를 각각 비교해보았을 때 Cl_2의 농도가 증가함에 따라서 자성 박막의 식각 경사는 낮아지지만 패턴 옆면의 재증착 물질이 제거된 것을 볼 수 있었다. 높은 Cl_2 농도에서 식각 물질이 chlorine 라디칼과 반응하여 휘발되는 반응은 물리적인 Ar 이온의 스퍼터링에 의한 식각 물질의 생성 반응 보다 우세하기 때문에 재증착 물질이 효과적으로 제거되는 반면 식각 경사는 더 나빠지는 것으로 해석할 수 있다.

(a) CoTb - 20%Cl_2 (b) CoZrNb - 20%Cl_2

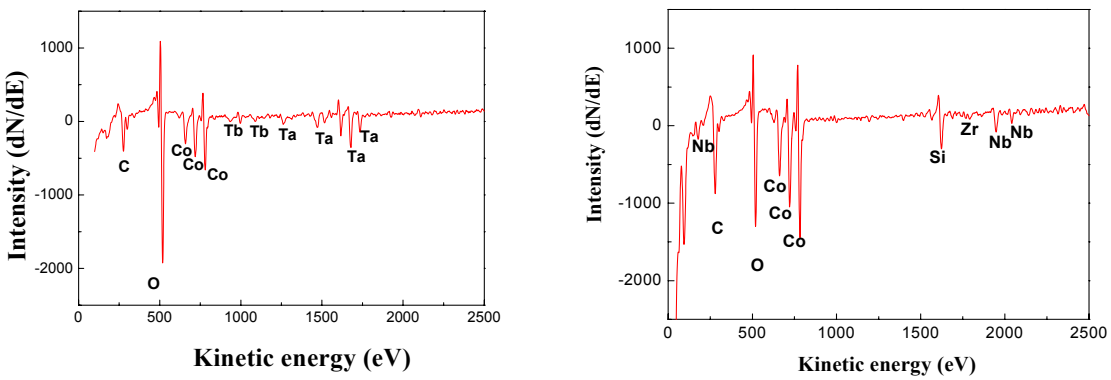


그림 4. AES analysis of CoTb(a) and CoZrNb(b) films etched by Cl_2/Ar

그림 4는 식각 가스로 Cl_2/Ar을 사용할 경우, 20%의 Cl_2농도에서 CoTb과 CoZrNb 박막의 패턴 옆면에 생성된 재증착 물질에 대한 AES 분석 결과이다. PR의 제거 과정에서

생성된 것으로 예상되는 C와 O 성분을 제외하고, AES 분석 결과 검출된 peak는 모두 식각 전의 박막의 성분과 일치하였다. 또한 두 자성 박막에서 모두 chlorine의 peak(184eV, 2395eV)는 검출되지 않은 것으로 보았을 때 식각 가스에 의한 chlorine 잔유물은 박막에 남아 있지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, Ar 이온의 물리적인 충돌에 의해서 CoTb과 CoZrNb 박막이 스퍼터링 되면, 스퍼터 된 물질들이 화학적으로 chlorine 라디칼과 반응하여 제거된다. 이 때 chlorine의 농도가 낮을 수록, 스퍼터 된 생성물에 비해서 chlorine과 반응하여 휘발되는 식각 물질의 양이 적기 때문에 물리적으로 스퍼터된 식각 생성물이 재증착으로 남게 되는 것이다.

결론

CoTb 박막과 CoZrNb 박막의 식각 특성을 유도 결합 플라즈마를 이용한 고밀도 반응성 이온 식각을 통해서 연구하였다. PR 마스크를 이용한 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 속도와 profile은 Cl_2/Ar, C_2F_6/Ar와 같은 식각 가스를 선택하고, 식각 가스의 농도를 변화시키면서 조사되었다.

Cl_2 가스와 C_2F_6 가스의 농도가 증가함에 따라서 식각 속도는 감소하였고 식각 경사는 낮아졌다. 빠른 식각 속도와 높은 식각 경사를 보인 Cl_2/Ar 가스는 C_2F_6/Ar 가스보다 CoTb과 CoZrNb 박막을 식각하는데 적합한 식각 가스인 것으로 확인되었다. 그러나 낮은 Cl_2 농도 조건에서는 패턴의 옆면 부분에 재증착 물질 생성되는 것을 발견할 수 있었다. 그리고 이것은 식각 가스에 의한 chlorine 화합물이 아닌 자성 박막 자체의 스퍼터링에 의한 재증착이 일어난 것임을 확인할 수 있었다.

CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 메커니즘은 화학적 반응 보다는 주로 물리적 스퍼터링 효과에 의해서 일어나고 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 높은 식각 경사와 재증착 물질의 제거가 동시에 이루어질 수 있는 식각 공저의 개발이 요구되어진다.

감사

이 논문은 인하대학교 청정기반기술연구소에 의해서 지원되었음.

참고문헌

1. Miyazaki, T. and Kummagai, 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. Hong, J., Caballero, J. A., Lambers, E. S., Childress, J. R. and Pearton, S. J., *J. Vac. Sci. Technol.*, **A 16**, 3349(1998).