

고밀도 플라즈마 식각에 의한 CoTb와 CoZrNb 박막의 식각 특성

신 별 · 박익현 · 정지원[†]

인하대학교 화학공학과
402-751 인천시 남구 용현동 253
(2005년 3월 16일 접수, 2005년 6월 14일 채택)

Etch Characteristics of CoTb and CoZrNb Thin Films by High Density Plasma Etching

Byul Shin, Ik Hyun Park and Chee Won Chung[†]

Department of Chemical Engineering, Inha University, 253, Yonghyun-dong, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea
(Received 16 March 2005; accepted 14 June 2005)

요 약

포토리지스트 마스크로 패턴된 CoTb 및 CoZrNb 자성 박막에 대한 유도 결합 플라즈마 반응성 이온 식각이 Cl_2/Ar 와 $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 가스를 이용하여 진행되었고 식각 속도와 식각 프로파일 측면에서 조사되었다. Cl_2 와 C_2F_6 가스의 농도가 증가함에 따라서 자성 박막들의 식각 속도는 감소하였고 식각 경사는 낮아졌다. 자성 박막들의 식각 가스로서 Cl_2/Ar 이 빠른 식각 속도와 가파른 식각 경사를 얻는데 있어서 $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 보다 더 효과적이었다. Coil rf power의 증가는 플라즈마 내의 Ar 이온과 라디칼의 밀도를 증가시키고 dc bias voltage의 증가는 기판으로 스퍼터되는 Ar 이온의 에너지를 증가시키기 때문에 coil rf power와 dc bias voltage가 증가할수록 식각 속도와 식각 경사는 증가하였지만 패턴의 측면에서 재증착이 일어났다. 자성 박막들의 적층으로 형성된 magnetic tunnel junction stack에 고밀도 플라즈마 반응성 이온 식각을 적용하여, 높은 식각 경사와 재증착이 없는 깨끗한 식각 프로파일을 얻었다.

Abstract – Inductively coupled plasma reactive ion etching of CoTb and CoZrNb magnetic materials with the photoresist mask was performed using Cl_2/Ar and $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ gas mixtures and characterized in terms of etch rate and etch profile. As the concentrations of Cl_2 and C_2F_6 gases increased, the etch rates of magnetic films decreased and the etch slopes became slanted. The Cl_2/Ar gas was more effective in obtaining fast etch rate and steep sidewall slope than the $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ gas. As the coil rf power and dc bias increased, fast etch rate and steep etch slope were obtained but the redeposition on the sidewall was observed. This is due to the increase of ion and radical densities in plasma with increasing the coil rf power and the increase of incident ion energy to the substrate with increasing the dc bias voltage. By applying high density reactive ion etching to magnetic tunnel junction stack containing various magnetic films and metal oxide, steep etch slope and clean etch profile without redeposition were obtained.

Key words: CoTb, CoZrNb, Reactive Ion Etching, Magnetic Tunnel Junction, Inductively Coupled Plasma

1. 서 론

정보화 산업의 발달은 DRAM, flash memory 등을 포함한 기존의 반도체 메모리 소자를 대체할 수 있는 차세대 메모리 소자에 대한 개발을 요구하고 있다. 특히 magnetoresistive random access memory(MRAM)는 SRAM에 대등한 고속화와 DRAM 보다 높은 기록 밀도가 가능하고 낮은 동작 전압과 소비전력 때문에 대표적인 차세대 비휘발성 메모리로 주목받고 있다[1-3]. MRAM은 여러 가지 자성 박막과 금속 산화막으로 구성된 magnetic tunnel junction (MTJ)과 transistor로 구성된다. DRAM에서 capacitor와 유사한 기능을 하는 MTJ stack은 tunneling magnetoresistance(TMR) 현상을

나타내는 자기저항 박막을 이용하여 MRAM 소자에 집적된다.

MRAM 소자의 고집적화를 위하여 선행되어야 할 핵심 공정은 MTJ stack의 식각이다. MTJ stack은 자성 물질, 금속 그리고 알루미늄 산화막과 같은 배리어(barrier) 층으로 구성되어 있다. 특히 자성물질의 식각을 위해서 일반적으로 ion milling 또는 reactive ion etching(RIE) 방법이 사용되어져 왔다. 하지만 이러한 식각 방법은 매우 느린 식각 속도를 보이며 식각된 MTJ stack의 측면에 식각 잔유물과 식각 손상을 유발한다. 특히 재증착에 의한 MTJ stack 측면의 식각 잔유물은 MRAM 소자의 특성을 저하시키는 원인 중의 하나인 것으로 많은 연구에서 보고되고 있다[4, 5]. 이러한 식각 공정의 단점을 극복하고 MRAM 소자의 특성을 유지하기 위해서 최근에는 전자 사이클로트론 공명(electron cyclotron resonance, ECR), 유도 결합 플라즈마(inductively coupled plasma, ICP)와 같은 고밀

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: cwchung@inha.ac.kr

도 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각 공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[6-8]. 그러나 이러한 식각 공정도 MTJ stack의 측면에 재증착이 발생하고 낮은 식각 경사의 프로파일은 여전히 해결해야 할 문제점으로 남아있다[1, 9-10].

본 연구에서는 자성 박막의 측면에 형성되는 재증착을 줄이고 우수한 식각 프로파일을 얻기 위해서 유도결합 플라즈마 반응성 이온 식각(inductively coupled plasma reactive ion etching, ICPRIE) 방법을 사용하였다. Cl_2/Ar 와 $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 식각 가스들을 선택하여 반응성 식각 가스의 농도에 따른 CoTb와 CoZrNb 자성 박막의 식각 특성을 조사하였다. 또한 coil rf power와 dc bias와 같은 식각 공정의 조건을 변화시키면서 자성 박막들을 건식 식각하고 그에 따른 식각 속도와 식각 프로파일을 관찰하였다.

2. 실험

본 연구에서는 고진공에서 고밀도 플라즈마를 이용하는 유도 결합 플라즈마(ICP) 건식 식각 장비를 사용하여 CoTb와 CoZrNb 자성 박막과 MTJ stack을 식각하였다. ICP 시스템(내경: 높이= 380 mm: 300 mm)은 크게 load lock chamber, process chamber와 substrate susceptor로 구성되어 있다. 상세한 장치의 그림은 논문[11]에 기술되어 있다.

실험에서 사용된 CoTb와 CoZrNb 자성 박막들은 dc 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 SiO_2/Si (6 inch) 기판 위에 각각 두께 2000 Å으로 증착되었고, 이 때 CoTb 박막은 산화 방지를 위한 capping layer로서 100 Å의 Ta를 증착해주었다. MTJ stack은 SiO_2/Si (6 inch) 기판 위에 Ta(600)/CoZrNb(75)/CoTb(25)/ Al_2O_3 (20)/CoFe(33)/IrMn(100)/Ru(800)/Ta(250)/ SiO_2/Si (Å in unit) 구조로 증착되었다. CoTb와 CoZrNb 자성 박막들은 일반적으로 사용되는 CoFe와 NiFe 박막을 각각 대신하여 MTJ stack의 자유층(free layer)으로 사용되었다. 증착된 자성 박막과 MTJ stack은 포토레지스트(photoresist, PR)를 7700 Å의 두께로 도포한 후 photolithography 공정에 의해서 패터닝 되었다.

본 실험에서는 Cl_2/Ar 과 $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 의 식각 가스, coil rf power와 dc bias를 공정 변수로 선택하여 CoTb와 CoZrNb 자성 박막들의 측면에 형성되는 재증착 물질을 줄이고 식각 profile을 개선하고자 하였다. 뿐만 아니라 개선된 식각 조건을 이용하여 CoTb, CoZrNb 자성 박막들이 자유층으로 포함된 MTJ stack을 식각하고 식각 profile을 확인하였다. 자성 박막의 식각 속도는 Dektak surface profiler (Dektak 6M, Veeco Inc., U.S.A)를 이용하였고 식각 전후 박막의 두께를 측정함으로써 계산되었다. 식각 프로파일은 식각 후에 PR mask를 제거한 후에 field emission scanning electron microscopy (FESEM, HITACHI490)를 사용하여 관찰되었고, 식각 후 생성된 재증착 물질의 성분을 분석하기 위하여 Auger electron spectroscopy (AES)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 유도 결합 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각이 진행되었고 CoTb와 CoZrNb 자성 박막의 식각 가스로써, Cl_2/Ar 의 염소계 가스와 $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 의 불소계 가스를 선택하여 사용하였다. Fig. 1에는 coil rf power 700 W, dc bias voltage 300 V 그리고 공정 압

력 5 mTorr의 조건에서 Cl_2 와 C_2F_6 가스의 농도 변화에 따른 자성 박막들의 식각 속도를 나타내었다. 식각 가스로써 Cl_2 가스가 선택되었을 경우에 Cl_2 가스의 농도가 증가함에 따라서 CoTb의 식각 속도는 1000 Å/min에서 300 Å/min으로 그리고 CoZrNb의 식각 속도는 800 Å/min에서 400 Å/min으로 급격히 감소하였다. 그리고 C_2F_6 의 경우에 가스 농도가 증가함에 따라서 CoTb와 CoZrNb의 식각 속도는 각각 1000 Å/min, 800 Å/min에서 대략 100~200 Å/min으로 크게 감소하였다. Table 1에서 Co, Zr, Nb 그리고 Tb의 녹는점은 각각 1,445 °C, 2,477°C, 1,855°C 그리고 1,356 °C로 CoTb 박막의 구성 성분이 CoZrNb 박막의 구성 성분에 비해서 녹는점이 낮은 것을 확인할 수 있다. 반응성 식각 가스를 사용하지 않고 Ar 가스만을 사용할 경우에는 Ar 이온의 스퍼터링 효과만을 이용하는 식각 메커니즘으로써 CoTb 고체 박막의 결합을 끊는 것이 CoZrNb 박막보다 용이한 것으로 짐작할 수 있다. 따라서 식각 속도는 CoTb이 CoZrNb보다 빠른 것을 확인할 수 있었다. Ar 가스에 Cl_2 와 C_2F_6 와 같은 반응성 식각 가스를 혼합하면 플라즈마 내의 반응성 식각 가스의 라디칼들이 CoTb 및 CoZrNb와 같은 자성 박막의 표면에 흡착하게 된다. 그러나 흡착된 반응성 식각 가스의 라디칼들은 자성 박막들과 화학 반응을 거의 일으키지 못하고 주로 가속화된 Ar 이온의 물리적인 충격에 의해서 스퍼터되면서 식각이 진행되는 메커

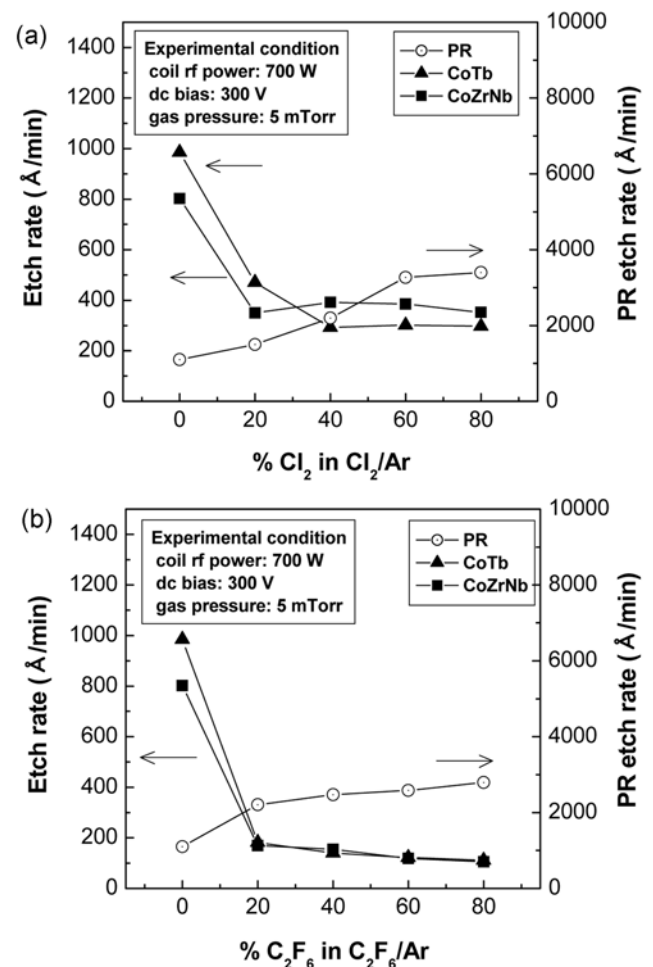


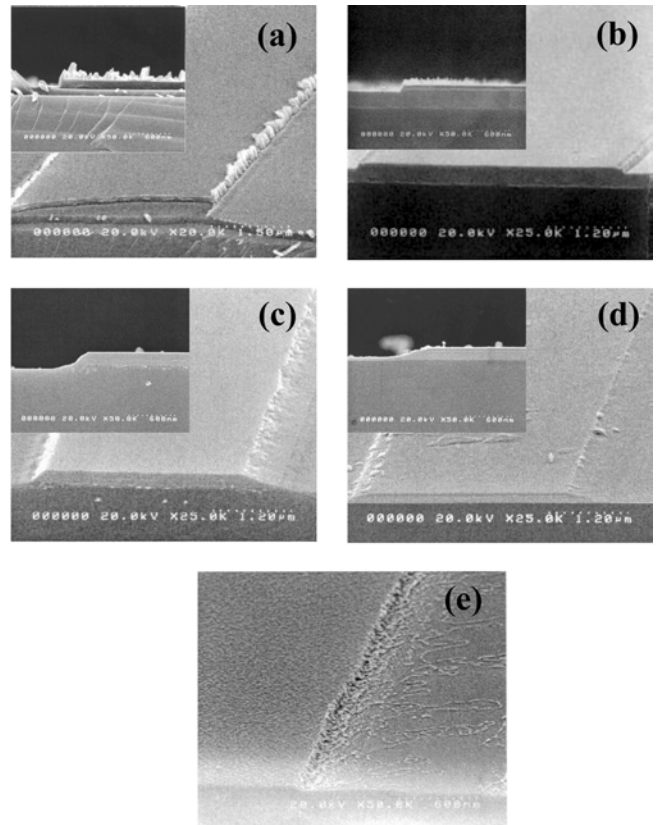
Fig. 1. Etch rates of CoTb and CoZrNb thin films as a function of (a) Cl_2 concentration and (b) C_2F_6 concentration. (Coil-rf power: 700 W, dc-bias voltage: 300 V, gas pressure: 5 mTorr).

Table 1. Melting and boiling points of potential etch products of magnetic materials

Melting points and boiling points of potential etch products					
Product	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Product	Melting point (°C)	Boiling point (°C)
Co	1,495	2,927	Nb	2,477	4,744
CoCl ₂	740	1,049	NbCl ₃	-	-
CoF ₃	927	-	NbCl ₄	-	-
CoF ₂	1,127	1,739	NbCl ₅	204.7	254
Zr	1,855	4,409	NbF ₃	-	-
ZrCl ₄	437	331	NbF ₄	dec>350	-
ZrF ₄	932	912	NbF ₅	80	229
			Tb	1,356	3,230
			TbCl ₃	588	

니즘을 갖는다. 그러므로 Fig. 1로부터 반응성 식각 가스인 Cl₂와 C₂F₆의 농도가 증가함에 따라서 CoTb과 CoZrNb 박막의 식각 속도가 감소하는 이유는 Cl₂와 C₂F₆ 식각 가스의 증가가 Ar 이온의 물리적인 스퍼터링 현상을 감소시키고 첨가된 반응성 식각 가스의 라디칼들이 자성 박막의 표면에 흡착하였을 경우에 Ar 이온의 물리적인 충격이 완화되는 현상이 발생하여 식각 속도가 감소된 것이라 추측된다. 특히 C₂F₆ 가스의 경우에는 CF_x 라디칼이 자성 박막의 표면에 식각의 진행을 방해하는 불화 탄소층을 형성하기 때문에 Cl₂ 식각 가스를 첨가하였을 경우와 비교하여 자성 박막의 식각 속도가 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 이것은 Table 1에서 염소계 화합물(CoCl₂, ZrCl₄, NbCl₃, NbCl₄, NbCl₅, TbCl₃)은 불소계 화합물(CoF₂, CoF₃, ZrF₄, NbF₃, NbF₄, NbF₅)들 보다 낮은 끓는점을 나타내는 것을 확인할 수 있고 이것은 염소계 화합물의 휘발성이 크다는 것을 의미하므로 C₂F₆/Ar보다 Cl₂/Ar 식각 가스에서 높은 식각 속도를 보인 것이다. 그리고 이것은 C₂F₆/Ar 식각 가스를 사용하였을 때 마스크에 대한 자성박막들의 선택도가 낮아진 것을 의미하는 것이므로 CoTb과 CoZrNb 자성 박막의 식각 가스로써 C₂F₆/Ar 가스보다 Cl₂/Ar 가스가 적합하다고 판단된다.

Fig. 2는 CoZrNb 박막을 Cl₂/Ar과 C₂F₆/Ar 가스를 사용하여 식각한 경우에 대한 FESEM 사진을 보여주고 있다. 순수한 Ar 가스를 이용하여 식각하였을 경우에는 Cl₂와 C₂F₆와 같은 반응성 식각 가스를 첨가해주었을 경우보다 패턴의 측면에 재증착 물질이 많이 남아 있는 것을 확인할 수 있다. Ar 이온의 스퍼터링 효과에 의해서 박막으로부터 탈착된 Co, Zr, Nb과 Tb 성분들은 높은 끓는점 때문에 휘발하지 못하고 패턴의 측면에 재증착된다. 그러나 Cl₂와 C₂F₆와 같은 반응성 식각 가스를 첨가해주었을 경우에는 박막 성분들이 Cl 또는 F의 라디칼과 반응하여 각각 염소계, 불소계 화합물을 형성하게 되고 이 화합물들은 박막의 구성원소인 Co, Zr, Nb과 Tb 성분의 끓는점보다 낮은 것을 Table 1로부터 확인할 수 있다. 즉, 박막 성분의 휘발성보다 이러한 성분들이 반응성 식각 가스의 라디칼과 반응함으로써 생성된 화합물의 휘발성이 높기 때문에 Cl₂와 C₂F₆와 같은 반응성 식각 가스를 첨가할 경우에 패턴 측면의 재증착 물질이 감소되는 것으로 판단된다. 또한 Cl₂의 농도가 증가함에 따라서 자성 박막의 식각 경사는 낮아지고 재증착의 발생이 감소하는 현상을 볼 수 있었다. 높은 Cl₂ 농도일수록 식각 물질이 Cl 라디칼과 반응하여 휘발되는 화학 반응은 물리적인 Ar 이온의 스퍼터링에 의한 식각 물질의 생성 반응 보다 우세하기 때문에 재증착 물질은

**Fig. 2. FESEM photographs of CoZrNb films etched by (a) Ar only, (b) 20% Cl₂/Ar, (c) 40% Cl₂/Ar, (d) 60% Cl₂/Ar, and (e) 20% C₂F₆/Ar.**

효과적으로 제거되는 반면에 식각 속도는 느려진다. 결과적으로 PR 마스크에 대한 자성 박막의 식각 선택도는 감소하므로 식각 경사는 더 나빠지는 것이다. 20% Cl₂/Ar과 20% C₂F₆/Ar 가스가 사용된 FESEM 사진을 비교해보면, CoZrNb 자성 박막은 C₂F₆/Ar 가스 조건에서 재증착이 발생하고 깨끗하지 않은 식각 프로파일을 보이는 반면에 Cl₂/Ar 가스를 사용한 결과는 비교적 깨끗하고 선명한 식각 프로파일을 보인다. 이것은 식각 속도의 결과를 통해서 예측할 수 있었듯이 Cl₂/Ar와 비교하여 C₂F₆/Ar 식각 가스 조건에서 PR 마스크에 대한 자성 박막들의 낮은 선택도의 영향과 Cl과 F 화합물의 물질 차이로 해석된다. 즉, 높은 Cl₂와 C₂F₆의 농도에서 자성 박막들의 식각은 표면에 수직된 방향으로 느리게 진행되는 반면에 PR 마스크의 식각은 수직과 수평의 모든 방향으로 빠르게 진행된다. 따라서 PR 마스크가 자성 박막을 보호하지 못하는 영역이 빠르게 넓어지는 동안에 Ar 이온은 자성 박막을 계속해서 수직으로 식각하지만 그 속도가 매우 느리기 때문에 자성 박막의 식각 경사는 더욱 낮아지게 된 것이다. 이러한 식각 경향은 CoTb 박막의 식각에서도 관찰되었다.

Fig. 3은 식각 가스로 Cl₂/Ar을 사용할 경우, 20%의 Cl₂ 농도에서 CoTb과 CoZrNb 박막의 패턴 옆면에 생성된 식각 잔유물에 대한 AES 분석의 결과이다. PR의 제거 과정에서 생성된 것으로 예상되는 C와 O 성분을 제외하고, AES 분석 결과 검출된 식각 잔유물의 peak는 모두 식각 전 박막의 성분과 일치하였다. 또한 두 자성 박막에서 모두 Cl의 peak (184 eV, 2395 eV)은 검출되지 않은 것으

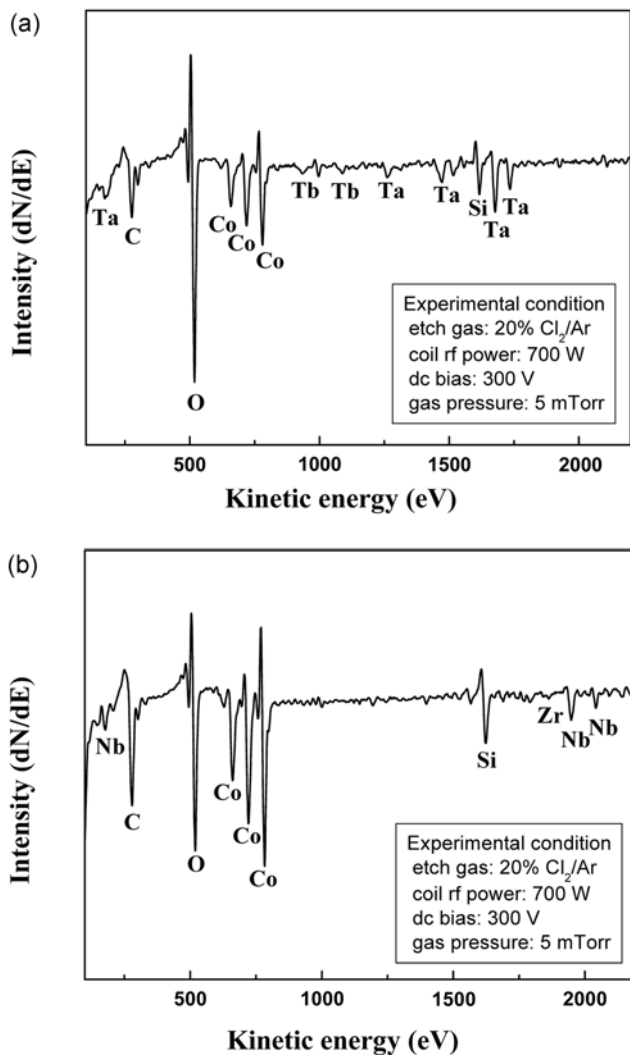


Fig. 3. AES analysis of (a) CoTb and (b) CoZrNb films etched by Cl_2/Ar .

로 보았을 때 식각 가스에 의한 Cl 잔유물은 박막에 남아 있지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, Ar 이온의 물리적인 충돌에 의해서 CoTb와 CoZrNb 박막이 스퍼터링 되면, 스퍼터 된 물질들이 화학적으로 Cl 라디칼과 반응하여 제거된다. 이 때 Cl_2 의 농도가 낮을수록, 스퍼터 된 물질에 비해서 Cl과 반응하여 휘발되는 식각 물질의 양이 적기 때문에 물리적으로 스퍼터된 식각 생성물이 재증착으로 남게 되는 것이다.

Coil rf power와 dc bias voltage의 변화에 따른 CoTb와 CoZrNb 박막의 식각 속도와 식각 프로파일을 조사하였다. Fig. 4는 20% Cl_2 , 300 V의 dc bias voltage 그리고 5 mTorr의 공정 압력에서 coil rf power의 영향에 따른 식각 속도와 프로파일의 변화를 보여주고 있다. Coil rf power가 500 W에서 900 W로 증가할 때 CoZrNb 박막의 식각 속도와 식각 경사는 증가하였고 패턴 측면에 재증착 물질도 생성되었다. Coil rf power가 증가함에 따라서 플라즈마의 밀도가 높아지게 되고 이것은 플라즈마 내의 Ar 이온과 반응성 식각 가스의 라디칼의 밀도가 증가한 것과 같다. 따라서 물리적인 충격 현상과 화학적인 반응이 활발해지면서 자성 박막의 식각 속도는 증가

화학공학 제43권 제4호 2005년 8월

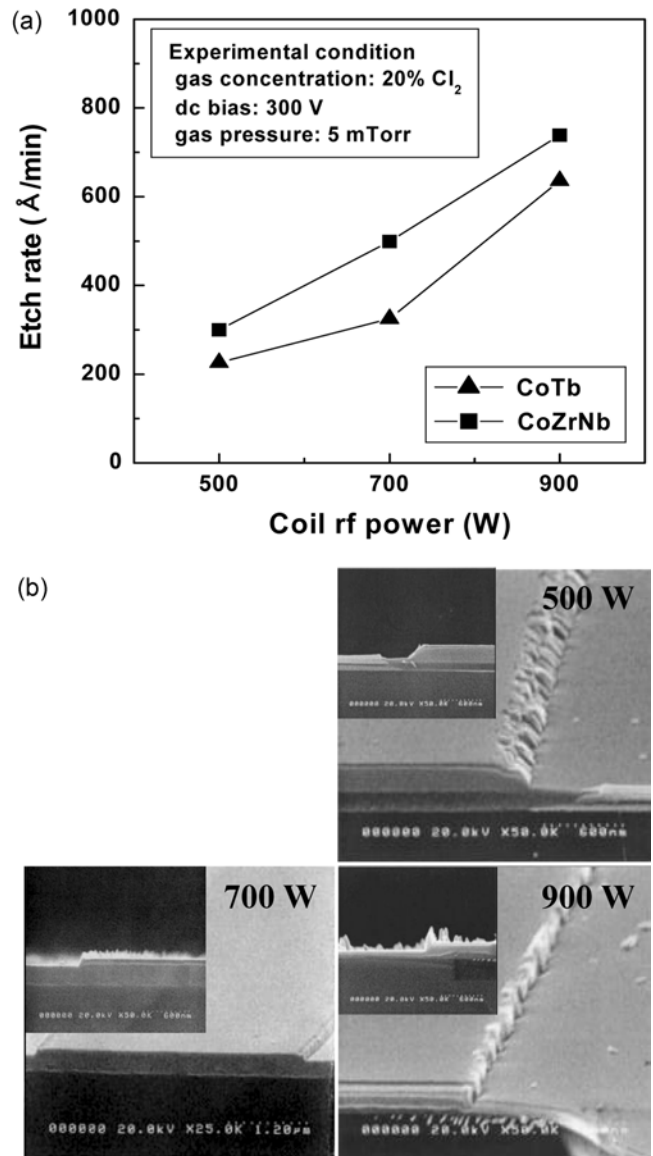


Fig. 4. (a) Etch rates of CoTb and CoZrNb films and (b) FESEM photographs of CoZrNb films etched by varying coil-rf power.

한 것이다. 그리고 반응성 가스의 라디칼 밀도의 증가는 자성 박막과의 화학 반응을 증가시켰지만 자성 박막의 낮은 반응성 때문에 높은 밀도의 Ar 이온과의 충돌에 의해서 스퍼터된 대부분의 자성 박막 성분들이 효과적으로 반응되어 휘발하지 못하고 재증착을 형성하게 되었고 이 재증착 물질들이 높은 밀도의 Cl 라디칼에 의해서 수평 방향으로 진행되는 PR의 식각을 보호해주었기 때문에 식각 경사는 높아지게 된 것이다.

Fig. 5는 20% Cl_2 , 700 W coil rf power 그리고 5 mTorr의 공정 압력에서 dc bias voltage의 영향에 따른 식각 속도와 프로파일의 변화를 보여주고 있다. DC bias가 200 V에서 400 V로 증가할 때 자성 박막들의 식각 속도와 식각 경사는 증가하였고 패턴 측면에 재증착 물질도 생성되었다. ICP RIE의 장점 중의 한 가지는 기판에 인가되는 dc bias voltage를 독립적으로 조절함에 따라서 기판에 충돌하는 Ar 이온의 에너지를 독립적으로 조절할 수 있다는 점이다.

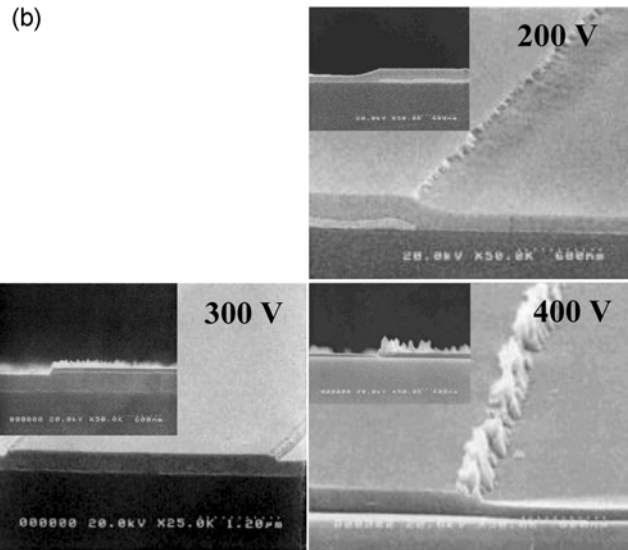
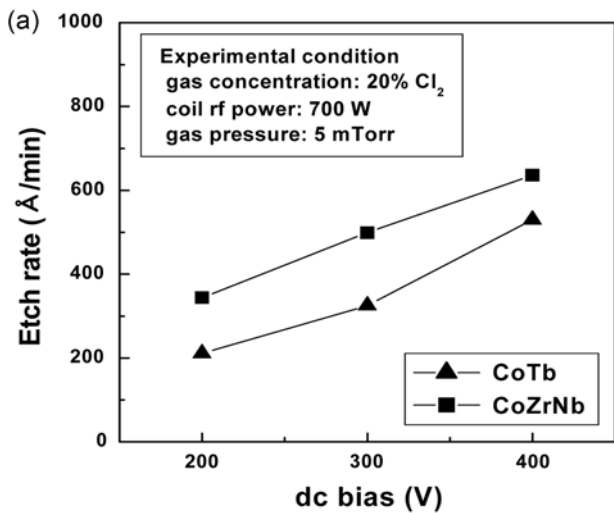


Fig. 5. (a) Etch rates of CoTb and CoZrNb films and (b) FESEM photographs of CoZrNb films etched by varying dc bias voltage.

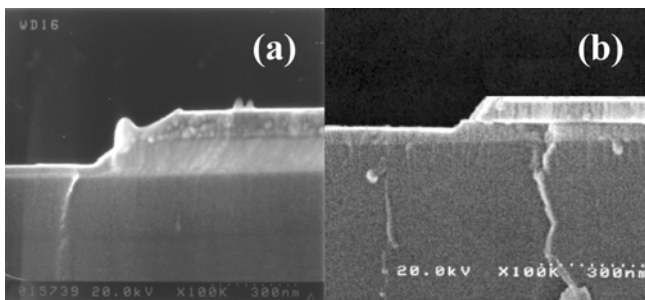


Fig. 6. FESEM photographs of MTJ stack etched by (a) ion milling and (b) ICPRIE.

DC bias voltage가 증가함에 따라서 Cl 라디칼의 영향은 일정한 반면에 Ar 이온에 의한 스퍼터링 효과가 커지기 때문에 자성 박막의 식각 속도와 식각 경사는 증가하고 패턴 측면에 재증착 물질도 많이 생성되는 것이다.

PR 마스크를 이용하여 패턴된 MTJ stack의 ICPRIE에 의한 식각 결과를 ion milling의 식각 결과와 비교해 보았다. Fig. 6(a)는 ion milling에 의해서 MTJ stack을 식각하고 Fig. 6(b)에서는 20% Cl_2 , coil rf power 700 W, dc bias voltage 300 V 그리고 공정 압력 5 mTorr의 조건에서 유도 결합 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각을 하여 얻은 FESEM의 관찰 결과이다. Ion milling에 의해서 MTJ stack을 식각하였을 경우, MTJ stack의 식각 경사는 약 45° 를 넘지 않으며 패턴 옆면에서 재증착이 일어난 것이 관찰되었다. 반면에 Cl_2 를 첨가하고 유도 결합 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각을 하였을 경우, 식각 경사는 약 60° 를 보이고 패턴 옆면의 재증착 물질도 사라진 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

고밀도 유도 결합 플라즈마를 이용한 CoTb와 CoZrNb 자성 박막의 반응성 이온 식각이 진행되었다. 식각 가스로 Cl_2/Ar 와 $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 가스가 선택되어 Cl_2 와 C_2F_6 의 농도의 변화에 따른 자성 박막들의 식각 속도와 식각 프로파일이 조사되었다. $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ 가스보다 빠른 식각 속도와 우수한 식각 프로파일을 보이는 Cl_2/Ar 가스가 CoTb와 CoZrNb 자성 박막의 식각 가스로 적합한 것이 확인되었다. 그러나 Cl_2 가스의 농도가 증가할수록 식각 속도가 감소하고 식각 경사가 낮아지는 것을 관찰할 수 있었고 이것은 Ar 이온의 스퍼터링 현상이 감소하였기 때문인 것으로 해석되었다. 20%의 Cl_2 농도에서 식각한 후에 관찰된 CoTb와 CoZrNb 박막 측면의 식각 잔유물의 성분을 AES 분석을 통해서 확인한 결과, 염소 성분은 확인되지 않았으며 자성 박막 자체의 성분들이 재증착 되는 것이 증명되었다.

Coil rf power와 dc bias voltage의 변화에 따른 CoTb와 CoZrNb 박막의 식각 속도와 식각 프로파일이 조사되었다. Coil rf power와 dc bias voltage가 증가할수록 식각 속도와 식각 경사는 증가하였지만 패턴의 측면에서 재증착이 일어났다. 이것은 coil rf power의 증가는 플라즈마 내의 Ar 이온과 라디칼의 밀도를 증가시키고 dc bias voltage의 증가는 기판으로 스퍼터되는 Ar 이온의 에너지를 증가시켰기 때문인 것으로 해석되었다.

마지막으로, 단위 자성 박막들의 식각 조건을 이용하여 MTJ stack을 식각하고 이것을 ion milling에 의한 MTJ stack의 식각 결과와 비교하였다. ICPRIE 식각의 경우에 식각 경사가 개선되고 식각 잔유물이 발생되지 않았다.

감 사

이 논문은 2003년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음을 감사드립니다. (INHA-30194-01)

참고문헌

1. Jung, K. B., Cho, H., Hahn, Y. B., Lambers, E. S., Onishi, S., Johnson, D., Hurst, A. T., Childress, J. R., Park, Y. D. and Pearnton, S. J., "Relative Merits of Cl_2 and CO/NH_3 Plasma Chemistries for Dry Etching of Magnetic Random Access Memory Device Elements," *J. Appl. Phys.*, **85**(8), 4788-4790(1999).
2. Nordquist, K., Pendharkar, S., Durlam, M., Resnick, D., Tehrani, S., Mancini, D., Zhu, T. and Shi, J., "Process Development of Sub-0.5

- mm Nonvolatile Magnetoresistive Random Access Memory Arrays," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **15**(6), 2274-2278(1997).
3. Tehrani, S., Slaughter, J. M., Chen, E., Durlam, M., Shi, J. and DeHerrera, M., "Process and Outlook for MRAM Technology," *IEEE Trans. Magn.*, **35**(5), 2814-2817(1999).
4. Kim, S. D., Lee, J. J., Lim, S. H., Han, S. H. and Kim, H. J., "Assessment of Dry Etching Damage In Permalloy thin Films," *J. Appl. Phys.*, **85**(8), 5992-5994(1999).
5. Baglin, J. E. E., Tabacniks, M. H., Fontana, R., Kellock, A. J. and Bardin, T. T., "Effects of Ion Irradiation on Ferromagnetic Thin Films," *Materials Science Forum*, **87**, 248-249(1997).
6. Jung, K. B., Lambers, E. S., Childress, J. R. and Pearton, S. J., "Development of Electron Cyclotron Resonance and Inductively Coupled Plasma High Density Plasma Etching for Patterning of NiFe and NiFeCo," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **16**(3), 1697-1701(1998).
7. Jung, K. B., Cho, H. Y., Hahn, B., Hays, D. C., Lambers, E. S., Park, Y. D., Feng, T., Childress, J. R. and Pearton, S. J., "Comparison of Cl_2/He , Cl_2/Ar , and Cl_2/Xe Plasma Chemistries for Dry Etching of NiFe and NiFeCo," *Journal of The Electrochemical Society*, **146**(4), 1465-1468(1999).
8. Khamsehpour, B., Wilkinson, C. D. W. and Chapman, J. N., "Fabrication of NiFe Thin Film Elements by Dry Etching Using $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{O}_2$," *Appl. Phys. Lett.*, **67**(21), 3194-3196(1995).
9. Resnick, D. J., Pendharkar, S., Kyler, K., Kerszykowski, G., Clemens, S., Tompkins, H., Durlam, M. and Tehrani, S., "Etch Characteristics of Giant Magnetoresistive Materials," *Microelectronic Engineering*, **53**, 367-370(2000).
10. Matsui, N., Mashimo, K., Egami, A., Konishi, A., Okada, O. and Tsukada, T., "Etching Characteristics of Magnetic Materials(Co, Fe, Ni) Using CO/NH_3 Gas Plasma for Hardening Mask Etching," *Vacuum*, **66**, 479-485(2002).
11. Shin, B., Song, Y. S. and Chung, C. W., "Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching of NiFe, CoFe, and IrMn Magnetic Thin Films with Cl_2/Ar and $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ Discharges," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **15**(5), 503-507(2004).
12. Lide, D. R., "CRC Handbook of Chemistry and Physics 81st Edition," CRC Press(2000).