



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0031228  
(43) 공개일자 2018년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C23F 1/12 (2006.01) C23F 1/02 (2006.01)  
C23F 4/00 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)  
H01L 21/3213 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
C23F 1/12 (2013.01)  
C23F 1/02 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0119382  
(22) 출원일자 2016년09월19일  
심사청구일자 2016년09월19일

(71) 출원인  
인하대학교 산학협력단  
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)  
(72) 발명자  
정지원  
서울특별시 마포구 마포대로7길 22 삼성래미안공덕3차아파트 303-1202  
(74) 대리인  
특허법인 공간

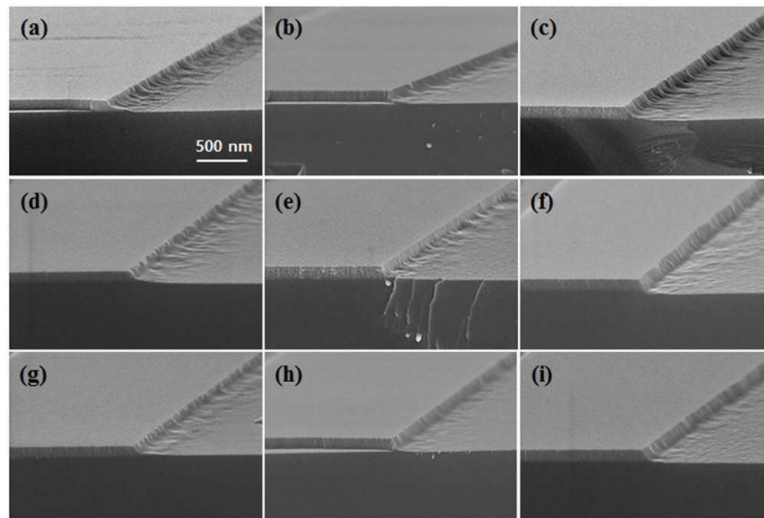
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 탄탈륨 박막의 식각방법

(57) 요약

본 발명은 탄탈륨 박막의 식각방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 탄탈륨 박막에 대하여 식각가스의 종류 및 식각가스의 농도 등을 포함한 최적의 식각공정 조건을 적용함으로써, 종래 탄탈륨 박막의 식각법에 비해 재증착이 발생하지 않으면서 빠른 식각속도 및 높은 이방성 (또는 식각 경사)의 식각프로파일을 제공할 수 있는 탄탈륨 박막의 식각방법에 관한 것이다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

*C23F 4/00* (2013.01)

*H01L 21/3065* (2013.01)

*H01L 21/32136* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10044723

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(반도체공정장비)

연구과제명 스핀-궤도 결합을 이용한 반금속 p-MRAM 기술

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

- (a) 탄탈륨 박막을 마스크로 패터닝하여 마스크하는 단계;
- (b) 염소계 가스 30 ~ 70 vol% 및 불활성 가스 30 ~ 70 vol%를 함유하는 혼합가스를 플라즈마화하는 단계; 및
- (c) 상기 (b) 단계에서 생성된 플라즈마를 이용하여 (a) 단계에서 마스크된 탄탈륨 박막을 식각하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 염소계 가스는  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CCl}_4$  로 구성된 군에서 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 불활성 가스는 He, Ne, Ar 및  $\text{N}_2$ 로 구성된 군에서 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계의 플라즈마화하는 단계의 혼합가스의 압력은 0.1 ~ 1.0 Pa 범위의 압력인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계의 플라즈마화하는 단계의 ICP RF Power는 600 ~ 800 W 범위 인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계의 플라즈마화하는 단계의 DC 바이어스 전압은 300 ~ 400 V 범위 인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계의 플라즈마화는 유도결합플라즈마 반응성 이온식각법, 고밀도 플라즈마 반응성 이온식각법, 자기증강반응성 이온식각법 및 반응성 이온 식각법으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종의 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 탄탈륨 박막의 식각방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 탄탈륨 박막에 대하여 식각가스의 종류 및 식각가스의 농도 등을 포함한 최적의 식각 공정을 적용하여, 종래 탄탈륨 박막의 식각방법에 비해 재증착이 발생하지 않으면서 빠른 식각속도 및 높은 이방성의 식각 프로파일을 제공할 수 있는 탄탈륨 박막의 식각방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 탄탈륨 물질은 고온에서 우수한 내화특성을 보이기 때문에 마이크로일렉트로닉스(microelectronics) 분야에서 내화 금속 (refractory metals)으로 사용되는 물질로, 또한 최근에는 우수한 광흡수특성을 이용하여 단파장을 이용하는 극단 자외선 리소그래피(Extreme ultraviolet lithography)와 X-ray 리소그래피의 식각 마스크 물질로도 이용된다.

[0003] 또한, 탄탈륨 물질은 차세대 비휘발성 반도체 메모리로서 현재 활발히 연구 개발되고 있는 마그네틱 랜덤 액세스 메모리(Magnetic Random Access Memory)소자의 자기 터널 접합(Magnetic Tunnel Junction, MTJ) 제조시에 식각 마스크 물질로도 이용된다. 그리고 반도체 메모리 소자에서 흔히 사용되는 많은 물질들의 식각시에도 탄탈륨 박막은 식각 마스크 물질로 이용되고 있는 실정이다.

[0005] 일반적으로 미세 패터닝을 위한 박막들의 식각공정에는 습식 식각과 건식 식각 방법이 있으며, 습식 식각의 경우에는 산화막 밑의 반도체 기판은 식각되지 않아 선택적 식각이 가능하며, 처리 능력이 우수한 장점이 있으나, 강한 산을 사용한 후의 폐기물 공해, 다량의 물이 필요함에 따른 물의 확보와 이로 인한 배수 처리 비용, 언더컷으로 패턴의 폭이 줄어드는 문제점이 있다.

[0006] 또한, 최근에는 식각할 패턴들의 크기가 수 마이크로미터 크기 이하로 축소됨에 따라서 습식 식각의 적용이 어려워지고 있어, 패턴 전달에 충실한 플라즈마를 이용하는 건식 식각의 필요성이 부각되고 있다.

[0007] 건식 식각공정은 저압의 플라즈마를 이용하는 식각법으로서 플라즈마의 화학반응성에 의하여 이온 밀링(ion milling) 식각법과 반응성 이온 식각(reactive ion etching)법 두 가지로 구분될 수 있고, 상기 이온 밀링(ion milling) 식각법은 불활성 가스인 아르곤(Ar) 플라즈마를 이용하며, 반응성 이온 식각(reactive ion etching)법은 여러 가지 화학가스를 사용하여 식각을 수행한다.

[0008] 도 1의 (a)는 식각전 시료 구조를 나타낸 것으로, 기판(substrate) 위에는 탄탈륨 박막이 증착되어 있으며, 상기 탄탈륨 박막 위에는 포토레지스트 마스크가 위치한 구조를 도시한 것이다.

[0009] 일반적으로 탄탈륨 박막을 장비가 단순하고 물리적 식각 메카니즘을 이용하는 이온 밀링 식각법을 사용하여 식각을 하는 경우, 또는 패턴의 크기가 대략 5 ~ 10  $\mu\text{m}$ 이하로 식각을 하는 경우에는 도 1의 (b)에 나타낸 바와 같이 식각된 패턴주위로 재증착이 일어나 펜스(fence)모양을 형성한다. 이는 이온밀링 식각법이 화학반응 없이 순수하게 아르곤(Ar) 양이온의 충돌 에너지에 의하여 박막 물질의 일부가 스퍼터링되어 제거되는 식각 메카니즘에 기인한다.

[0010] 따라서 탄탈륨 박막 상에 패턴의 크기가 서브마이크로미터 또는 나노미터 크기 이하로 축소되거나, 패턴 사이의 간격이 나노미터 크기로 축소될 때 재증착이 더욱 심화되는 문제가 있다. 또한, 탄탈륨 박막의 두께가 나노미터 수준 이하로 얇아진다면, 분리되어 있는 금속 박막들이 위아래로 서로 연결되어 전기적 쇼트이 발생할 가능성도 있다. 따라서 고집적 소자들의 제조를 위하여 탄탈륨 박막을 식각하는 경우에는 물리적 식각 메카니즘에 의한 이온 밀링법이 아닌 화학반응이 적용된 반응성 이온 식각법이 적용되어야 할 것이다. 또한 최근에는 플라즈마 밀도가 높아 식각속도가 빠르고 식각선택도를 증가시킬 수 있는 고밀도 플라즈마 반응성 이온 식각법이 적용되고 있다.

[0011] 반응성 이온 식각법은 식각 가스를 플라즈마 상태로 만들고 상·하부 전극을 이용해 플라즈마 상태의 가스를 기판에 충돌시키는 방식으로, 물리적 충격과 화학반응의 결합에 의해 이루어지는 것으로, 도 1의 (c) 및 (d)는 종래의 반응성 이온 식각법으로 식각된 박막 구조이다.

[0012] 반응성 이온 식각법에 의하여 탄탈륨 박막을 식각하는 경우에 적절하지 않은 식각 가스나 적절하지 않은 식각

가스의 농도를 사용하는 경우, 또는 적절치 못한 식각 공정을 적용하는 경우에는 식각속도가 느리거나 식각선택도가 낮고 패턴의 크기가 변화하게 되고 식각된 패턴의 측면에 재증착이 되는 문제가 발생된다.

[0013] 또한, 최적화되지 않은 식각 가스 또는 식각 조건으로 식각을 수행하는 경우 재증착의 발생은 감소하나, 도 1의 (c)에 나타낸 바와 같이 식각된 측면경사(식각 경사)가 매우 완만하여 미세패턴의 식각에 적용하기 어려운 문제가 있다.

[0014] 박막 식각 방법에 대한 선행기술로는 한국등록특허 제10-0355267호(2002.10.11.)는 산화물 및 금속 다층 박막의 식각방법 및 이를 이용한 전계 효과 트랜지스터 소자 제조방법에 관한 것으로, 스트론튬-비스무스-탄탈륨 산화물계(SBT)의 강유 전계 박막 및 백금(Pt) 박막의 다층박막을 건식식각으로 포토레지스트(PR)만을 사용하여 동시(one-step)에 식각하는 방법에 관한 것이다. 상기의 선행기술은 염소( $Cl_2$ ) 및 아르곤(Ar)가스를 사용하여 고밀도 플라즈마 건식식각을 통해 백금 박막 및 SBT 박막을 일괄적으로 식각하는 공정이다. 상기의 선행기술은 ICP 방식을 이용한 식각방법으로, 플라즈마 내에 유도성 인덕턴스 성분에 의해 수직방향의 자기장과 수평방향의 전기장을 따라 전자를 회전시키고 가스입자와 충돌시켜 고밀도의 플라즈마를 형성하지만 탄탈륨계의 고경도의 박막 식각에는 낮은 식각율의 문제점이 있다.

[0015] 또한, 한국공개특허 제10-2008-0015271호(2008.02.19.)는 탄탈륨질화막의 식각방법에 관한 것으로, 표면에 생성된 자연산화막을 제거하면서도 충분히 식각율을 확보할 수 있는 탄탈륨질화막의 식각방법에 관한 것이다. 상기의 선행기술은 보론이 포함된 가스를 주 식각가스( $BCl_3/Ar/O_2$ )로 사용하여 탄탈륨질화막 표면에 생성된 자연산화막을 제거하면서 탄탈륨질화막을 식각하는 것을 특징으로 한다. 그러나 상기의 선행기술은 탄탈륨 박막의 식각에 대하여 재증착으로 인한 낮은 균일성과 낮은 식각율이 발생하는 문제점이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0016] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0355267호(2002.10.11.)  
(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2008-0015271호(2008.02.19.)

### 비특허문헌

[0017] (비특허문헌 0001) 1. R. Hsiao, D. Miller, J. Electrochem. Soc. 143 (1996) 3266.  
(비특허문헌 0002) 2. Z. Chen, E. Dubios, F. Ravau, F. Danneville, Microelectronic Engineering 97 (2012) 280.  
(비특허문헌 0003) 3. M. Yamada, M. Nakaishi, K. Sugishima, J. Electrochem. Soc. 138 (1991) 496.  
(비특허문헌 0004) 4. S.H. Kim, S.G. Woo, S.Y. Ju, K.J. Lee, J.H. Ahn, J. Korean Phys. Soc. 40 (2002) 160.  
(비특허문헌 0005) 5. H. Shimada, K. Maruyama, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) 1768.  
(비특허문헌 0006) 6. J.Y. Jeong, S.E. Babayan, V.J. Tu, J. Park, I. Henins, J. Velarde, R.F. Hicks, G.S. Selwyn, Plasma Sources Sci. Technol. 7 (1998) 282.  
(비특허문헌 0007) 7. V.J. Tu, J.Y. Jeong, A. Schutze, S.E. Babayan, G. Ding, G.S. Selwyn, R.F. Hicks, J. Vac. Sci. Technol. A 18 (2000) 2799.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0018] 본 발명의 주된 목적은 반도체 재료로서 또는 식각 마스크로서 증착된 탄탈륨 박막에 대하여 재증착이 발생하지 않으면서 식각 잔류물 없이 빠른 식각속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공할 수 있는 탄탈륨 박막의 식

각방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0019] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, (a) 탄탈륨 박막을 마스크로 패터닝하여 마스크하는 단계; (b) 염소계 가스 30 ~ 70 vol% 및 불활성 가스 30 ~ 70 vol%를 함유하는 혼합가스를 플라즈마화하는 단계; 및 (c) 상기 (b) 단계에서 생성된 플라즈마를 이용하여 (a) 단계에서 마스크된 탄탈륨 박막을 식각하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.
- [0020] 본 발명에 있어서, 상기 염소계 가스는  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CCl}_4$  로 구성된 군에서 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.
- [0021] 본 발명에 있어서, 상기 불활성 가스는 He, Ne, Ar 및  $\text{N}_2$ 로 구성된 군에서 선택되는 1종 이상인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.
- [0022] 본 발명에 있어서, 상기 (b) 단계의 플라즈마화하는 단계의 혼합가스의 압력은 0.1 ~ 1.0 Pa 범위의 압력인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.
- [0023] 본 발명에 있어서, 상기 (b) 단계의 플라즈마화하는 단계의 ICP RF Power는 600 ~ 800 W 범위 인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.
- [0024] 본 발명에 있어서, 상기 (b) 단계의 플라즈마화하는 단계의 DC 바이어스 전압은 300 ~ 400 V 범위인 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.
- [0025] 본 발명에 있어서, 상기 (b) 단계의 플라즈마화는 유도결합플라즈마 반응성 이온식각법, 고밀도 플라즈마 반응성 이온식각법, 자기증강반응성 이온식각법 및 반응성 이온 식각법으로 구성된 군으로부터 선택되는 1종의 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법을 제공한다.

### 발명의 효과

- [0026] 본 발명에 따른 탄탈륨 박막의 식각방법은 최적의 식각가스와 최적의 식각가스농도에 의한 최적의 식각공정 조건을 적용함으로써, 종래 탄탈륨 박막의 식각방법에 비해 재증착이 발생하지 않으면서 또한 식각 잔류물 없이 빠른 식각 속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공하여 탄탈륨 박막이 이용되는 모든 소자 및 기기들에 적용할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 박막 식각 전/후의 측면구조를 개략적으로 나타낸 것으로, (a)는 식각 전의 박막구조이고, (b)는 종래의 이온 밀링 식각법으로 식각된 박막구조이며, (c)와 (d)는 종래의 반응성 이온 식각법으로 식각된 박막구조이다.
- 도 2는  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도에 따른 탄탈륨 박막 및 포토레지스트 (photoresist; PR) 마스크의 식각 속도 변화 및 식각 선택도를 보여주는 그래프이다.
- 도 3은  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도에 따라 식각된 탄탈륨 박막의 SEM사진으로, (a)는 20%  $\text{C}_2\text{F}_6$ 에서 식각된 박막이고, (b)는 40%  $\text{C}_2\text{F}_6$ 에서 식각된 박막이며, (c)는 60%  $\text{C}_2\text{F}_6$ 에서 식각된 박막이고, (d)는 80%  $\text{C}_2\text{F}_6$ 에서 식각된 박막이다.
- 도 4는  $\text{HBr}/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{HBr}$  농도에 따른 탄탈륨 박막 및 포토레지스트 (photoresist; PR) 마스크의 식각속도 변화 및 식각 선택도를 보여주는 그래프이다.
- 도 5는  $\text{HBr}/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{HBr}$  농도에 따라 식각된 탄탈륨 박막의 SEM사진으로, (a)는 20%  $\text{HBr}$ 에서 식각된 박막이고, (b)는 40%  $\text{HBr}$ 에서 식각된 박막이며, (c)는 60%  $\text{HBr}$ 에서 식각된 박막이고, (d)는 80%  $\text{HBr}$ 에서 식각된 박막이다.
- 도 6(a)는 ICP RF Power를 변화시키면서 (600 W, 700 W, 800 W)  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따른 탄탈륨 박막 및 포토레지스트 (photoresist; PR) 마스크의 식각속도 변화를 보여주는 그래프이다.
- 도 6(b)는 ICP RF Power를 변화시키면서 (600 W, 700 W, 800 W)  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따른 포토레지

스트 (photoresist; PR) 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 7은  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따른 플라즈마 내에서 입자들에 대한 OES 분석 그래프이다.

도 8은 ICP RF Power를 변화시키면서 (600 W, 700 W, 800 W)  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따라 식각된 탄탈륨 박막의 SEM사진으로, (a)는 20%  $\text{Cl}_2/600$  W에서 식각된 박막이고, (b)는 60%  $\text{Cl}_2/600$  W에서 식각된 박막이며, (c)는 100%  $\text{Cl}_2/600$  W에서 식각된 박막이고, (d)는 20%  $\text{Cl}_2/700$  W에서 식각된 박막이고, (e)는 60%  $\text{Cl}_2/700$  W에서 식각된 박막이며, (f)는 100%  $\text{Cl}_2/700$  W에서 식각된 박막이고, (g)는 20%  $\text{Cl}_2/800$  W에서 식각된 박막이고, (h)는 60%  $\text{Cl}_2/800$  W에서 식각된 박막이며, (i)는 100%  $\text{Cl}_2/800$  W에서 식각된 박막이다.

도 9는 식각 전 탄탈륨 박막과 60%  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$ , 700 W ICP RF Power, 300 V DC-bias, 0.67 Pa 압력에서 식각된 탄탈륨 박막에 대하여 (a) Ta 4f, (b) Cl 2p peak에 대한 XPS 분석 그래프이다.

도 10은 ICP RF Power의 변화에 대한 탄탈륨 박막과 PR 마스크들의 식각 속도와 PR 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도에 대한 그래프이다.

도 11은 (a) dc-bias 전압의 변화에 대한 탄탈륨 박막과 PR 마스크들의 식각 속도와 PR 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도에 대한 그래프이며, (b) 200 V dc-bias, (c) 400 V dc-bias일 경우의 식각박막의 SEM 사진이다.

도 12는 (a) 압력의 변화에 대한 탄탈륨 박막과 PR 마스크들의 식각 속도와 PR 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도에 대한 그래프이며, (b) 0.13 Pa, (c) 1.33 Pa일 경우의 식각박막의 SEM 사진이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록, 본 발명에 따른 탄탈륨 박막의 식각방법에 대해 상세히 설명하도록 한다.
- [0029] 다른 식으로 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용된 모든 기술적 및 과학적 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 숙련된 전문가에 의해서 통상적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로, 본 명세서에서 사용된 명명법 은 본 기술분야에서 잘 알려져 있고 통상적으로 사용되는 것이다.
- [0030] 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 원리를 상세하게 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0031] 또한, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원 시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0032] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0034] 본 발명은 (a) 탄탈륨을 포토레스트 마스크로 패터닝하여 마스크하는 단계; (b) 염소계 가스 30 ~ 70 vol% 및 불활성 가스 30 ~ 70 vol%를 함유하는 혼합가스를 플라즈마화하는 단계; 및 (c) 상기 (b) 단계에서 생성된 플라즈마를 이용하여 (a) 단계에서 마스크된 탄탈륨 박막을 식각하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄탈륨 박막의 식각방법에 관한 것이다.
- [0035] 이하 본 발명을 단계별로 상세히 설명한다.
- [0036] 본 발명에 따른 탄탈륨 박막의 식각방법에 있어서, (a) 단계는 탄탈륨 박막을 마스크로 패터닝하여 마스크하는 단계이다.
- [0037] 상기 마스크는 포토레지스트 또는 하드마스크를 사용할 수 있으며, 보다 바람직하게는 포토레지스트를 사용하는 것이 경제적 측면에서 더 유용하다 .
- [0038] 본 발명에 따른 탄탈륨 박막의 식각방법에 있어서, (b) 단계는 혼합가스를 플라즈마화하는 단계로, 염소계 가스 30 ~ 70 vol%, 불화성 가스 30 ~ 70 vol%를 혼합하여 사용하는 것을 특징으로 한다.

- [0039] 상기 염소계 가스는  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CCl}_4$ 로 이루어진 그룹 중에서 선택된 어느 하나의 단독 염소계 가스 또는 둘이상의 혼합 염소계 가스인 것을 특징으로 한다.
- [0040] 상기 불화성 가스는 He, Ne, Ar 및  $\text{N}_2$ 로 이루어진 그룹 중에서 선택된 어느 하나의 단독 불화성 가스 또는 둘이상의 혼합 불화성 가스인 것을 특징으로 한다.
- [0042] 본 발명에서는  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$ ,  $\text{HBr}/\text{Ar}$ ,  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  가스를 사용하여 탄탈륨 박막을 식각한 것을 비교한다.
- [0043] 도 2는  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도에 따른 탄탈륨 박막 및 포토레지스트 마스크의 식각속도 변화 및 식각 선택도를 보여주는 그래프이다. 이때의 식각 조건은 ICP RF Power 700W, DC-Bias 300V, 혼합가스의 압력은 0.67Pa이다.
- [0044] 도 2에 따르면,  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 0%에서 100% 까지 증가함에 따라 탄탈륨 박막의 에칭 속도는 30 nm/min에서 75 nm/min로 증가하는 것으로 나타났다. 포토 레지스트의 에칭 속도는 탄탈륨 박막의 에칭 속도보다 훨씬 빠른 것으로 나타났으며, 100 nm/min에서 200 nm/min으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Ta/PR의 에칭 선택성은 0.5 미만인 것으로 나타났다.
- [0045] 도 3은  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도에 따라 식각된 탄탈륨 박막의 SEM 사진으로, (a)는  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 20%, (b)는  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 40%, (c)는  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 60%, (d)는  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 80%이다.
- [0046] 도 3의  $\text{C}_2\text{F}_6/\text{Ar}$  혼합가스로 식각된 탄탈륨 박막의 식각 프로파일을 살펴보면,  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 20%, 40%일 경우에는 깨끗하게 보이나, 식각된 탄탈륨 박막의 식각 측벽 각도는 매우 경사진 것을 확인할 수 있다.  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 40%에서 60%로 그리고 80%로 증가함에 따라 식각 측벽 각도는 가파른 것을 확인할 수 있으며, 특히  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 80%일 경우에는 가장 우수한 식각 이방성을 갖는 것으로 확인된다. 그러나,  $\text{C}_2\text{F}_6$  농도가 60%와 80%인 경우에는 탄탈륨 박막의 식각된 부분에 식각 잔류물 또는 재증착되는 것을 확인할 수 있으며, 이로 인해  $\text{C}_2\text{F}_6$  가스를 사용할 경우에는 미세 패턴을 식각하기 위한 식각 가스로는 적합하지 않다.
- [0047] 도 4은  $\text{HBr}/\text{Ar}$  혼합가스 중 HBr 농도에 따른 탄탈륨 박막 및 포토레지스트 마스크의 식각속도 변화 및 식각 선택도를 보여주는 그래프이다. 이때의 식각 조건은 ICP RF Power 700W, DC-bias 300V, 혼합가스의 압력은 0.67Pa이다.
- [0048] 도 4에 따르면,  $\text{HBr}/\text{Ar}$  혼합가스 중 HBr 농도는 0%에서 80%로 증가함에 따라 탄탈륨 박막의 식각 속도는 30 nm/min에서 130 nm/min으로 증가하는 것으로 나타났으며, 포토레지스트는 HBr의 농도가 0%에서 20%로 증가할 때는 식각 속도가 100 nm/min에서 275 nm/min 으로 증가하는 것으로 나타났으나, 20%에서 40%, 60%, 80%로 증가하는 경우에는 식각 속도가 감소하는 것으로 나타났으며, 이로 인해, HBr의 농도가 20%이하인 경우에는 Ta/PR의 에칭 선택성은 감소하였으나, 20%이상인 경우에는 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다.
- [0049] 도 5는 혼합가스 중 HBr 농도에 따라 식각된 탄탈륨 박막의 SEM 사진으로, (a)는 HBr 농도가 20%, (b)는 HBr 농도가 40%, (c)는 HBr 농도가 60%, (d)는 HBr 농도가 80%이다.
- [0050] 도 5의  $\text{HBr}/\text{Ar}$  혼합가스로 식각된 탄탈륨 박막의 식각 프로파일을 살펴보면, HBr 농도가 20%에서 40%로 증가함에 따라 식각 프로파일이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 포토 레지스트에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도는 20% HBr에서 가장 낮은 값을 보이고 있으며, HBr의 농도가 20% 이상 증가하는 경우에 비로써 증가하는 것으로 나타났다.
- [0051] 도 5에 따르면, HBr 농도가 80%, Ar의 농도가 20%일 경우에는 가장 우수한 식각 이방성을 갖는 것으로 확인된다. 그러나, HBr 농도가 80%, Ar의 농도가 20%일 경우에는 탄탈륨 박막의 식각된 부분에 식각 잔류물 또는 재증착되는 것을 확인할 수 있으며, 식각 경사도는 여전히 60° 정도로 양호하지 못하기 때문에 미세 패턴을 식각하기 위한 식각 가스로는 적합하지 않다.
- [0052] 도 6은 ICP RF Power를 변화시키면서  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따른 탄탈륨 박막 및 포토 레지스트 마스크의 식각 속도 변화와 식각 선택도의 변화를 보여주는 그래프이다. 그 중에서 도 6의 (a)는 ICP RF Power가 600W, 700W, 800W 일 경우에 식각 속도 변화 그래프이며, (b)는 ICP RF Power가 600W, 700W, 800W 일 경우에

식각 선택도 그래프이다. 이때의 식각 조건은 DC-Bias 300V, 혼합가스의 압력은 0.67Pa이다.

- [0053]  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도는 0 vol%에서 100 vol%로 변화시켜 식각을 진행한다.
- [0054] 탄탈륨 박막의 식각 속도는 각각의 ICP RF Power에서  $\text{Cl}_2$  가스의 농도가 증가함에 따라서 점차적으로 증가하였으며 포토 레지스트의 식각 속도도 동일하게 천천히 증가하였다. ICP RF Power에 따른 탄탈륨 박막의 식각 속도를 비교하면, ICP RF Power가 800 W인 경우에는 가장 우수한 식각 속도를 갖는 것으로 나타났으며, 그 다음으로 700 W, 600 W의 순으로 식각 속도를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 포토 레지스트의 식각속도를 비교한 경우에는 탄탈륨 박막의 식각 속도와 유사하게 ICP RF Power가 800 W에서 가장 빨랐으며 600 W에서 가장 느렸다. 특히, ICP RF Power가 800 W인 경우에는 포토 레지스트의 식각 속도는 매우 크게 증가함을 알 수 있다.
- [0055] ICP RF Power가 증가함에 따라 탄탈륨 박막의 식각 선택도는 포토 레지스트의 식각 속도의 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타나, ICP RF Power가 800 W일 때, 가장 낮았으며, 600 W일 때, 가장 큰 것으로 나타났다.
- [0056] 도 7은  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따른 플라즈마 내에서 입자들에 대한 OES 분석 그래프로, ICP RF Power 700 W, DC-Bias 300 V, 혼합가스의 압력은 0.67Pa이다.
- [0057] 혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도가 증가함에 따라 Cl 라디칼은 증가하며, 지속적으로 증가하는 경향을 보이나, 초기의  $\text{Cl}_2$ 의 농도에 비하여 증가하는 폭은 크지 않고, 거의 일정하게 지속되는 것으로 나타났으며, Ar 이온은  $\text{Cl}_2$ 의 농도가 증가함에 따라 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다.
- [0058] 도 8은 ICP RF Power를 변화시키면서  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스 중  $\text{Cl}_2$  농도에 따라 식각된 탄탈륨 박막의 SEM사진이다.
- [0059] 도 8의 (a) ~ (c)는 ICP RF Power 600W에서 식각된 박막으로, (a)의  $\text{Cl}_2$ 의 농도는 20%, (b)는 60%, (c)는 100%이며, (d) ~ (f)는 CP RF Power 700W에서 식각된 박막으로, (d)의  $\text{Cl}_2$ 의 농도는 20%, (e)는 60%, (f)는 100%이다. 마지막으로, (g) ~ (i)는 ICP RF Power 800W에서 식각된 박막으로, (g)의  $\text{Cl}_2$ 의 농도는 20%, (h)는 60%, (i)는 100%이다.
- [0060] 도 8에 따르면,  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스의 경우에 탄탈륨 박막의 식각 프로파일은 일반적으로 우수해 보인다. 각각의 ICP rf power에서  $\text{Cl}_2$ 농도가 증가함에 따라서 탄탈륨 박막의 식각 프로파일들은 식각된 박막의 측면에 존재하는 식각 재증착이나 잔류물들이 감소하며 식각 경사도 증가함을 보인다. 또한 일정한  $\text{Cl}_2$  농도에서는 ICP RF Power가 증가함에 따라서 식각 프로파일이 현저하게 개선되는 것이 관찰된다.
- [0061] 도 9는 식각 메커니즘을 이해하기 위한 것으로, 60%  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$ , 700 W ICP RF Power, 300 V dc-bias voltage, 0.67 Pa (5 mTorr)의 표준 식각 조건에서 식각하여 식각된 탄탈륨 박막의 표면과 식각전의 탄탈륨 박막의 표면이 XPS에 의하여 분석되었다.
- [0062] 이는 도 9의 (a)의 XPS 분석에 의해서 확인할 수 있는 것으로, Ta 4f narrow scan으로부터 탄탈륨 박막은 식각 전부터 부분적으로 산화되어  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 가 존재하고 있는 것이 관찰되었으며 식각 후에는 박막의 표면에  $\text{TaCl}_x$  및  $\text{TaCl}_5$ 가 생성되어 존재하고 있는 것이 파악되었다.
- [0063] 또한, 도 9의 (b)에 따르면, Cl 2p narrow scan으로부터는 식각된 탄탈륨 박막에 Cl 화합물이 존재하는 것이 확인되었으며, 상기 혼합물은 분명히  $\text{TaCl}_x$ 의 탄탈륨을 포함하는 Cl 화합물이라는 결론에 도달 할 수 있다.
- [0064]  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  혼합가스에서 탄탈륨 박막의 식각공정을 최적화하기 위하여 60%  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$ , 700 W ICP RF Power, 300 V DC-bias voltage, 0.67 Pa (5 mTorr)의 표준 식각 조건으로 하였으며, 각각의 변수들을 하나씩 변화하여 식각 속도, 식각 선택도 및 식각 프로파일들이 관찰하였다.
- [0065] 그 중에서 도 10은 ICP RF Power의 변화에 대한 탄탈륨 박막과 PR 마스크들의 식각 속도와 PR 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도에 대한 그래프이다.
- [0066] 이때의 식각공정 조건은 60%  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  가스 농도, 300 V DC-bias voltage과 0.67 Pa 압력이며, ICP rf power를 600 W, 700 W, 800 W로 변화시켜서 식각한 결과를 도 10에 도시하였다.
- [0067] 도 10에 따르면, ICP RF Power가 증가함에 따라, 탄탈륨 박막 및 포토레지스트의 식각속도는 증가하는 것을 알 수

있으나, 반면에 식각 선택도는 감소함을 알 수 있다. 상기 도8 (b), (e), (h)에서 확인할 수 있듯이 power가 증가함에 따라서 식각 프로파일은 재증착 없이 매우 우수한 식각이방성 즉, 85° 이상의 우수한 식각경사를 갖는 것으로 확인된다. 상기의 결과는 ICP RF Power가 증가함에 따라 챔버의 플라즈마 밀도가 증가하며, 이로 인해 생성되는 Cl 라디칼과 Ar 이온의 양이 큰 폭으로 증가하게 되며, 상기의 Cl 라디칼과 Ar 이온이 식각공정에 참여하게 되면서, 표면화학반응이 증가하며 재증착이 현저히 감소하게 되고 수직적인 이온의 충돌이 가능하게 되어 우수한 식각 프로파일을 갖게 된 것이다.

[0068] 도 11의 (a)는 DC-bias 전압의 변화에 대한 탄탈륨 박막과 PR 마스크들의 식각 속도와 PR 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도에 대한 그래프이다.

[0069] 도 11의 (a)에 따르면, DC-bias 전압을 200 V, 300 V, 400 V로 증가시키면서 탄탈륨 박막을 식각한 경우에는 탄탈륨 박막과 포토레지스트의 식각속도는 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 식각선택도는 400 V의 바이어스 전압에서 감소하는 결과를 보였다.

[0070] 도 11의 (b)는 DC-bais 전압이 200 V인 경우의 식각된 탄탈륨 박막의 SEM 사진이며, 도 11의 (c)는 DC-bais 전압이 400 V인 경우의 식각된 탄탈륨 박막의 SEM 사진으로, 도 8의 (e)의 DC-bais 전압이 300 V인 경우를 비교하여 보면, 바이어스 전압이 증가함에 따라서 식각프로파일은 현저하게 증가됨을 알 수 있다. 상기 결과는 바이어스 전압의 증가에 의하여 박막 시료에 충돌하는 이온들의 충돌에너지가 증가하여 표면의 결함을 깨고 또한 표면 생성물을 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 우수한 식각프로파일을 갖게 된다.

[0071] 도 12의 (a)는 혼합가스 압력의 변화에 대한 탄탈륨 박막과 PR 마스크들의 식각 속도와 PR 마스크에 대한 탄탈륨 박막의 식각 선택도에 대한 그래프이다.

[0072] 도 12에 따르면, 식각공정 압력을 0.13 Pa, 0.67 Pa, 1.33 Pa로 변화시켜며 식각한 경우에는 탄탈륨 박막의 식각 속도는 매우 적게 감소하였으나 포토레지스트의 식각 속도는 크게 감소함을 알 수 있었고, 그 결과 식각 선택도는 크게 변화하여 1.33 Pa의 압력에서 가장 큰 값을 나타내었다.

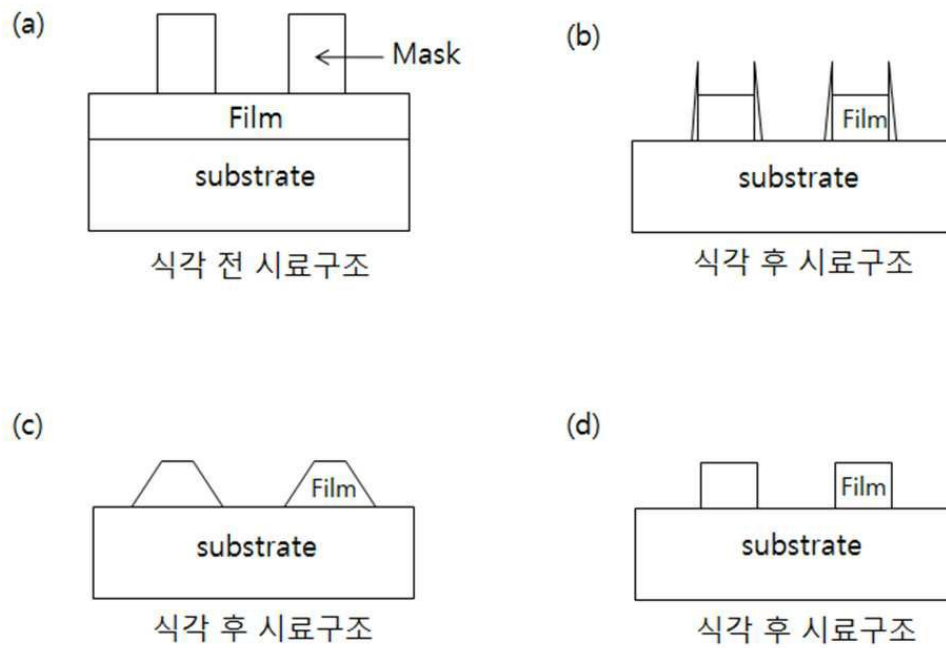
[0073] 도 12 (b)는 0.13 Pa인 경우의 탄탈륨 박막의 SEM 사진이며, 도 12 (c)는 1.33 Pa인 경우의 탄탈륨 박막의 SEM 사진이다.

[0074] 도 12 (b), (c) 및 도 8 (e)를 비교하면, 식각 프로파일의 경우에는 가장 낮은 압력인 0.13 Pa에서 약 85도 이상의 식각경사를 보이는 우수한 결과를 얻을 수 있다. 이는 저압에서 이온이나 라디칼들의 평균 자유행로 값이 증가하여 스캐터링에 의한 소멸 없이 박막의 표면까지 잘 도달하여 라디칼은 표면 화학반응을 하고 이온들은 고 에너지를 가지고 직진 하강하여 효과적인 스퍼터링을 하게 되어 우수한 식각 프로파일을 갖는 것으로 확인된다.

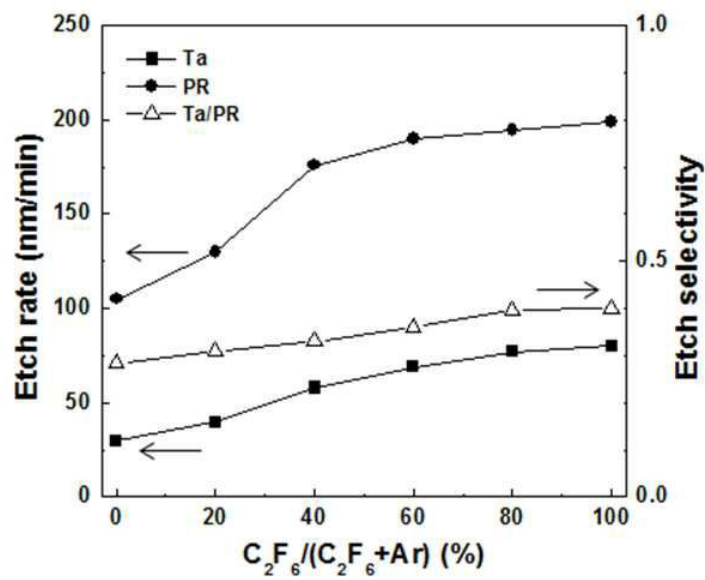
[0076] 이상으로 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 하여 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

도면

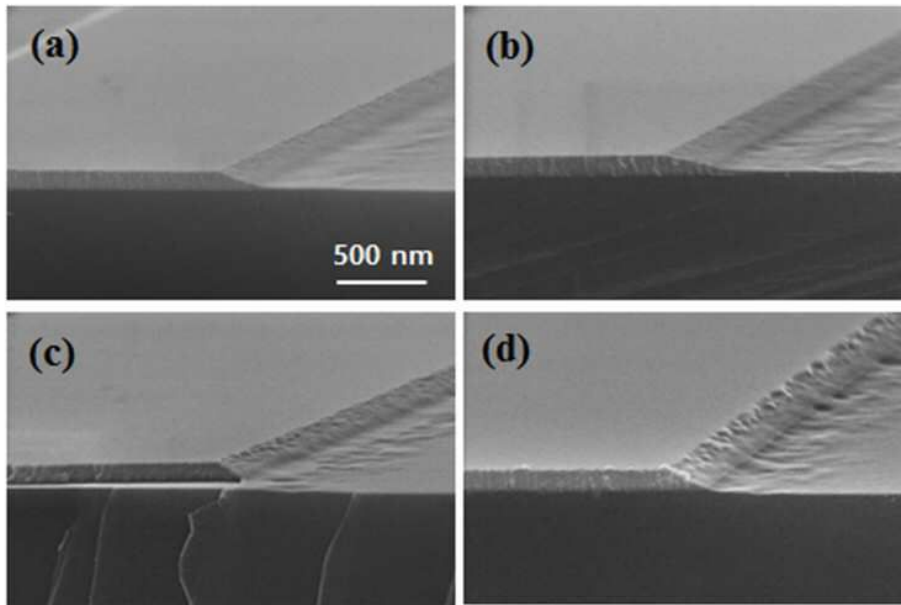
도면1



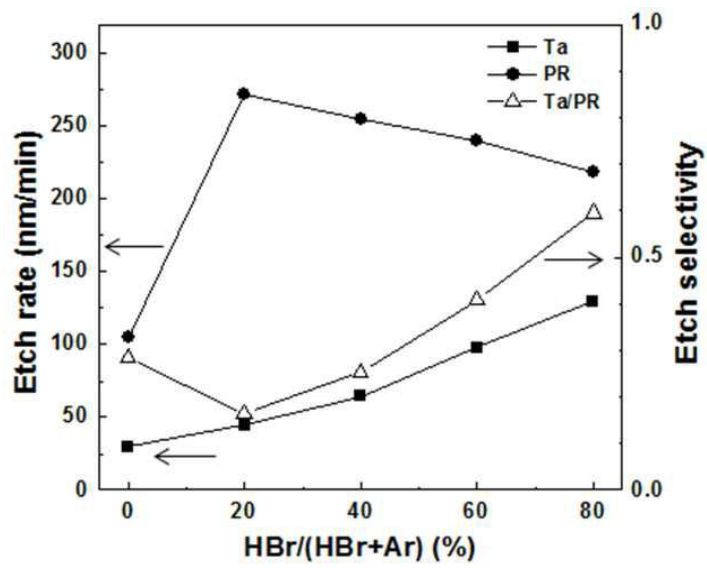
도면2



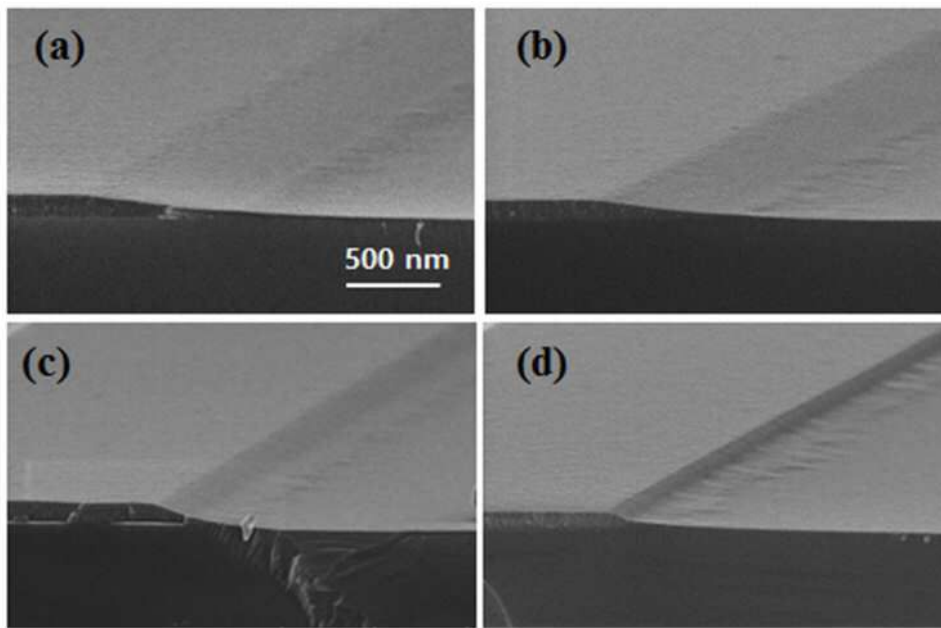
도면3



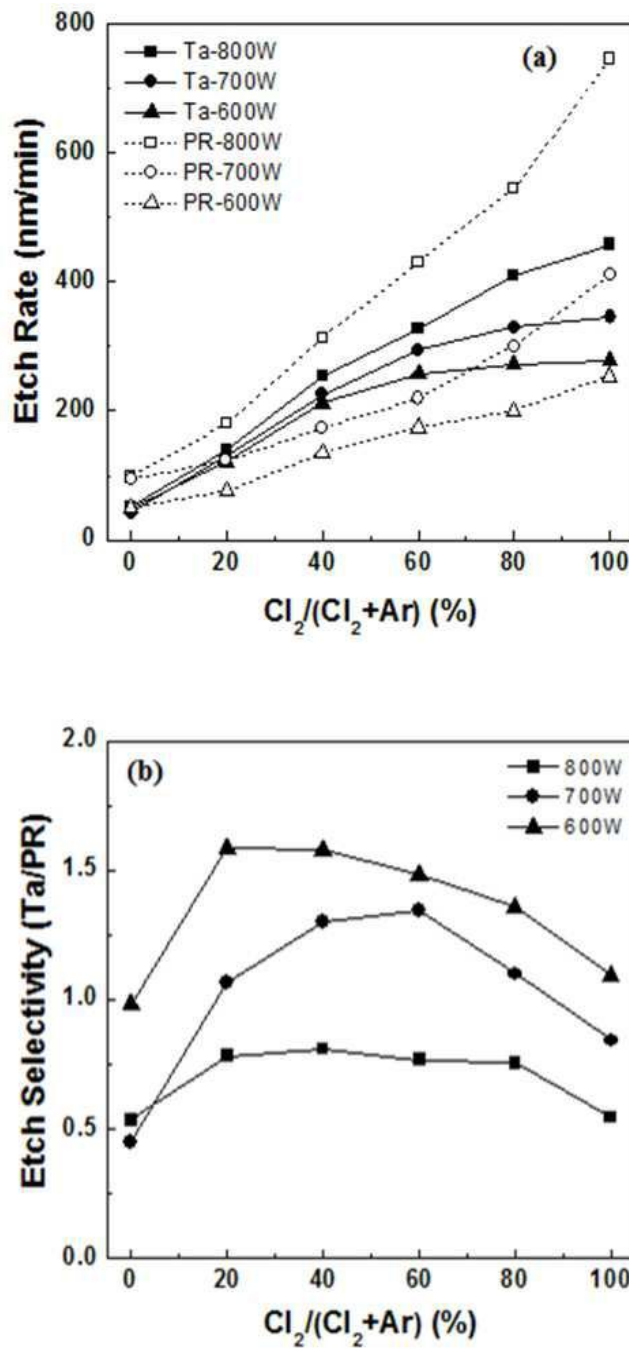
도면4



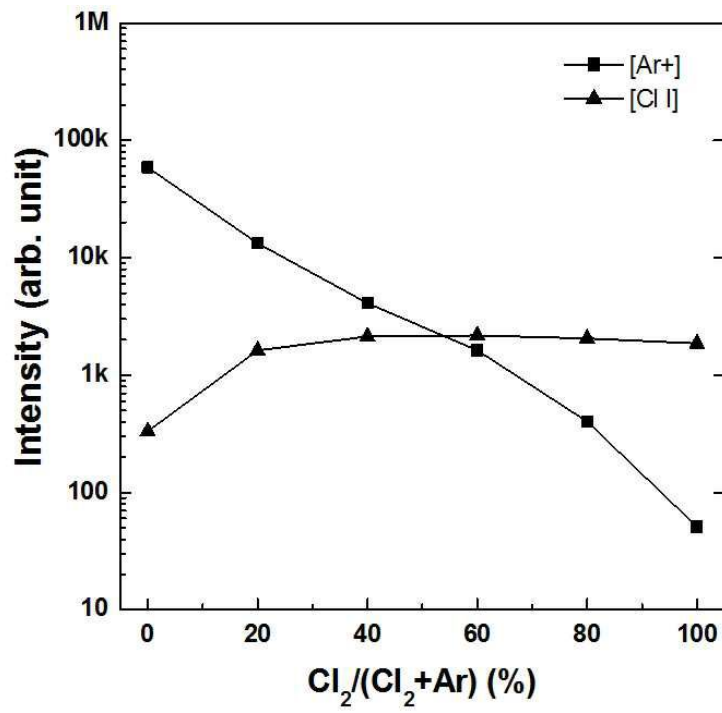
도면5



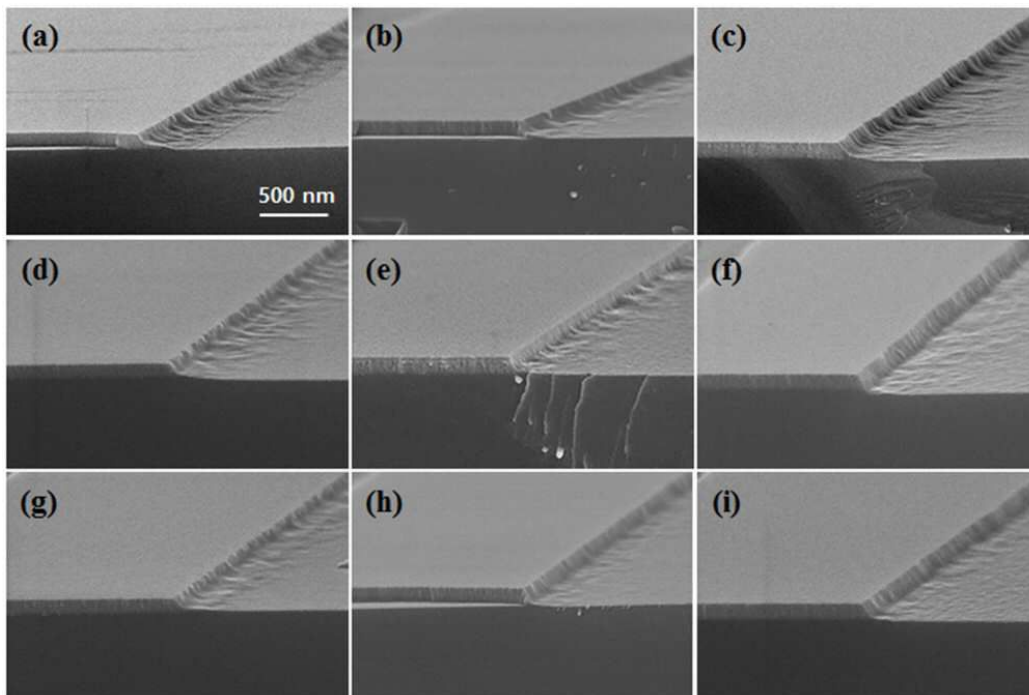
도면6



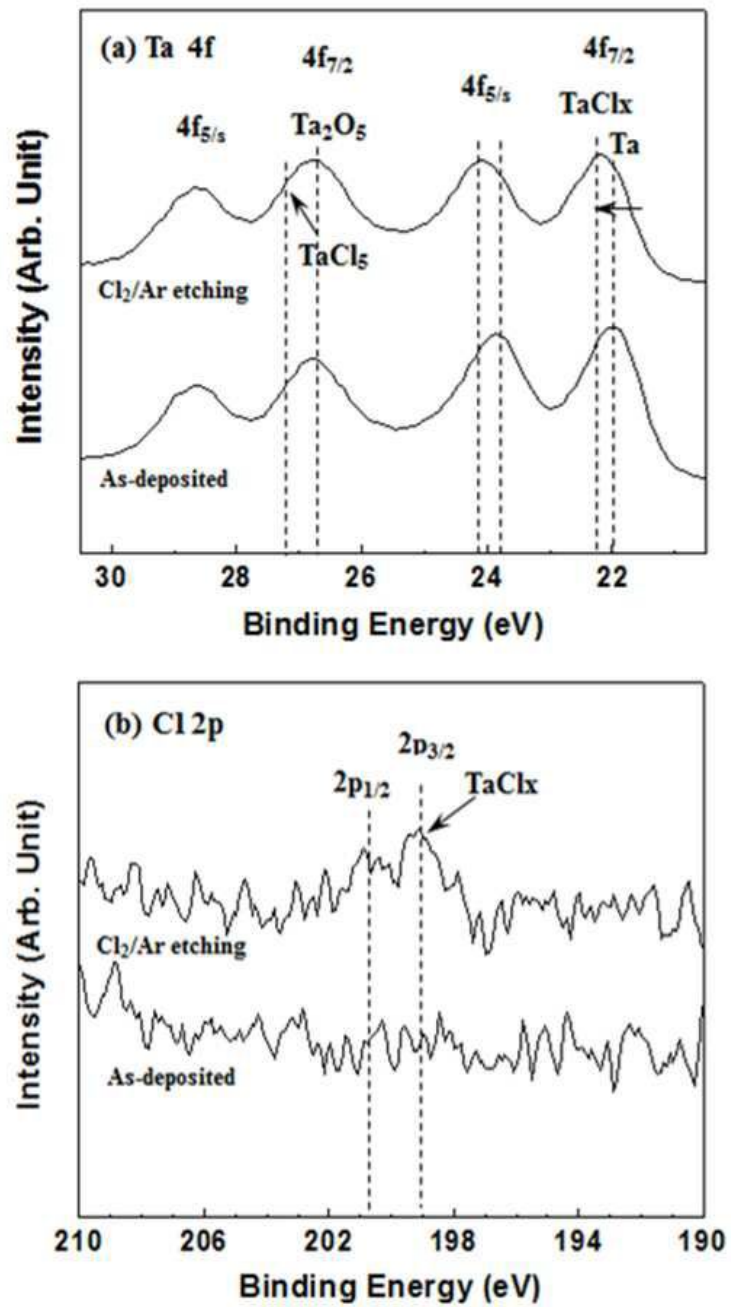
도면7



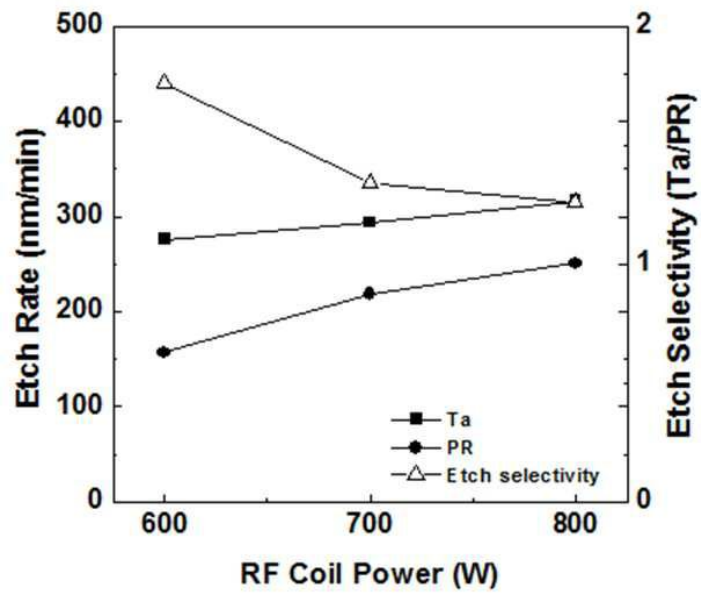
도면8



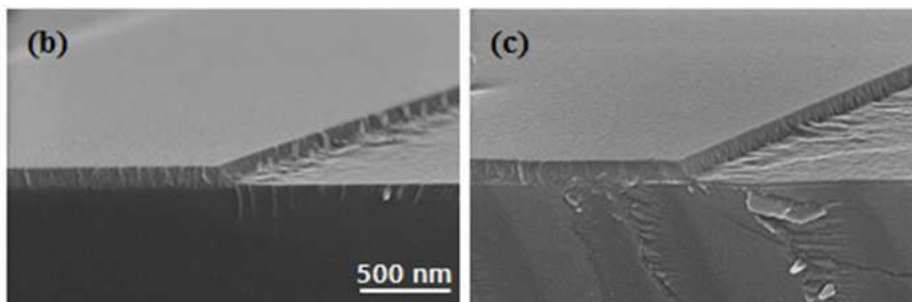
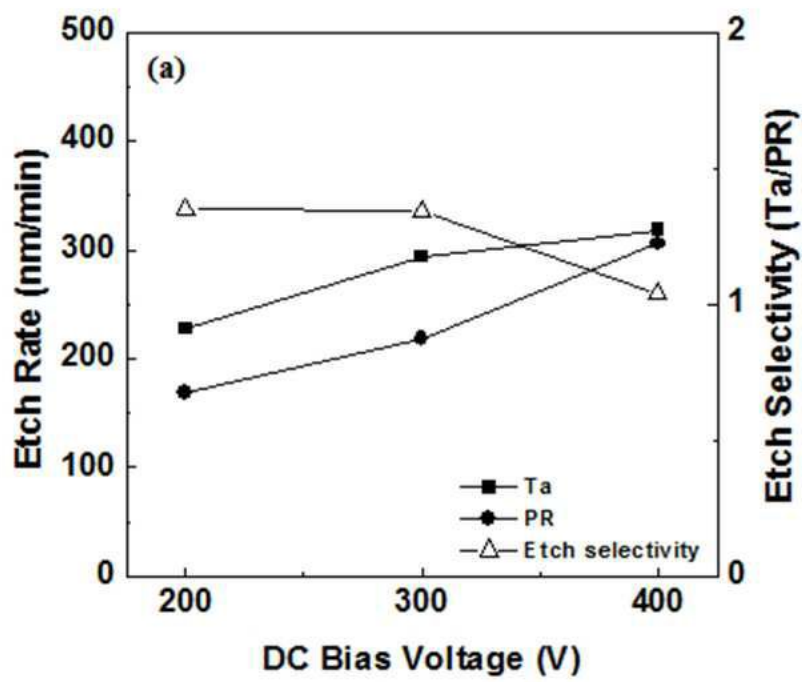
도면9



도면10



도면11



도면12

