(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0029914
(43) 공개일자 2015년03월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/3065 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0108950
(22) 출원일자 2013년09월11일
심사청구일자 2013년09월11일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
정지원
서울 마포구 마포대로7길 22, 303동 1202호 (공덕동, 삼성래미안공덕3차아파트)
이일훈
경기 부천시 소사구 성주로225번길 5, (심곡본동)
(74) 대리인
이원희

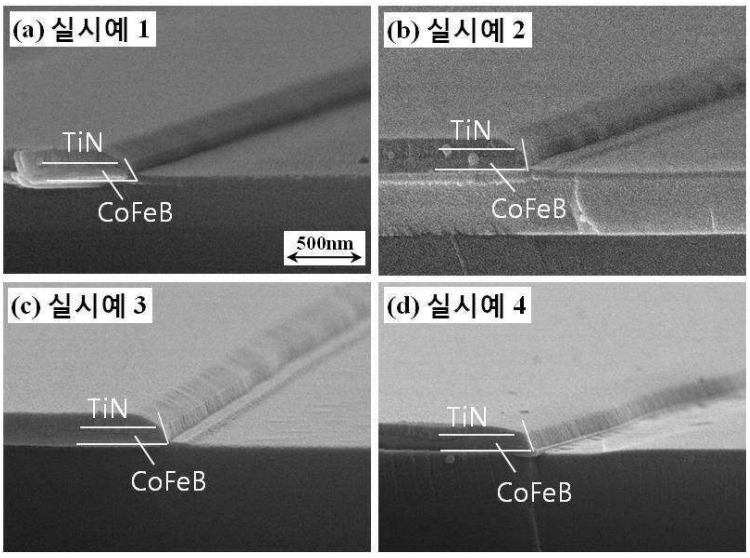
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **H20 가스를 이용한 자성 박막의 식각 방법**

(57) 요 약

본 발명은 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 1); H_20 가스 10 내지 50 부피%, 알칸계 가스 50 내지 90 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 2); 및 상기 단계 2에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 1에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 3);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법을 제공한다. 본 발명에 따른 H_20 가스를 이용한 자성 박막의 식각 방법은 종래의 식각법에 비하여 부식성 없고 매우 저렴하고 친환경적 기체인 H_20 가스를 사용하여 식각하는 새로운 방법으로 재증착이 발생하지 않고, 적절한 식각 속도 및 높은 이방성의 식각 프로파일을 제공하여 자성 박막이 이용되는 모든 소자 및 기기들에 적용할 수 있으며, 특히 미세 패턴의 형성에 효과적이다.

대 표 도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 48265-1
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 산업융합원천기술개발사업
연구과제명 스핀-궤도 결합을 이용한 반금속 p-MRAM 기술
기 여 율 1/1
주관기관 연세대학교 산학협력단
연구기간 2013.05.01 ~ 2014.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 1);

H_2O 가스 10 내지 50 부피%, 알칸계 가스 50 내지 90 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 2); 및

상기 단계 2에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 1에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 3);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 2

자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 a);

H_2O 가스 40 내지 100 부피%, 불활성 가스 0 내지 60 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 b); 및

상기 단계 b에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 a에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 c);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 단계 1의 자성 박막은 CoFe, CoFeB, CoFeSiB, CoFeTb, Co_2MnSi, CoZr, CoZrB, CoZrTb, CoPt, NiFeCo, NiFeCr 및 NiFe로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종인 것을 특징으로 하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 단계 a의 자성 박막은 IrMn, PtMn, CoPt, CoMn, CoPd, FePt, FeZr, FeMn 및 FePd로 이루어지는 군에서 선택되는 1종인 것을 특징으로 하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 알칸계 가스는 메탄 가스(CH_4), 에탄 가스(C_2H_6) 및 프로판 가스(C_3H_8)로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종인 것을 특징으로 하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 혼합 가스의 플라즈마화는 유도결합플라즈마 반응성 이온식각법을 포함하는 고밀도 플라즈마 반응성 이온식각법, 자기증강반응성 이온식각법 및 반응성 이온 식각법으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종의 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 불활성 가스는 헬륨 가스(He), 네온 가스(Ne), 아르곤 가스(Ar) 및 질소 가스(N_2)로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종인 것을 특징으로 하는 자성 박막의 식각 방법.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 플라즈마화는 1 ~ 5 mTorr 범위의 압력으로 혼합 가스를 주입하고, 700 ~ 1500 W의 코일 고주파 전력, DC 바이어스 전압 300 ~ 500 V를 인가하여 수행되는 것을 특징으로 하는 자성 박막의 식각 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 H_2O 가스를 이용한 자성 박막의 식각 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 현존하는 여러 가지 전기 전자기기들 가운데서 자성물질 또는 자성 박막을 사용하여 제조되는 소자 및 기기들이 있다. 이 가운데 자성물질의 박막형태, 즉 자성 박막(자기 박막; Magnetic thin films)의 형태를 사용하여 제조되는 경우에는 반드시 자성 박막의 패터닝이 수행되어야 한다. 즉, 자성 박막의 증착이 선행되고 그 후에 이를 패터닝하여 마스크를 형성하며 마스크 패턴 주위의 노출된 부분을 식각 공정에 의하여 제거함으로써 자성 박막의 패터닝이 완성되고, 후속공정들을 마친 후에 소자 및 기기들이 제조된다.

[0003] 일반적으로 자성 박막들의 식각 공정에는 습식 식각과 건식 식각 방법이 있으며, 식각할 패턴들의 크기가 수 마이크로미터 크기 이하로 축소됨에 따라서 습식식각의 적용이 어려워지고 있어, 패턴 전달에 충실한 플라즈마를 이용하는 건식 식각의 필요성이 부각되고 있다.

[0004] 건식 식각 공정은 일명 플라즈마 식각이라고 불리며 플라즈마의 화학반응성에 의하여 이온 밀링(Ion milling) 식각법 및 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.

[0005] 일반적으로 자성 박막들은 화학반응성이 매우 낮은 물질들로서 주로 이온밀링 법을 사용하여 식각하였다. 하지만, 이온밀링을 사용한 자성 박막의 식각은 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 자성물질의 일부가 스퍼터되어 제거되는 식각 메카니즘에 기인한다.

[0006] 따라서, 자성 박막 상에 패턴의 크기가 서브마이크로미터 또는 나노미터 크기 이하로 축소되거나, 패턴 사이의 간격이 나노미터 크기로 축소될 때 재증착이 더욱 심화되는 문제가 있다. 또한, 자성 박막의 두께가 나노미터 수준 이하로 얇아진다면 상부에 있는 박막들과 연결되어 단락을 발생시키는 문제가 있어 고 집적소자들의 제조를 위하여 자성 박막을 식각하는 경우에는 물리적 식각 메카니즘에 의한 이온밀링법이 아닌 화학반응이 적용된 반응성 이온 식각법이 적용되어야 할 것이다.

[0007] 그러나, 반응성 이온 식각법에 의하여 자성 박막을 식각하는 경우에도 적절하지 않은 식각 가스를 사용하거나,

적절치 못한 식각 공정을 적용하는 경우에는 식각된 패턴의 측면에 재증착이 발생하는 문제가 있다. 또한, 최적화되지 않은 식각 가스 또는 식각 조건으로 식각을 수행하는 경우 재증착의 발생은 감소하나 도 1의 (c)에 나타낸 바와 같이 식각된 측면 경사(식각 경사)가 매우 완만하여 미세패턴의 식각에 적용하기 어려운 문제가 있다.

[0008] 한편, 대한민국 공개특허 제1998-0006194호에서는 전이금속 박막의 식각 방법에 대하여 개시된 바 있다. 할로겐 가스 및 할로겐류 가스 중에서 선택된 최소 1개의 제 1 가스와 탄소 산화물계 가스, 탄화수소계 가스, 질소 산화물계 가스 및 질소계 가스 중에서 선택된 어느 하나인 제 2 가스를 순차적으로 또는 동시에 혼합 가스 형태로 주입하여 상기 전이금속 박막을 휘발성 화합물로 전환시켜 식각하는 방법이다. 휘발성 화합물의 기화 또는 승화에 의해 재증착되는 부산물 없이 높은 식각 속도로 식각이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 상기 방법은 기판온도를 200 ℃ 이상으로 유지하여야 하는 특성 때문에 니켈, 철, 코발트 등의 자성 박막의 식각 적용에는 적절하지 않다는 문제점이 있다.

[0009] 또한, 염화수소 가스와 아르곤가스로 구성된 혼합 가스를 사용하여 전이금속박막을 식각하는 방법이 개시된 바 있다. 그러나, 상기 방법은 식각율이 높고 식각 선택성이 높은 장점이 있는 반면, 식각 공정 후 베일이 잔존하여 잔존 베일을 제거하기 위해서는 탈이온수에 30 내지 60 분간 담가 두어야 하므로 공정시간이 길어져 생산성이 낮아지는 문제점이 있다. 또한, 플라즈마에 의해 분리되지 않은 염화수소 가스는 건식 식각 장비를 부식시키기 때문에 건식 식각 장비의 수명이 짧아진다는 문제점이 있다.

[0010] 나아가, 염소 가스와 아르곤 가스로 구성된 혼합 가스를 사용하는 식각 방법이 개시된 바 있다. 염소 가스가 아르곤 가스에 비해 비교적 적게 포함된 혼합 가스로 고밀도 플라즈마를 형성하면 주로 물리적 스퍼터링(Physical Sputtering)에 의해 건식 식각이 수행되고 이때 생성되는 베일은 금속 염화물로 존재하게 된다. 반면, 염소 가스가 아르곤 가스에 비해 비교적 많이 포함된 혼합 가스로 고밀도 플라즈마를 형성하면 화학적 식각(Chemical Etching)에 의해 건식 식각이 수행된다. 이때, 베일의 제거는 상기 화학적 식각에 의해 수행되고, 잔류 금속 염화물을 제거하기 위해 탈이온수 처리가 수행된다. 이에 따라, 전체 공정시간이 길어져 생산성이 낮아지는 문제가 있다.

[0011] 이에, 본 발명자들은 자성 박막의 식각 방법에 대하여 연구하던 중, 새로운 식각 가스로서 저렴하고 안전한 H_2O 기체를 기반으로 하여 불활성 가스 및 필요에 따라서 알칸계 가스를 첨가하여 최적의 식각 가스를 설정하고, 상기 식각 가스를 이용하여 자성 박막들을 식각하는 방법을 개발하여 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 목적은 H_2O 가스를 이용한 자성 박막의 식각 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

[0014] 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 1);

[0015] H_2O 가스 10 내지 50 부피% 및 알칸계 가스 50 내지 90 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 2); 및

[0016] 상기 단계 2에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 1에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 3);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법을 제공한다.

[0017] 또한, 본 발명은

[0018] 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 a);

[0019] H_2O 가스 40 내지 100 부피%, 불활성 가스 0 내지 60 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 b); 및

[0020] 상기 단계 b에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 a에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 c);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따른 H_2O 가스를 이용한 자성 박막의 식각 방법은 종래의 식각법에 비하여 부식성 없고 매우 저렴하고 친환경적 기체인 H_2O 가스를 사용하여 식각하는 새로운 방법으로 재증착이 발생하지 않고, 적절한 식각 속도 및 높은 이방성의 식각 프로파일을 제공하여 자성 박막이 이용되는 모든 소자 및 기기들에 적용할 수 있으며, 특히 미세 패턴의 형성에 효과적이다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1의 (a)는 식각 전 시료의 구조, (b)는 이온 밀링에 의한 식각, (c)는 최적화되지 않은 식각 가스 또는 식각 조건으로 식각된 시료의 모식도이고;

도 2는 H_2O 가스 및 불활성 가스 혼합 비율에 따른 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도를 나타낸 그래프이고;

도 3은 H_2O 가스 및 알칸계 가스 혼합 비율에 따른 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도를 나타낸 그래프이고;

도 4는 H_2O 가스 및 불활성 가스 혼합 비율에 따른 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각된 면의 주사전자현미경(SEM) 사진이고;

도 5는 H_2O 가스 및 알칸계 가스 혼합 비율에 따른 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각된 면의 주사전자현미경(SEM) 사진이고;

도 6~10은 H_2O 가스 및 알칸계 가스 혼합 비율에 따른 Co, Fe, B, C 및 O 각각에 대한 X-선 광전자 분광법(XPS) 스펙트럼이고;

도 11은 H_2O 가스 및 불활성 가스 혼합 비율에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도를 나타낸 그래프이고;

도 12는 H_2O 가스 및 불활성 가스 혼합 비율에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각된 면의 주사전자현미경(SEM) 사진이고;

도 13은 코일 고주파 전력에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도를 나타낸 그래프이고;

도 14는 코일 고주파 전력에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각된 면의 주사전자현미경(SEM) 사진이고;

도 15는 DC 바이어스 전압에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도를 나타낸 그래프이고;

도 16은 DC 바이어스 전압에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각된 면의 주사전자현미경(SEM) 사진이고;

도 17은 가스 압력에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도를 나타낸 그래프이고;

도 18은 가스 압력에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각된 면의 주사전자현미경(SEM) 사진이고;

도 19~21은 H_2O 가스 및 불활성 가스 혼합 비율에 따른 Fe, Pt 및 O 각각에 대한 X-선 광전자 분광법(XPS) 스펙트럼이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명은

[0024] 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 1);

[0025] H_2O 가스 10 내지 50 부피% 및 알칸계 가스 50 내지 90 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 2); 및

[0026] 상기 단계 2에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 1에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 3);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법을 제공한다.

[0027] 이하, 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법을 각 단계별로 상세히 설명한다.

[0028] 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법에 있어서, 단계 1은 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계이다.

[0029] 이때, 상기 단계 1의 자성 박막은 CoFe, CoFeB, CoFeSiB, CoFeTb, Co_2MnSi, CoZr, CoZrB, CoZrTb, CoPt, NiFeCo, NiFeCr 및 NiFe 등을 사용하는 것이 바람직하다.

[0030] 또한, 상기 단계 1의 마스크는 하드 마스크인 것이 바람직하고, Ti 또는 TiN 하드 마스크인 것이 더욱 바람직하다. 종래에는 포토레지스트 마스크를 주로 사용하였으나, 포토레지스트 마스크는 식각 속도가 매우 빨라서 식각 속도가 느린 자성 박막에 적용하는 것은 적합하지 않다.

[0031] 다음으로, 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법에 있어서, 단계 2는 H_2O 가스 10 내지 50 부피% 및 알칸계 가스 50 내지 90 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계이다.

[0032] 상기 H_2O 가스 및 알칸계 가스는 반응성 이온 식각을 수행하기 위한 것으로, 일반적인 자성 박막의 물리적 식각 방법인 이온밀링은 식각된 패턴 주위로 재증착이 일어나 펜스 모양을 형성하게 되지만, 상기 H_2O 가스 및 알칸계 가스의 혼합 가스를 사용하는 경우에는 재증착이 발생하지 않고, 적절한 식각 속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공할 수 있다.

[0033] 이는 상기 단계 2의 혼합 가스농도를 적절히 조절함으로써, H2O 가스의 수소, 산소 및 하이드록시(-OH) 기와 알칸계 가스의 CH_X 기 등의 라디컬들이 화학반응을 일으켜 식각 후 재증착물질들이 현저히 줄어들거나 발생하지 않기 때문이다.

[0034] 이때, 상기 혼합 가스 중 H_2O 가스와 불활성 가스의 혼합 가스만을 사용할 경우에는 식각측면의 경사가 너무 완만해지는 문제가 있다.

[0035] 한편, 상기 단계 2의 알칸계 가스는 메탄 가스(CH_4), 에텐 가스(C_2H_6) 및 프로판 가스(C_3H_8) 등인 것이 바람직하다. 상기 알칸계 가스는 적절한 식각 속도를 제공할 수 있고, 식각 후 부산물이 재증착되지 않으며 식각측면의 경사가 가파르게 형성되어 이방성 식각을 할 수 있는 장점이 있다. 만약, 상기 알칸계 가스보다 탄소수가 많은 알칸계 가스를 사용하게 되면 과도한 탄소수로 인하여 수소가 동시에 증가하며, 이에 따라 폴리머 물질이 발생되는 문제가 있다.

[0036] 또한, 상기 단계 2의 플라즈마화는 유도결합플라즈마 반응성 이온식각법을 포함하는 고밀도 플라즈마 반응성 이온식각법, 자기증강반응성 이온 식각법 및 반응성 이온 식각법 등의 방법으로 수행되는 것이 바람직하다.

[0037] 고밀도 플라즈마 이온식각법은 외부 코일에 가하는 전력이 챔버 내부의 발생된 플라즈마 내 전자에 에너지를 전달함으로써 고밀도의 플라즈마를 얻게 되는 것으로, 식각 속도가 빠르며 이온 충격에 의한 손상이 없다는 장점이 있다. 또한, 반응성 이온 식각(Reactive ion etching)은 이온 충격을 이용한 반응성 화학공정과 물리적 공정에서 웨이퍼 표면으로부터 물질을 제거하는 기술이다. 자기증강반응성 이온식각은 자기적으로 강화된 반응성 이온 식각반응으로 물리적 방법과 화학적 방법이 결합된 식각 방법이다. 자기장을 갖는 플라즈마는 고밀도 플라즈마를 생성하고 낮은 압력에서도 동작을 허용하며, 특히 높은 종횡비 특성을 갖는 식각인 경우 식각의 방향성과 균일성을 유지하게 하는 장점이 있다. 하지만 일반적인 저밀도의 반응성 이온 식각법을 이용하는 경우 상기의 효과들을 얻기가 어려우며, 이에 따라 적절한 식각 속도 및 이방성 식각이 수행되지 않는 문제가 있다.

[0038] 상기 단계 2의 플라즈마화는 1 ~ 5 mTorr 범위의 혼합 가스 압력, 700 ~ 1500 W의 코일 고주파 전력 및 DC 바이어스 전압 300 ~ 500 V의 조건으로 수행되는 것이 바람직하다. 만약, 혼합 가스 압력이 1 mTorr 미만인 경우 생성된 플라즈마가 불안정하여 식각의 안정성 및 재현성이 떨어지는 문제가 있고, 혼합 가스 압력이 5 mTorr를 초과하는 경우 스캐터링에 의한 입자의 충돌이 발생하여 이온의 기판에 대한 수직적이고 효과적인 충돌이 일어나지 않는 문제가 있다.

[0039] 또한, 코일 고주파 전력이 700 W 미만인 경우 식각경사가 감소되는 문제가 있으며, 1500 W를 초과하는 경우 플라즈마의 밀도가 과도하게 증가하여 많은 라디칼 및 아르곤 이온이 형성되고, 이에 따라 식각손상(Etch damage)이 발생하는 문제가 있다.

[0040] 나아가, DC 바이어스 전압이 300 V 미만인 경우 식각측면의 경사가 완만해지는 문제가 있으며, 500 V를 초과하는 경우 과도한 전압인가로 인한 식각손상(etch damage)이 발생하여 향후 제조되는 소자의 전기적 특성이 열화되는 문제가 있다.

[0041] 다음으로, 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법에 있어서, 단계 3은 상기 단계 2에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 1에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계이다.

[0042] 상기 단계 2의 혼합 가스를 이용하여 생성된 플라즈마를 통해 자성 박막을 식각함으로써 자성 박막을 빠른 속도로 식각할 수 있고, 식각면에 재증착이 발생하는 것을 억제할 수 있다.

[0043] 상기 단계 3에 있어서, 기판에 대한 이온들의 고에너지 충돌이 수행되고, 이로 인하여 끊어진 화학결합들이 플라즈마 내부의 라디칼과 화학반응을 일으켜서 식각이 수행된다. 이때, 화학반응에 의한 반응생성물의 휘발성이 약하면 식각된 측면에 재증착이 발생하는데, 이온들의 기판에 대한 물리적 스퍼터링이 재층착물질들이 탈착되는 것을 돕는 역할을 하여 재증착을 억제한다.

[0044] 한편, 본 발명은

[0045] 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계(단계 a);

[0046] H_2O 가스 40 내지 100 부피%, 불활성 가스 0 내지 60 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계(단계 b); 및

[0047] 상기 단계 b에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 a에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계(단계 c);를 포함하는 자성 박막의 식각 방법을 제공한다.

[0048] 이하, 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법을 각 단계별로 상세히 설명한다.

[0049] 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법에 있어서, 단계 a는 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스킹하는 단계이다.

[0050] 이때, 상기 단계 a의 자성 박막은 IrMn, PtMn, CoPt, CoMn, CoPd, FePt, FeZr, FeMn 및 FePd 등을 사용하는 것이 바람직하다.

[0051] 또한, 상기 단계 a의 마스크는 하드 마스크인 것이 바람직하고, Ti 또는 TiN 하드 마스크인 것이 더욱 바람직하다. 종래에는 포토레지스트 마스크를 주로 사용하였으나, 포토레지스트 마스크는 식각 속도가 매우 빨라서 식각 속도가 느린 자성 박막에 적용하는 것은 적합하지 않다.

[0052] 다음으로, 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법에 있어서, 단계 b는 H_2O 가스 40 내지 100 부피%, 불활성 가스 0 내지 60 부피%의 조성인 혼합 가스를 플라즈마화하는 단계이다.

[0053] 상기 H_2O 가스는 반응성 이온 식각을 수행하고, 불활성 가스는 물리적 식각을 수행하기 위한 것으로, 일반적인 자성 박막의 물리적 식각 방법인 이온밀링은 식각된 패턴 주위로 재증착이 일어나 펜스 모양을 형성하게 되지만, 상기 H_2O 가스 및 불활성 가스의 혼합 가스를 사용하는 경우 재증착이 발생하지 않고, 적절한 식각 속도 및 높은 이방성의 식각 프로파일을 제공할 수 있다.

[0054] 이는 상기 단계 b의 혼합 가스농도를 적절히 조절함으로써, H_2O 가스의 수소, 산소 라디컬 및 하이드록시(-OH)기 등이 화학반응을 일으켜 식각 후 재증착물질들이 현저히 줄어들거나 발생하지 않기 때문이다.

[0055] 이때, 상기 혼합 가스 중 H_2O 가스가 40 부피% 미만인 경우에는 식각측면에 재증착이 발생하거나 또는 식각측면의 경사가 너무 완만해지는 문제가 있다.

[0056] 한편, 상기 단계 b의 플라즈마화는 유도결합플라즈마 반응성 이온식각법을 포함하는 고밀도 플라즈마 반응성 이온식각법, 자기증강반응성 이온 식각법 및 반응성 이온 식각법으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종의 방법으로 수행되는 것이 바람직하다.

[0057] 고밀도 플라즈마 이온식각법은 외부 코일에 가하는 전력이 챔버 내부의 발생된 플라즈마 내 전자에 에너지를 전달함으로써 고밀도의 플라즈마를 얻게 되는 것으로, 식각 속도가 빠르며 이온 충격에 의한 손상이 없다는 장점이 있다. 또한, 반응성 이온 식각(Reactive ion etching)은 이온 충격을 이용한 반응성 화학공정과 물리적 공정에서 웨이퍼 표면으로부터 물질을 제거하는 기술이다. 자기증강반응성 이온식각은 자기적으로 강화된 반응성 이온 식각반응으로 물리적 방법과 화학적 방법이 결합된 식각 방법이다. 자기장을 갖는 플라즈마는 고밀도 플라즈마를 생성하고 낮은 압력에서도 동작을 허용하며, 특히 높은 종횡비 특성을 갖는 식각인 경우 식각의 방향성과 균일성을 유지하게 하는 장점이 있다. 하지만 일반적인 저밀도의 반응성 이온 식각법을 이용하는 경우 상기의 효과들을 얻기가 어려우며, 이에 따라 적절한 식각 속도 및 이방성 식각이 수행되지 않는 문제가 있다.

[0058] 상기 단계 b의 불활성 가스는 헬륨 가스(He), 네온 가스(Ne), 아르곤 가스(Ar) 및 질소 가스(N_2) 등인 것이 바람직하다. H_2O 가스가 화학적 식각을 유도하는 반면, 상기 불활성 가스들은 물리적인 식각을 수행하게 한다. 일반적인 자성 박막의 물리적 식각 방법인 이온밀링은 식각된 패턴 주위로 재증착이 일어나 펜스 모양을 형성하게 된다. 상기 단계 b의 H_2O 가스 및 불활성 가스의 혼합 가스를 사용하는 경우에도 화학반응에 의한 반응생성물의 약한 휘발성으로 인하여 식각된 측면에 재증착이 일부 발생할 수 있지만, 이온들의 기판에 대한 물리적 스퍼터링이 재층착물질들이 탈착되는 것을 돕는 역할을 수행하여 빠른 식각 속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공할 수 있다.

[0059] 상기 단계 b의 플라즈마화는 1 ~ 5 mTorr 범위의 혼합 가스 압력, 700 ~ 1500 W의 코일 고주파 전력 및 DC 바이

어스 전압 300 ~ 500 V의 조건으로 수행되는 것이 바람직하다. 만약, 혼합 가스 압력이 1 mTorr 미만인 경우 생성된 플라즈마가 불안정하여 식각의 안정성 및 재현성이 떨어지는 문제가 있고, 혼합 가스 압력이 5 mTorr를 초과하는 경우 스캐터링에 의한 입자의 충돌이 발생하여 이온의 기판에 대한 수직적이고 효과적인 충돌이 일어나지 않는 문제가 있다.

[0060] 또한, 코일 고주파 전력이 700 W 미만인 경우 식각경사가 감소되는 문제가 있으며, 1500 W를 초과하는 경우 플라즈마의 밀도가 과도하게 증가하여 많은 라디칼 및 아르곤 이온이 형성되고, 이에 따라 식각손상(Etch damage)이 발생하는 문제가 있다.

[0061] 나아가, DC 바이어스 전압이 300 V 미만인 경우 식각측면의 경사가 완만해지는 문제가 있으며, 500 V를 초과하는 경우 과도한 전압인가로 인한 식각손상(etch damage)이 발생하여 향후 제조되는 소자의 전기적 특성이 열화되는 문제가 있다.

[0062] 본 발명에 따른 자성 박막의 식각 방법에 있어서, 단계 c는 상기 단계 b에서 생성된 플라즈마를 이용하여 단계 a에서 마스킹된 자성 박막을 식각하는 단계이다. 상기 단계 b의 혼합 가스를 이용하여 생성된 플라즈마를 통해 자성 박막을 식각함으로써 자성 박막을 빠른 속도로 식각할 수 있고, 식각면에 재증착이 발생하는 것을 억제할 수 있다.

[0063] 상기 단계 c의 식각은 이온들의 기판에 대한 고에너지 충돌이 수행되고, 이로 인하여 끊어진 화학결합들이 플라즈마 내부의 라디칼과 화학반응을 일으켜서 수행된다. 이때, 화학반응에 의한 반응생성물의 휘발성이 약하면 식각된 측면에 재증착이 발생하는데, 이온들의 기판에 대한 물리적 스퍼터링이 재증착물질들이 탈착되는 것을 돕는 역할을 하여 재증착을 억제한다.

[0064] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 더욱 상세히 설명한다. 단, 하기의 실시예는 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0065] <실시예 1> CoFeB 박막의 식각 1

[0066] 단계 1 : CoFeB 박막을 TiN 하드 마스크로 패터닝하여 마스킹하였다.

[0067] 단계 2 : H_2O 가스 50 부피% 및 메탄 가스 50 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 5 mTorr 압력으로 주입하며, 코일고주파 전력 800 W, DC 바이어스 전압 300 V를 인가하여 플라즈마화 하였다.

[0068] 단계 3 : 상기 단계 1에서 마스킹된 CoFeB 박막을 상기 단계 2에서 생성된 플라즈마로 식각하였다.

[0069] <실시예 2> CoFeB 박막의 식각 2

[0070] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 33.3 부피% 및 메탄 가스 66.7 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0071] <실시예 3> CoFeB 박막의 식각 3

[0072] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 25 부피% 및 메탄 가스 75 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0073] <실시예 4> CoFeB 박막의 식각 4

[0074] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 10 부피% 및 메탄 가스 90 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0075] <실시예 5> FePt 박막의 식각 1

[0076] 단계 1 : FePt 박막을 TiN 하드 마스크로 패터닝하여 마스킹하였다.

[0077] 단계 2 : H_2O 가스 40 부피% 및 아르곤 가스 60 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 5 mTorr 압력으로 주입하며, 코일고주파 전력 800 W, DC 바이어스 전압 300 V를 인가하여 플라즈마화 하였다.

[0078] 단계 3 : 상기 단계 1에서 마스킹된 FePt 박막을 상기 단계 2에서 생성된 플라즈마로 식각하였다.

[0079] <실시예 6> FePt 박막의 식각 2

[0080] 상기 실시예 5의 단계 2에서 H_2O 가스 60 부피% 및 아르곤 가스 40 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 5와 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0081] <실시예 7> FePt 박막의 식각 3

[0082] 상기 실시예 5의 단계 2에서 H_2O 가스 80 부피% 및 아르곤 가스 20 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 5와 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0083] <실시예 8> FePt 박막의 식각 4

[0084] 상기 실시예 5의 단계 2에서 H_2O 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 5와 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0085] <실시예 9> FePt 박막의 식각 5

[0086] 상기 실시예 6의 단계 2에서 코일고주파 전력 700 W를 인가한 것을 제외하고는 상기 실시예 6과 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0087] <실시예 10> FePt 박막의 식각 6

[0088] 상기 실시예 6의 단계 2에서 코일고주파 전력 900 W를 인가한 것을 제외하고는 상기 실시예 6과 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0089] <실시예 11> FePt 박막의 식각 7

[0090] 상기 실시예 6의 단계 2에서 DC 바이어스 전압 400 V를 인가하여 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 6과 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0091] <실시예 12> FePt 박막의 식각 8

[0092] 상기 실시예 6의 단계 2에서 혼합 가스를 1 mTorr의 압력으로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 6과 동일하

게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0093] <비교예 1>

[0094] 상기 실시예 1의 단계 2에서 아르곤가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0095] <비교예 2>

[0096] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 10 부피% 및 아르곤가스 90 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0097] <비교예 3>

[0098] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 20 부피% 및 아르곤가스 80 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0099] <비교예 4>

[0100] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 40 부피% 및 아르곤가스 60 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0101] <비교예 5>

[0102] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 60 부피% 및 아르곤가스 40 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0103] <비교예 6>

[0104] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스 80 부피% 및 아르곤가스 20 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0105] <비교예 7>

[0106] 상기 실시예 1의 단계 2에서 H_2O 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일하게 수행하여 CoFeB 박막을 식각하였다.

[0107] <비교예 8>

[0108] 상기 실시예 5의 단계 2에서 아르곤 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 5와 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0109] <비교예 9>

[0110] 상기 실시예 5의 단계 2에서 H_2O 가스 20 부피% 및 아르곤가스 80 부피%의 비율로 혼합된 혼합 가스를 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 5와 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0111] <비교예 10>

[0112] 상기 실시예 6의 단계 2에서 DC 바이어스 전압 200 V를 인가하여 플라즈마화한 것을 제외하고는 상기 실시예 6과 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

[0113] <비교예 11>

[0114] 상기 실시예 6의 단계 2에서 혼합 가스를 10 mTorr의 압력으로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 6과 동일하게 수행하여 FePt 박막을 식각하였다.

표 1

[0115]

	박막물질	코일 고주파 전력 (W)	DC바이어스 전압 (V)	가스 압력 (mTorr)	H_2O 가스 (부피%)	메탄 가스 (부피%)	아르곤 가스 (부피%)
실시예 1	CoFeB	800	300	5	50	50	-
실시예 2	CoFeB	800	300	5	33.3	66.7	-
실시예 3	CoFeB	800	300	5	25	75	-
실시예 4	CoFeB	800	300	5	10	90	-
실시예 5	FePt	800	300	5	40	-	60
실시예 6	FePt	800	300	5	60	-	40
실시예 7	FePt	800	300	5	80	-	20
실시예 8	FePt	800	300	5	100	-	-
실시예 9	FePt	700	300	5	60	-	40
실시예 10	FePt	900	300	5	60	-	40
실시예 11	FePt	800	400	5	60	-	40
실시예 12	FePt	800	300	1	60	-	40
비교예 1	CoFeB	800	300	5	-	-	100
비교예 2	CoFeB	800	300	5	10	-	90
비교예 3	CoFeB	800	300	5	20	-	80
비교예 4	CoFeB	800	300	5	40	-	60
비교예 5	CoFeB	800	300	5	60	-	40
비교예 6	CoFeB	800	300	5	80	-	20
비교예 7	CoFeB	800	300	5	100	-	-
비교예 8	FePt	800	300	5	-	-	100
비교예 9	FePt	800	300	5	20	-	80
비교예 10	FePt	800	200	5	60	-	40
비교예 11	FePt	800	300	10	60	-	40

[0116] <실험예 1> 혼합 가스의 조성 및 혼합비율에 따른 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도 분석

[0117] H_2O 가스 및 알칸계 가스(CH_4) 또는 H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)의 혼합비율에 따른 CoFeB 박막과 TiN 하드 마스크의 식각 속도 및 선택도(=CoFeB 박막 식각 속도/TiN 하드 마스크 식각 속도)를 알아보기 위하여 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1 내지 비교예 7에서 식각된 박막에 대한 식각 속도를 측정하였고, 그 결과를 도 2 및 도 3에 나타내었다.

[0118] 도 2에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)를 혼합하여 식각을 수행한 비교예 1 내지 비교예 7의 경우에는 H_2O 가스의 농도가 증가함에 따라 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. H_2O 가스의 농도 증가에 따른 CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도의 감소는 아르곤(Ar) 이온의 감소 때문에 이온의 충돌이 감소하거나, H_2O 가스로 인해 수소를 포함하는 층이 형성되어 이온의 충돌을 방해하기 때문이다.

[0119] 한편, CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크에 대한 선택도는 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 20 %일 때, 가장 높은 값이 나왔으며, 이후 H_2O 가스의 비율이 늘어나도 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다.

[0120] 다음으로, 도 3에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스 및 알칸계 가스(CH_4)를 혼합하여 식각을 수행한 실시예 1 내지 실시예 4의 경우에는 알칸계 가스인 메탄 가스의 농도가 증가함에 따라 CoFeB 박막의 식각 속도는 상당히 증가하였으며, TiN 하드 마스크의 식각 속도는 거의 유지되는 것을 확인할 수 있다.

[0121] 이에 따라, CoFeB 박막 및 TiN 하드 마스크에 대한 선택도는 알칸계 가스인 메탄 가스의 농도가 증가함에 따라 상승하여 약 6을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

[0122] <실험예 2> 혼합 가스의 조성 및 혼합비율에 따른 식각된 CoFeB 박막의 관찰

[0123] H_2O 가스 및 알칸계 가스(CH_4) 또는 H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)의 혼합비율에 따른 CoFeB 박막의 식각된 면을 관찰하기 위하여 실시예 1 내지 실시예 4, 비교예 3, 비교예 5 및 비교예 7에서 식각된 박막의 측면을 주사전자현미경(Field emission sanning electron microscopy, FE-SEM, Hitachi S-4300)을 통해 관찰하였고, 그 결과를 도 4 및 도 5에 나타내었다.

[0124] 도 4에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)를 혼합하여 식각을 수행한 비교예 3, 비교예 5 및 비교예 7의 경우에는 식각된 면이 매우 완만하다는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 증가할수록 식각된 면의 경사가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0125] 반면, 도 5에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스 및 알칸계 가스(CH_4)를 혼합하여 식각을 수행한 실시예 1 내지 실시예 4의 경우에는 식각된 면의 경사가 현저히 증가하였음을 확인할 수 있다. 특히, 혼합 가스 내 CH_4 가스의 비율이 66.7 % 및 75 %인 실시예 2 및 실시예 3의 경우에는 식각된 면이 매우 가파른 경사를 이루는 것을 확인할 수 있었다.

[0126] 따라서, H_2O 가스 및 알칸계 가스(CH_4)를 혼합하여 CoFeB 박막의 식각을 수행할 경우 매우 CoFeB 박막의 식각을 효과적으로 수행할 수 있음을 알 수 있다.

[0127] <실험예 3> 혼합 가스 조성에 따른 CoFeB 박막의 X-선 광전자 분광법 분석

[0128] H_2O 가스 및 알칸계 가스(CH_4)에 따른 CoFeB 박막의 화학적 반응여부를 알아보기 위하여 실시예 2 및 비교예 7에서 식각된 박막의 표면을 구성원소별 결합 에너지의 변화를 분석할 수 있는 X-선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS, ThermoScientific K-Alpha)를 통하여 분석하였고, 그 결과를 도 6 내지 10에 나타내었다.

[0129] 도 6에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스만을 사용한 비교예 7의 경우에는 Co $2p_{3/2}$의 피크가 약 779.5 eV, 약 780.2 eV 및 약 781.5 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 각각 Co_2O_3(약 779.7~780.3 eV), Co_3O_4(약 779.5~780.2 eV) 및 $Co(OH)_2$(약 780.7~781.3 eV)를 나타낸다. 한편, 혼합 가스 내 메탄 가스의 비율이 66.7 %인 실시예 2의 경우에는 Co $2p_{3/2}$의 피크가 약 779.0 eV, 약 779.7 eV 및 781.0 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 각각

$Co(C_5H_5)_2$(약 779.1 eV), Co_3O_4 및 $Co(OH)_2$를 나타낸다.

[0130] 또한, 도 7에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스만을 사용한 비교예 7의 경우에는 Fe $2p_{3/2}$의 피크가 약 709.2 eV 및 약 710.9 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 각각 FeO(약 709.4 eV) 및 Fe_2O_3(약 710.8~710.9 eV)를 나타낸다. 한편, 혼합 가스 내 메탄 가스의 비율이 66.7 %인 실시예 2의 경우에는 Fe $2p_{3/2}$의 피크가 뚜렷하게 구분되어 있음을 확인할 수 있으며, 그 피크는 약 707.7 eV, 약 710.0 eV 및 712.5 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 각각 $Fe(C_5H_5)_2$, FeO 또는 Fe_2O_3 및 FeOOH를 나타낸다.

[0131] 나아가, 도 8에 나타낸 바와 같이, 식각 전에 B 1s의 피크는 약 187.7 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 붕소화합물(Boride, 약 187.2~189.2 eV)를 나타낸다. 한편, H_2O 가스만을 사용한 비교예 7의 경우에는 B 1s의 피크가 이동하여 약 191.5 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 B_2O_3(약 192.0 eV)를 나타낸다. 또한, 혼합 가스 내 메탄 가스의 비율이 66.7 %인 실시예 2의 경우에는 B 1s의 피크의 강도가 감소하였으며, 그 피크는 약 189.0 eV의 결합에너지에서 Co 또는 Fe를 포함하는 금속붕화물을 나타내는 것을 확인하였다. 이를 통해, H_2O 가스 및 메탄 가스를 사용하였을 경우, CoFeB 박막과 산소(O_2)의 화학 반응에 의해 식각 경사가 증가하였음을 알 수 있다.

[0132] 또한, 도 9에 나타낸 바와 같이, 식각 전과 H_2O 가스만을 사용한 비교예 7의 경우에는 C 1s의 피크가 낮은 강도로 나타난다. 반면, 혼합 가스 내 메탄 가스의 비율이 66.7 %인 실시예 2의 경우에는 C 1s의 피크 강도가 상당히 증가하며, 약 283.5 eV 및 약 284.5 eV의 결합에너지에서 피크가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이는, 각각 Fe_3C 및 $Co(C_5H_5)_2$ 또는 $Fe(C_5H_5)_2$를 나타내는 피크이다. 이에 따라, 탄소(C) 및 수소(H)를 포함하는 Co 및 Fe 화합물의 존재를 확인할 수 있다.

[0133] 나아가, 도 10에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스만을 사용한 비교예 7의 경우에는 O 1s의 피크가 매우 높은 강도로 나타나며, 약 529.7 eV 및 약 531.1 eV의 결합에너지에서 확인할 수 있다. 이는, 금속 산화물(약 529.7 eV) 및 FeOOH(약 531.1 eV)를 나타낸다. 한편, 혼합 가스 내 메탄 가스의 비율이 66.7 %인 실시예 2의 경우에는 O 1s의 피크 강도가 감소였으며, 약 533.0 eV의 결합에너지에서 B_2O_3를 나타내는 피크를 확인하였다. 이는, 메탄 가스의 첨가로 인해, 산소 원자(O)가 환원되어 금속 산화물이 감소하였기 때문이다.

[0134] 최종적으로, CoFeB 박막은 H_2O를 포함하는 가스 하에서 산화하여 Co, Fe 및 B를 포함하는 금속 산화물을 형성하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 본 발명에 따른 H_2O 가스 및 메탄 가스를 혼합하는 경우에 C 또는 CH 기를 포함하는 금속 화합물을 형성하는 것을 확인할 수 있었다.

[0135] 따라서, H_2O 가스 및 메탄 가스의 혼합 가스는 CoFeB 박막과의 화학 반응을 극대화하여 CoFeB 박막을 식각하기 위한 최적의 혼합 가스임을 알 수 있다.

[0136] <실험예 4> 혼합 가스의 혼합비율에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도 분석

[0137] H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)의 혼합비율에 따른 FePt 박막과 TiN 하드 마스크의 식각 속도 및 선택도(=FePt 박막 식각 속도/TiN 하드 마스크 식각 속도)를 알아보기 위하여 실시예 5 내지 실시예 8, 비교예 8 및 비교예 9에서 식각된 박막에 대한 식각 속도를 측정하였고, 그 결과를 도 11에 나타내었다.

[0138] 도 11에 나타낸 바와 같이, H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)를 혼합하여 식각을 수행한 실시예 5 내지 실시예 8, 비교예 8 및 비교예 9의 경우 H_2O 가스의 농도가 증가함에 따라 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. H_2O 가스의 농도 증가에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도의 감소는 아르곤(Ar) 이온의 감소 때문에 이온의 충돌이 감소하거나, H_2O 가스로 인해 수소를 포함하는 층이 형성되어 이온의 충돌을 방해하기 때문이다.

[0139] 한편, FePt 및 Ti 하드 마스크에 대한 선택도는 불활성 가스인 아르곤 가스(Ar)만을 사용하여 식각을 수행한 비교예 8의 경우에는 가장 낮은 값을 보였다. 반면, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 20 %인 비교예 9의 경우에는 가장 높은 값인 32를 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, H_2O 가스의 농도가 증가함에 따라 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 선택도는 점차 감소하지만, 6 이상인 것을 알 수 있었다.

[0140] <실험예 5> 혼합 가스의 혼합비율에 따른 식각된 FePt 박막의 관찰

[0141] H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)의 혼합비율에 따른 FePt 박막의 식각된 면을 관찰하기 위하여 실시예 5 내지 8, 비교예 8 및 비교예 9에서 식각된 박막의 측면을 주사전자현미경(Field emission sanning electron microscopy, FE-SEM, Hitachi S-4300)을 통해 관찰하였고, 그 결과를 도 12에 나타내었다.

[0142] 도 12에 나타낸 바와 같이, 불활성 가스인 아르곤 가스(Ar)만을 사용하여 식각을 수행한 비교예 8의 경우에는 식각된 면이 거칠고 정교하지 않으며, 일부분이 재증착으로 인하여 펜스 모양을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 20 %인 비교예 9의 경우에도 재증착이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

[0143] 반면, H_2O 가스의 비율을 더욱 증가시켜 H_2O 가스의 비율이 40 내지 100 %인 실시예 5 내지 실시예 8의 경우에는 식각된 면이 약 80 ° 이상으로 더욱 가파르고, 재증착 없이 부드러운 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 아르곤 가스에 H_2O 가스를 혼합함으로써, FePt 박막에 대한 식각이 효과적으로 수행될 수 있음을 알 수 있다.

[0144] <실험예 6> 코일 고주파 전력 변화에 따른 식각된 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도 분석

[0145] 플라즈마화를 위한 코일 고주파 전력 변화에 따른 FePt 박막과 TiN 하드 마스크의 식각 속도 및 선택도(=FePt 박막 식각 속도/TiN 하드 마스크 식각 속도)를 알아보기 위하여 실시예 6, 실시예 9 및 실시예 10에서 식각된 박막에 대하여 식각 속도를 측정하였고, 그 결과를 도 13에 나타내었다.

[0146] 도 13에 나타낸 바와 같이, 700~900 W의 코일 고주파 전력 조건인 실시예 6, 실시예 9 및 실시예 10에서 코일 고주파 전력이 상승할수록 FePt에 대한 식각 속도는 크게 향상되는 경향을 보이며, TiN 하드 마스크에 대한 식각 속도는 거의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 한편, FePt 박막과 Ti 하드 마스크의 선택도(FePt의 식각 속도/TiN 하드 마스크의 식각 속도)는 FePt에 대한 식각 속도의 향상에 따라, 향상되는 경향을 나타낸다. 이때, FePt 박막과 Ti 하드 마스크의 선택도는 15 이상으로 매우 높은 값이 나타나는 것을 알 수 있다.

[0147] <실험예 7> 코일 고주파 전력 변화에 따른 식각된 FePt 박막의 관찰

[0148] 플라즈마화를 위한 코일 고주파 전력 변화에 따른 FePt 박막의 식각면을 관찰하기 위하여 실시예 6, 실시예 9 및 실시예 10에서 식각된 박막의 측면을 주사전자현미경(Field emission sanning electron microscopy, FE-

SEM, Hitachi S-4300)을 통해 관찰하였고, 그 결과를 도 13에 나타내었다.

[0149] 도 14에 나타낸 바와 같이, 700~900 W의 코일 고주파 전력 조건인 실시예 6, 실시예 9 및 실시예 10에서 식각된 박막에서는 재증착이 일어나지 않음을 알 수 있다. 코일 고주파 전력이 700 W인 실시예 9에서는 상대적으로 식각 측면의 경사가 감소된 경향이 있으나, 코일 고주파 전력 800 및 900 W인 실시예 6 및 실시예 10에서는 다소 개선되어 좀 더 수직적인 식각 프로파일을 보이는 것을 관찰할 수 있다. 이는 플라즈마 밀도의 증가로 인하여 보다 많은 라디칼 및 Ar 이온이 생성되어 수직적 식각에 기여했기 때문이다.

[0150] <실험예 8> DC 바이어스 전압 변화에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도 분석

[0151] DC 바이어스 전압 변화에 따른 FePt 박막과 TiN 하드 마스크의 식각 속도 및 선택도(=FePt 박막 식각 속도/TiN 하드 마스크 식각 속도)를 알아보기 위하여 실시예 6, 실시예 11 및 비교예 10에서 식각된 박막에 대하여 식각 속도를 측정하였고, 그 결과를 도 15에 나타내었다.

[0152] 도 15에 나타낸 바와 같이, 실시예 6, 실시예 11 및 비교예 10에서 DC 바이어스 전압이 200 V에서 400 V까지 상승할수록 FePt 박막과 TiN 하드 마스크에 대한 식각 속도는 향상되는 것을 알 수 있다. 특히, DC 바이어스 전압이 200 V인 비교예 10 보다 DC 바이어스 전압이 300 V 및 400 V인 실시예 6 및 실시예 11의 경우 FePt 박막에 대한 식각 속도가 큰 폭으로 향상되는 것을 확인할 수 있다.

[0153] 한편, DC 바이어스 전압이 300 V 및 400 V인 실시예 6 및 실시예 11의 경우 FePt 박막과 TiN 하드 마스크의 선택도(FePt의 식각 속도/TiN 하드 마스크의 식각 속도)는 약 20 이상으로 매우 높은 값이 나타나는 것을 알 수 있다.

[0154] <실험예 9> DC 바이어스 전압 변화에 따른 FePt 박막의 관찰

[0155] DC 바이어스 전압 변화에 따른 FePt 박막의 식각면을 관찰하기 위하여 실시예 6, 실시예 11 및 비교예 10에서 식각된 박막의 측면을 주사전자현미경(Field emission sanning electron microscopy, FE-SEM, Hitachi S-4300)을 통해 관찰하였고, 그 결과를 도 16에 나타내었다.

[0156] 도 16에 나타낸 바와 같이, DC 바이어스 전압이 200~400 V인 실시예 6, 실시예 11 및 비교예 10에서 식각된 박막의 경우 재증착은 일어나지 않으며 식각면도 매끄러움을 알 수 있다. 그러나, DC 바이어스 전압이 200 V인 비교예 10의 경우 식각된 면의 기울기가 다소 완만한 것을 알 수 있으며, 실시예 6 및 11에서 DC 바이어스 전압이 증가함에 따라 식각 경사가 개선됨을 확인할 수 있다. 이는 DC 바이어스 전압이 증가함에 따라 아르곤(Ar) 이온이 증가된 가속 전압으로 기판에 충돌함으로써 수직적 식각이 우세해지기 때문이다.

[0157] <실험예 10> 가스 압력 변화에 따른 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각 속도 분석

[0158] 플라즈마화를 위한 가스 압력 변화에 따른 FePt 박막과 TiN 하드 마스크의 식각 속도 및 선택도(=FePt 박막 식각 속도/TiN 하드 마스크 식각 속도)를 알아보기 위하여 실시예 6, 실시예 12 및 비교예 11에서 식각된 박막에 대하여 식각 속도를 측정하였고, 그 결과를 도 17에 나타내었다.

[0159] 도 17에 나타낸 바와 같이, 실시예 6, 실시예 12 및 비교예 11에서 가스 압력이 상승할수록 FePt 박막 및 TiN 하드 마스크에 대한 식각 속도는 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 한편, FePt 박막 및 Ti 하드 마스크의 선택도(FePt의 식각 속도/TiN 하드 마스크의 식각 속도)는 가스 압력이 5 mTorr 일 때 가장 낮지만, 약 20의 높은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다.

[0160] <실험예 11> 가스 압력 변화에 따른 FePt 박막의 관찰

[0161] 플라즈마화를 위한 가스 압력 변화에 따른 FePt 박막의 식각면을 관찰하기 위하여 실시예 6, 실시예 12 및 비교예 11에서 식각된 박막의 측면을 주사전자현미경(Field emission sanning electron microscopy, FE-SEM, Hitachi S-4300)을 통해 관찰하였고, 그 결과를 도 18에 나타내었다.

[0162] 도 18에 나타낸 바와 같이, 실시예 6, 실시예 12 및 비교예 11에서 식각된 박막에는 가스 압력에 관계없이 재증착이 발생하지 않았다. 그러나, 10 mTorr의 가스압력인 비교예 11의 경우 TiN 하드마스크로 마스킹되지 않은 FePt 박막이 다소 남아 있음을 볼 수 있다. 이는 1 mTorr의 압력보다 10 mTorr에서 아르곤(Ar) 이온의 스캐터링이 크게 일어나게 됨으로써, 입자들이 서로 충돌하지 않고 이동하는 평균자유경로(Mean free path)가 현저하게 감소하여 이방성 식각프로파일의 형성도가 낮아지기 때문이다.

[0163] <실험예 12> 혼합 가스 조성에 따른 FePt 박막의 X-선 광전자 분광법 분석

[0164] H_2O 가스 및 불활성 가스(Ar)에 따른 FePt 박막의 화학적 반응여부를 알아보기 위하여 실시예 6, 실시예 8 및 비교예 9에서 식각된 박막의 표면을 구성원소별 결합 에너지의 변화를 분석할 수 있는 X-선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS, ThermoScientific K-Alpha)를 통하여 분석하였고, 그 결과를 도 19 내지 21에 나타내었다.

[0165] 도 19에 나타낸 바와 같이, 식각 전의 Fe 2p의 피크는 약 707.5 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 금속인 Fe의 피크이다. 한편, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 20 %인 비교예 9의 경우에는 상기 707.5 eV의 결합에너지에서 나타난 피크 강도의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 반면, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 60 % 및 100 %인 실시예 6 및 실시예 8의 경우에는 상기 707.5 eV의 결합에너지에서 나타나던 피크가 이동하여, 약 710.0 eV의 결합에너지에서 나타난다. 이는 FeO, Fe_2O_3 및 FeO_4와 같은 철 산화물을 나타내는 피크를 나타낸다. 이를 통해, H_2O 가스를 20 % 포함하는 경우에는 철 산화물을 형성할 수 없지만, 60 %인 경우에는 철 산화물을 형성하는 것을 확인할 수 있다.

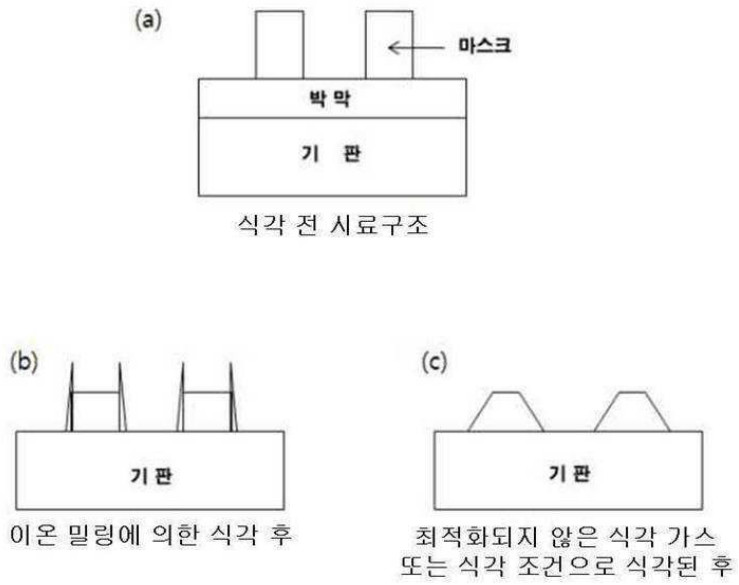
[0166] 또한, 도 20에 나타낸 바와 같이, 식각 전의 O 1s의 피크는 약 529.5 eV의 결합에너지 주변에서 매우 넓고 약한 강도의 피크를 확인할 수 있다. 또한, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 20 %인 비교예 9의 경우에도 약 529.2 eV의 결합에너지 주변에서 매우 넓고 약한 강도의 피크를 확인할 수 있다. 이는, H_2O 가스를 혼합함에 따라, 식각 동안 철 산화물이 형성될 수 있는 가능성을 보여주지만, 그 가능성은 낮다. 반면, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 60 % 및 100 %인 실시예 6 및 실시예 8의 경우에는 O 1s의 피크가 약 530.0 eV의 결합에너지에서 매우 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는, 다양한 철 산화물에 대한 피크를 나타낸다.

[0167] 나아가, 도 21에 나타낸 바와 같이, 식각 전의 Pt 4f의 피크는 약 71.5 eV의 결합에너지에서 나타나며, 이는 금속 Pt의 피크를 나타낸다. 또한, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 20 %인 비교예 9의 경우에도 약 71.4 eV의 결합에너지에서 나타나며, 피크의 강도가 큰 것을 확인할 수 있다. 반면, 혼합 가스 내 H_2O 가스의 비율이 60 % 및 100 %인 실시예 6 및 실시예 8의 경우에는 Pt 4f의 피크가 약 72.0 eV에서 나타나며, 이는 PtO(72.4 eV) 및 $Pt(OH)_2$(72.6 eV)의 피크를 나타낸다.

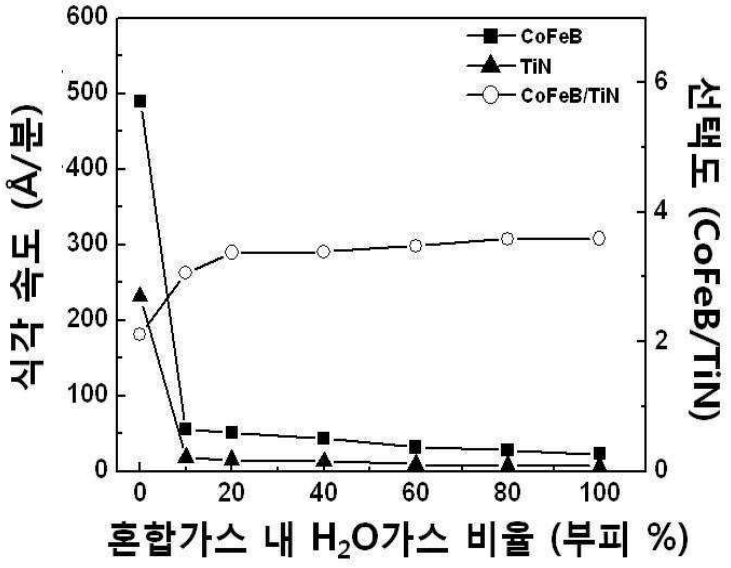
[0168] 따라서, H_2O 가스 및 불활성 가스의 혼합 가스는 FePt 박막과의 화학 반응을 극대화하여 FePt 박막을 식각하기 위한 최적의 혼합 가스임을 알 수 있다.

도면

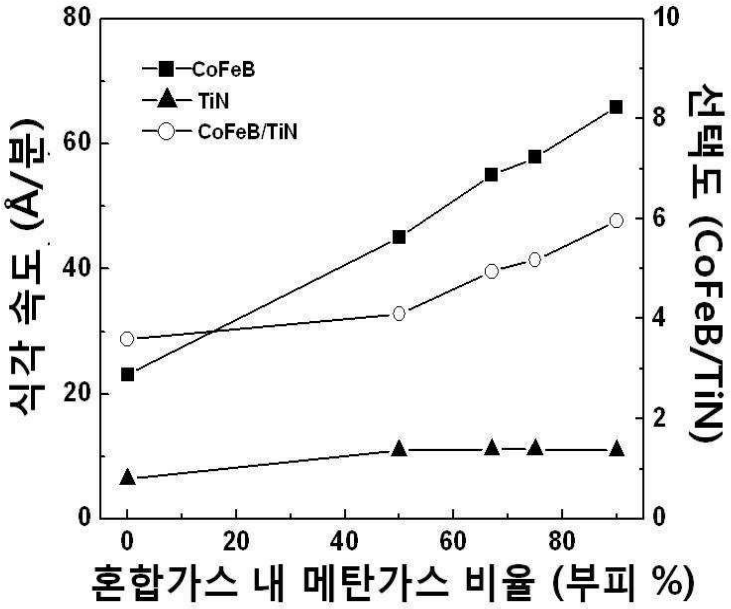
도면1


(a)
마스크
박막
기 판
식각 전 시료구조
(b)
기판
이온 밀링에 의한 식각 후
(c)
기판
최적화되지 않은 식각 가스
또는 식각 조건으로 식각된 후

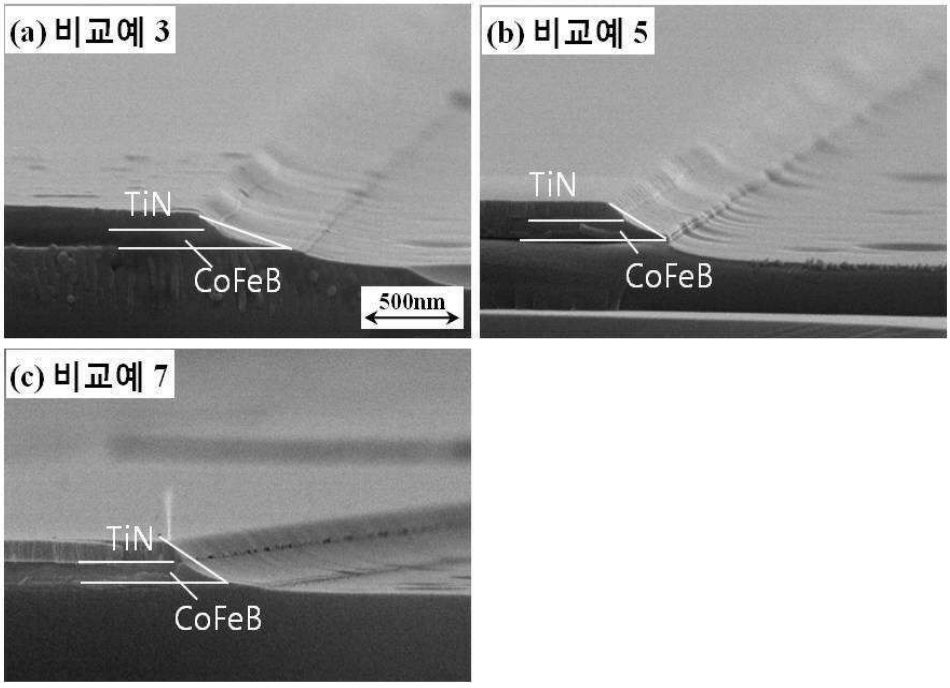
도면2


CoFeB
TiN
CoFeB/TiN
식각 속도 (Å/분)
선택도 (CoFeB/TiN)
600
500
400
300
200
100
0
6
4
2
0
0
20
40
60
80
100
혼합가스 내 H2O가스 비율 (부피 %)

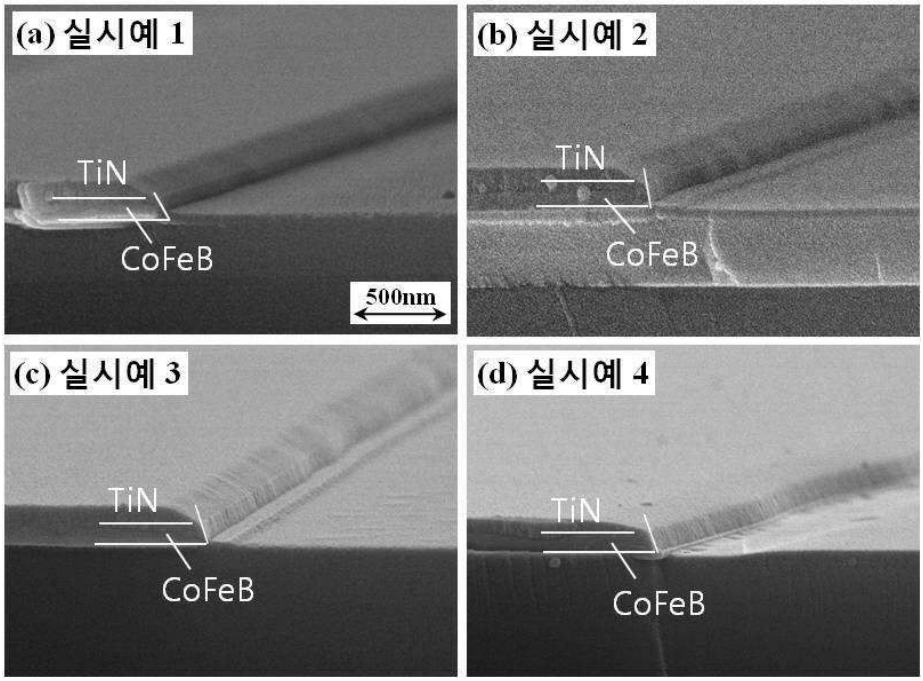
도면3


CoFeB
TiN
CoFeB/TiN
식각 속도 (Å/분)
선택도 (CoFeB/TiN)
혼합가스 내 메탄가스 비율 (부피 %)
0
20
40
60
80
0
2
4
6
8
10

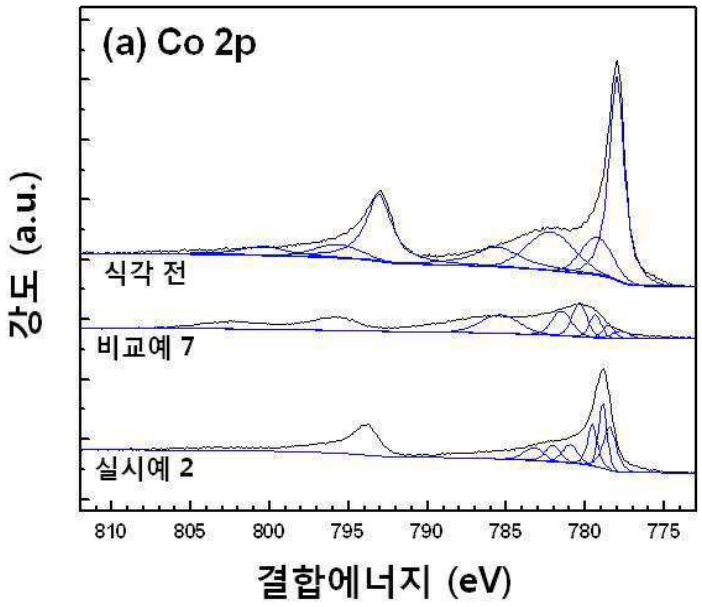
도면4


(a) 비교예 3
TiN
CoFeB
500nm
(b) 비교예 5
TiN
CoFeB
(c) 비교예 7
TiN
CoFeB

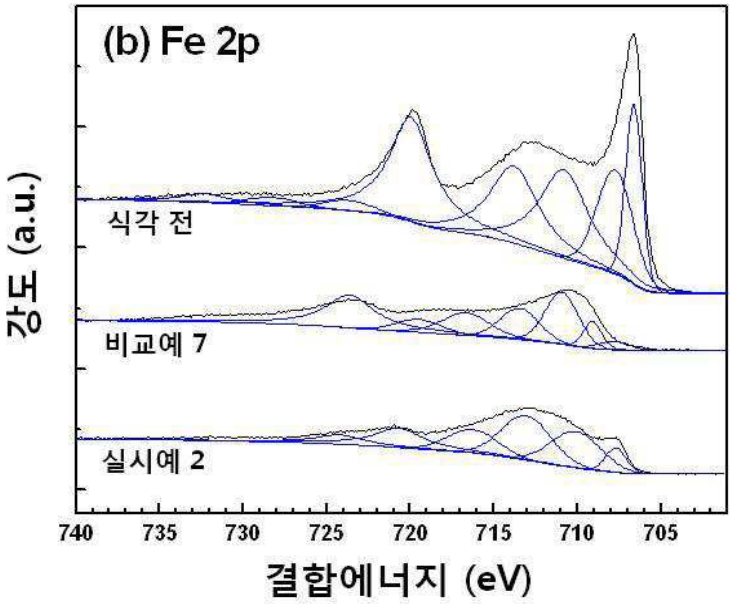
도면5


(a) 실시예 1
TiN
CoFeB
500nm
(b) 실시예 2
TiN
CoFeB
(c) 실시예 3
TiN
CoFeB
(d) 실시예 4
TiN
CoFeB

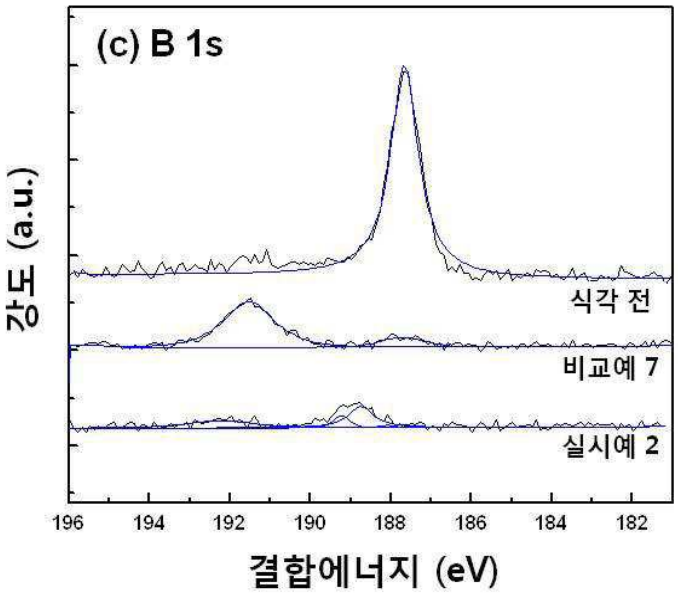
도면6


(a) Co 2p
식각 전
비교예 7
실시예 2
강도 (a.u.)
810
805
800
795
790
785
780
775
결합에너지 (eV)

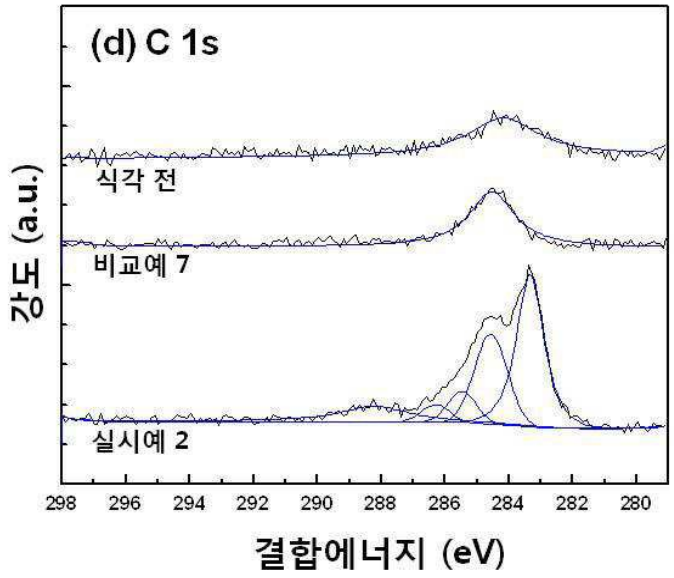
도면7


(b) Fe 2p
식각 전
비교예 7
실시예 2
강도 (a.u.)
740
735
730
725
720
715
710
705
결합에너지 (eV)

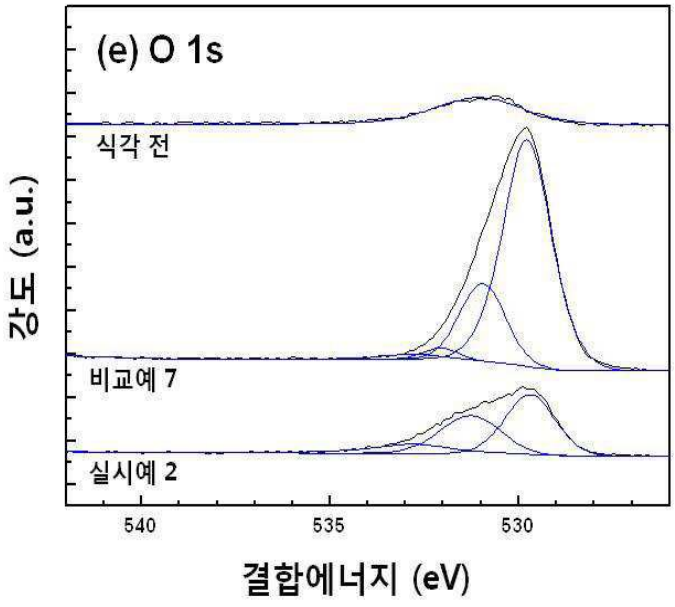
도면8


(c) B 1s
식각 전
비교예 7
실시예 2
강도 (a.u.)
196
194
192
190
188
186
184
182
결합에너지 (eV)

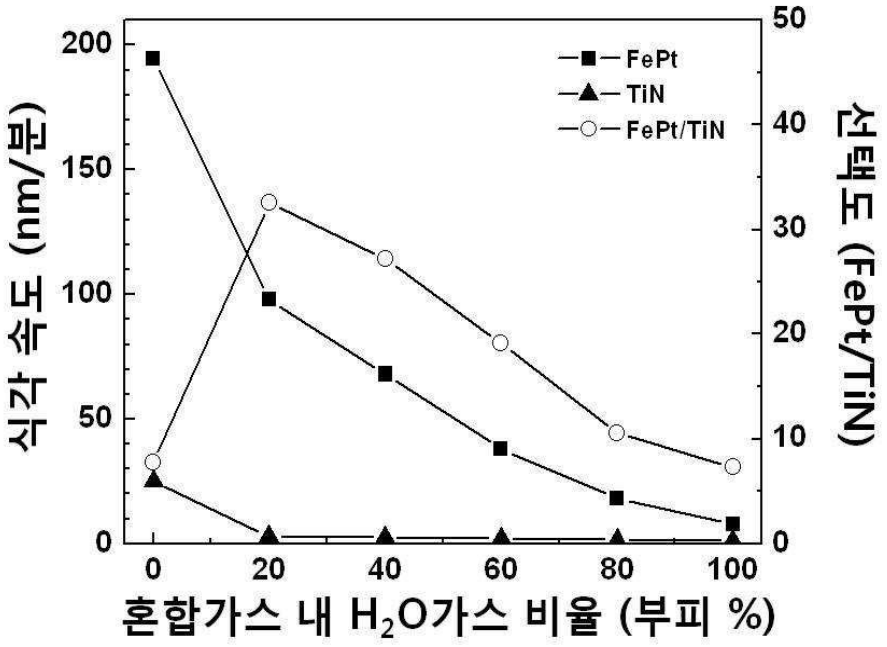
도면9


(d) C 1s
식각 전
비교예 7
실시예 2
강도 (a.u.)
298
296
294
292
290
288
286
284
282
280
결합에너지 (eV)

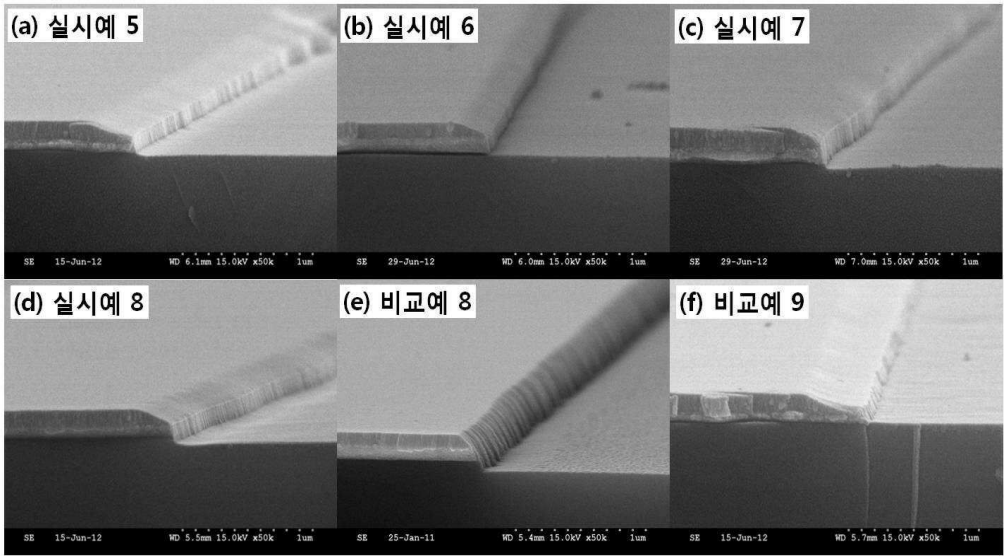
도면10


(e) O 1s
식각 전
비교예 7
실시예 2
강도 (a.u.)
540
535
530
결합에너지 (eV)

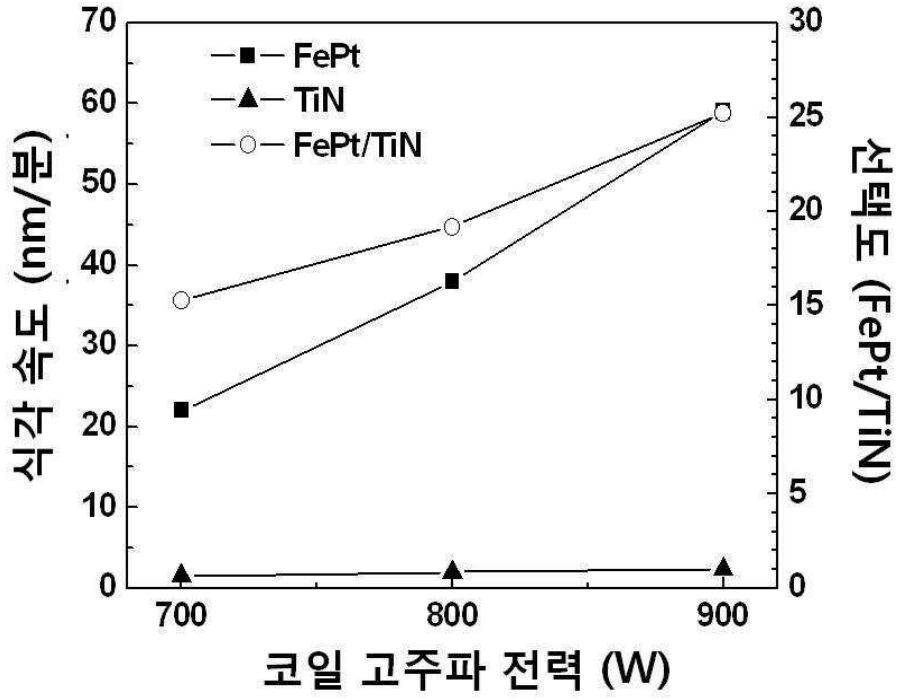
도면11


200
150
100
50
0
식각 속도 (nm/분)
50
40
30
20
10
0
선택도 (FePt/TiN)
FePt
TiN
FePt/TiN
0
20
40
60
80
100
혼합가스 내 H_2O가스 비율 (부피 %)

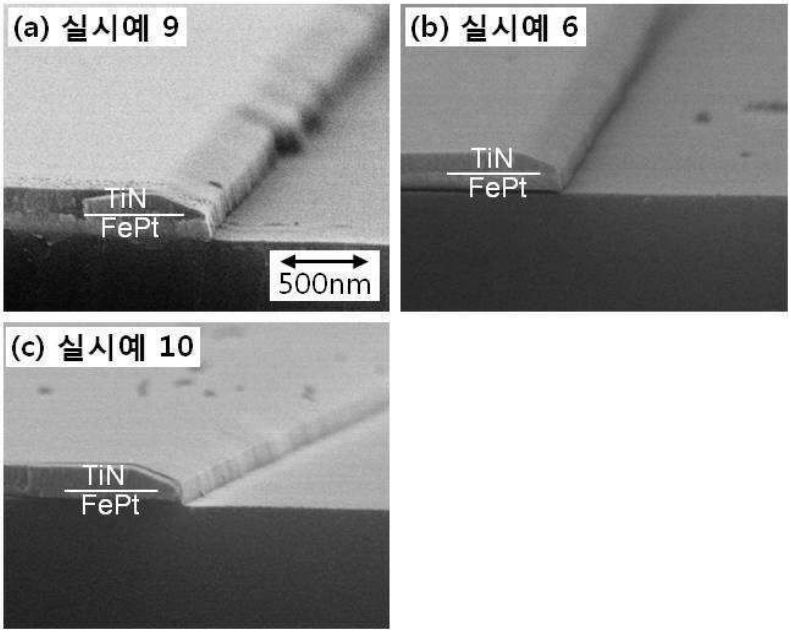
도면12


(a) 실시예 5
(b) 실시예 6
(c) 실시예 7
(d) 실시예 8
(e) 비교예 8
(f) 비교예 9

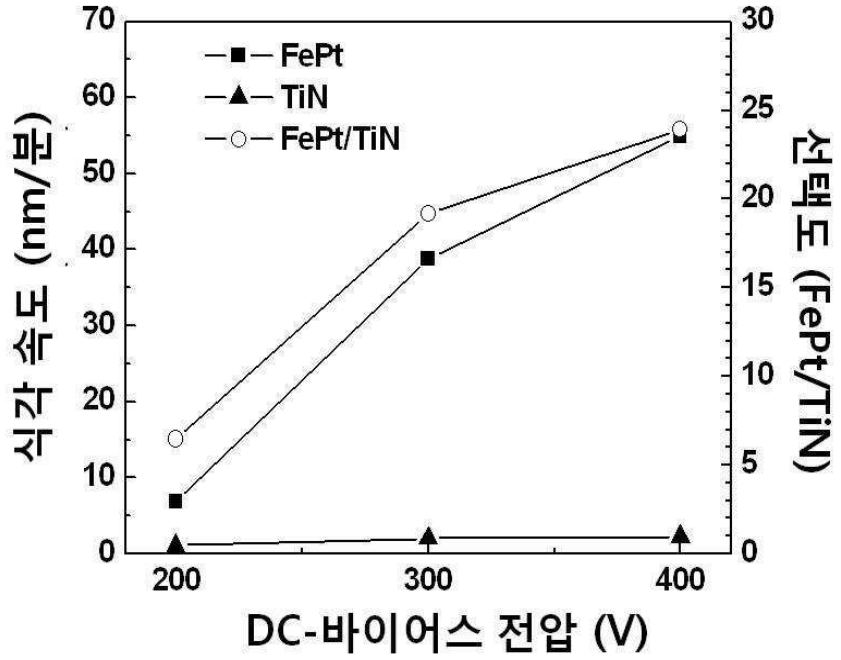
도면13


FePt
TiN
FePt/TiN
식각 속도 (nm/분)
선택도 (FePt/TiN)
코일 고주파 전력 (W)
0
10
20
30
40
50
60
70
0
5
10
15
20
25
30
700
800
900

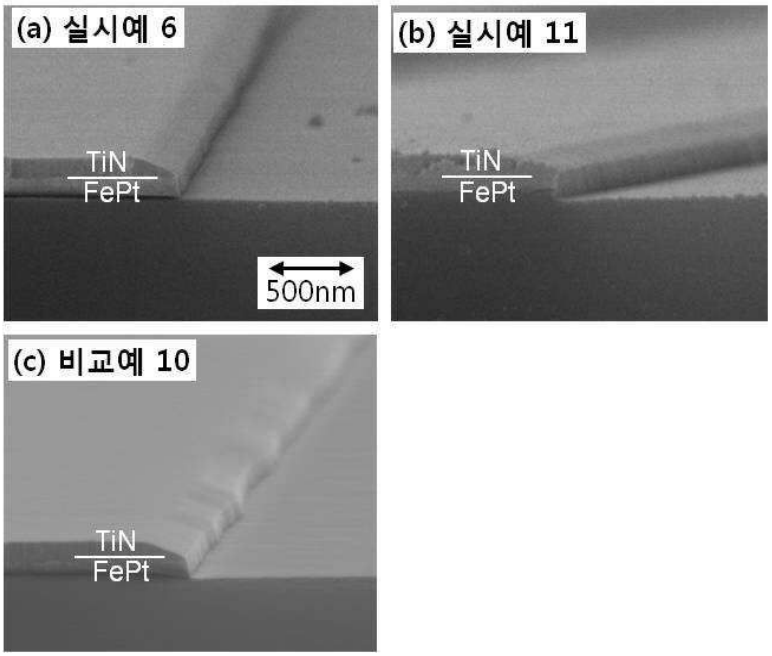
도면14


(a) 실시예 9
TiN
FePt
500nm
(b) 실시예 6
TiN
FePt
(c) 실시예 10
TiN
FePt

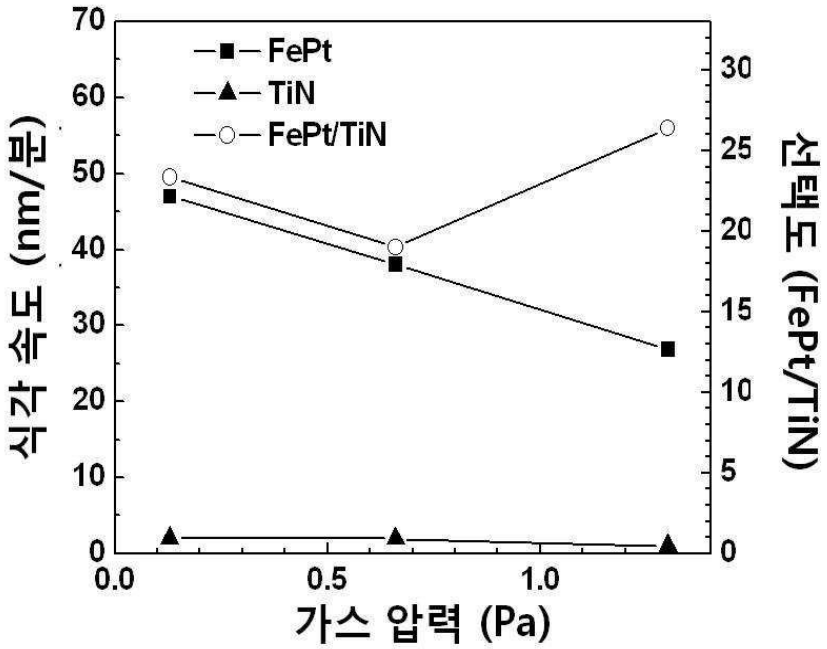
도면15


FePt
TiN
FePt/TiN
식각 속도 (nm/분)
선택도 (FePt/TiN)
DC-바이어스 전압 (V)
0
10
20
30
40
50
60
70
0
5
10
15
20
25
30
200
300
400

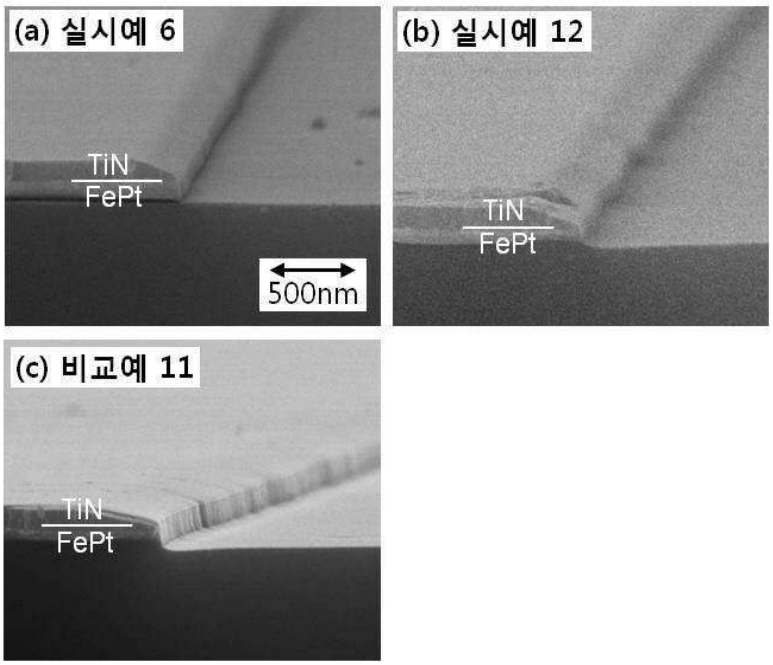
도면16


(a) 실시예 6
TiN
FePt
500nm
(b) 실시예 11
TiN
FePt
(c) 비교예 10
TiN
FePt

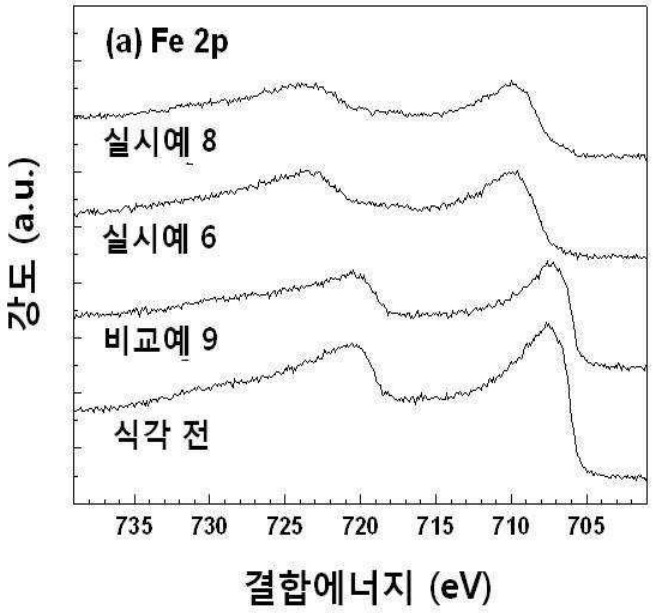
도면17


FePt
TiN
FePt/TiN
식각 속도 (nm/분)
선택도 (FePt/TiN)
가스 압력 (Pa)
0
10
20
30
40
50
60
70
0
5
10
15
20
25
30
0.0
0.5
1.0

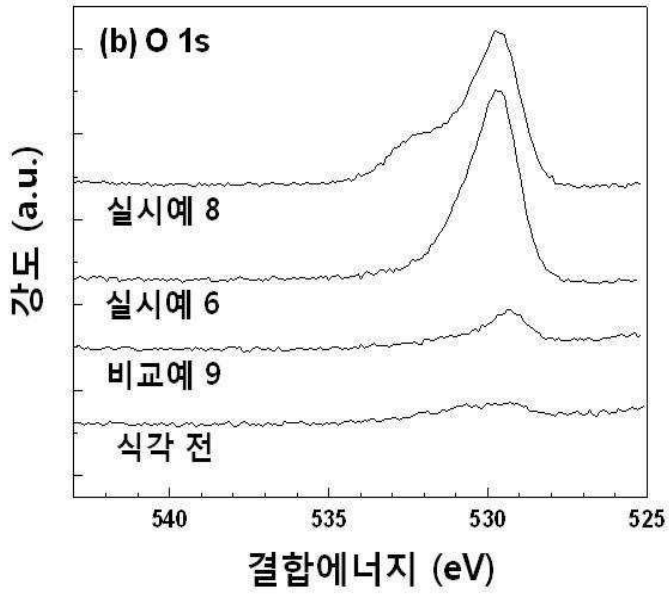
도면18


(a) 실시예 6
TiN
FePt
500nm
(b) 실시예 12
TiN
FePt
(c) 비교예 11
TiN
FePt

도면19


(a) Fe 2p
실시예 8
실시예 6
비교예 9
식각 전
강도 (a.u.)
735
730
725
720
715
710
705
결합에너지 (eV)

도면20


(b) O 1s
실시예 8
실시예 6
비교예 9
식각 전
강도 (a.u.)
540
535
530
525
결합에너지 (eV)

도면21

