



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0145100
(43) 공개일자 2015년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C23F 4/00 (2006.01) C22C 19/07 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0074497
(22) 출원일자 2014년06월18일
심사청구일자 2014년06월18일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
정지원
서울특별시 마포구 마포대로7길 22 삼성래미안공
덕3차아파트 303-1202
아드리안
인천광역시 남구 인하로47번길 104 (용현동) 그린
주택 103호
황수민
서울특별시 양천구 목동남로2길 60-7 양천중앙하
이즈아파트 104-802
(74) 대리인
특허법인 공간

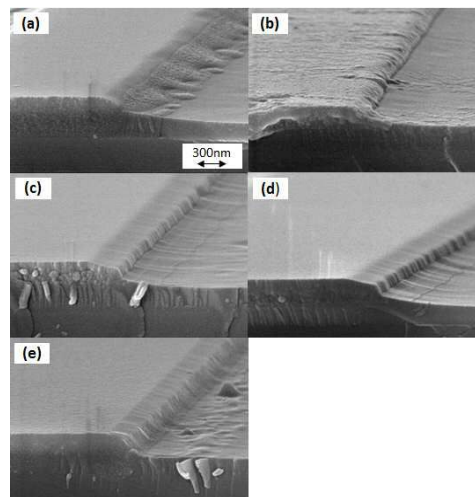
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 호이슬러 합금의 식각방법

(57) 요약

본 발명은 Heusler alloy 자성재료 박막의 건식식각방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 20 부피% 내지 80 부피%의 기체상 알코올과 20 부피% 내지 80 부피%의 불활성 가스의 혼합가스를 플라즈마화하는 단계; 및 상기 플라즈마화된 혼합가스 중의 이온 및 라디칼에 의하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계;를 포함하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법을 통하여 재증착이 없이 높은 정도의 이방성 식각프로파일을 나타내는 새로운 식각방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 48872-1

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국반도체연구조합

연구사업명 미래소자 원천기술개발사업

연구과제명 소자 집적 및 MTJ 식각 기술(1차년도)

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2014.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

TiN 하드마스크를 이용하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 마스크하는 단계; 및
20 부피% 내지 80 부피%의 기체상 알코올과 20 부피% 내지 80 부피%의 불활성 가스의 혼합가스를 플라즈마화하고 상기 플라즈마화된 혼합가스 중의 이온 및 라디칼에 의하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계;

를 포함하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 알코올은 CH₃OH, C₂H₅OH, C₃H₇OH 중에서 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)은 Co₂MnSi, Co₂MnAl, Co₂MnGa, Co₂MnGe, Co₂FeSi 및 Co₂FeAl로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)은 Co₂MnSi 인 것을 특징으로 하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계는 고밀도 플라즈마 반응성 이온 식각법, 자기 증강 반응성 이온 식각법 및 반응성 이온 식각법 중에서 선택된 방법에 의해 수행됨을 특징으로 하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계는 800 W 이상의 코일 고주파 전력, 300 V 내지 400 V의 dc-bias 전압 및 1 mTorr 내지 10 mTorr 범위의 가스 압력에서 수행됨을 특징으로 하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 재증착이 발생하지 않고 빠른 식각속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공할 수 있는 자성재료 박막의 건식 식각 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 현존하는 여러 가지 전기 전자기기를 가운데서 자성물질 또는 자성박막을 사용하는 제조되는 소자 및 기기들이 있다. 이 가운데서 자성물질의 박막형태, 즉 자성박막(자기박막; magnetic thin films)의 형태를 사용하여 제조되는 경우에는 반드시 자성박막의 패터닝이 수행되어야 한다. 즉, 자성박막의 증착이 선행되고 그 후에 이를 패터닝에 의하여 마스크를 형성하고 마스크 패턴 주위의 노출된 부분을 식각공정에 의하여 제거함으로써 자성박막의 패터닝이 완성되고 후속공정들을 마친 후에 소자 및 기기들이 제조된다.
- [0003] 일 예로서, 수평전류에 의하여 자기장이 발생하여 자성물질의 자화가 반전되는 현상을 이용하여 자기저항 효과를 이용하는 불휘발성 자성 메모리인 Magnetoresistive Random Access Memory (MRAM) 소자가 연구되고 있으며, 더 나아가, 자성물질의 특유한 spin 의존 전도현상을 기초(spinner transfer torque: STT)로 하여 자성물질의 자화 반전을 발생시켜 자기저항 효과를 이용하는 새로운 불휘발성 자기메모리인 STT-MRAM 소자가 현재 활발히 연구되고 있다.
- [0004] 일반적으로 Conventional MRAM의 동작원리를 간단히 살펴보면, 수평전류를 인가하여 이로부터 발생하는 자기장을 이용하여 자화를 반전시켜서 자기터널저항 값을 변화시키면서 작동이 될 수 있다. 상기 MRAM은 강자성 tunnel 접합 (magnetic tunnel junction; MTJ) 소자를 이용한다. 가장 간단한 MTJ stack은 2개의 자성층과 그 사이에 nm 두께의 Al₂O₃ 또는 MgO 절연체로 구성된다. 상기 자성층 사이에 전압을 인가하면 tunnel 전자의 conductance가 그 spin에 의존하게 되며, 따라서 저항은 2개의 자성층의 자화가 평행한 쪽이 반평행한 경우보다 작아진다. 즉 2개의 자성층의 spin 분극율로부터 tunnel 자기저항(tunneling magnetoresistance; TMR)을 얻을 수 있고, 이러한 저항값의 차이를 메모리소자의 작동에 이용하는 것이다.
- [0005] 상기 MRAM 개발에 필요한 주요 연구과제 가운데 하나는 LSI화 process 기술이다. 이 중에서 LSI화 기술에서는 MTJ stack을 미세가공 하기 위하여 ion milling을 사용하고 있으나, 향후에는 신뢰성 있는 반응성 이온 식각 (reactive ion etching; RIE)기술이 개발되어 적용되어야 한다.
- [0006] 일반적으로 자성박막 및 자성을 나타내는 Heusler alloy 물질들의 식각공정에는 습식 식각과 건식 식각방법 등이 있다. 그러나 식각할 패턴들의 크기가 수 마이크로미터 크기이하로 축소됨에 따라서 습식식각의 적용이 어려워지며 패턴 전달에 충실한 플라즈마를 이용하는 건식식각이 적용되어야 한다. 상기 건식식각공정은 일명 플라즈마 식각이라고 불리지만 플라즈마의 화학반응성에 의하여 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 불활성 가스인 Ar 플라즈마를 이용하는 이온밀링 식각법과 여러 가지 화학가스를 사용하는 반응성 이온식각(reactive ion etching)법으로 분류된다.
- [0007] 도 1은 이온밀링 식각법 및 반응성 이온 식각법에 따른 식각전 시료의 구조와 식각후에 식각조건에 따라서 얻어지는 다른 식각프로파일을 보여주는데, 이를 보다 상세히 살펴보면, 도 1(a) 식각전 시료구조, 도 1(b)와 (c)는 각각 식각된 시료의 식각프로파일을 나타낸다.
- [0008] 일반적으로 자성박막들은 본래 화학반응성이 매우 낮은 물질들로서 주로 이온밀링 식각법에 의하여 식각이 진행되었다. 상기 이온밀링에 의한 자성박막들의 식각결과와 식각된 패턴주위로 재증착이 형성되어 도 1b)에 도시된 바와 같이 fence 모양을 발생시킨다(도면1(b)). 이는 이온밀링 식각법이 화학반응 없이 순수하게 Ar 양이온의 충돌에너지에 의하여 자성물질의 일부가 스퍼터되어 제거되는 식각메카니즘에 기인한다. 따라서 자성박막위의 패턴의 크기가 서브마이크로미터 또는 나노미터 크기이하로 축소되거나 또는 패턴사이의 간격이 나노미터 크기로 축소될 때 재증착이 더욱 더 심화되며 또는 자성박막의 두께가 나노미터 수준이하로 얇아진다면 상부에 있는 박막들과 연결되어 단락을 발생시킬 수 있다. 즉, 고집적 소자들의 제조를 위하여 자성박막의 식각이 필요할 경우에는 물리적 식각메카니즘에 의한 이온 밀링법이 아닌 화학반응이 적용된 반응성 이온 식각법등이 연구 개발되어 적용되어야 한다.
- [0009] 반응성 이온 식각법에 의하여 자성박막들이 식각될 경우에도 잘 못 선택된 식각가스를 사용하거나 또는 적절치 못한 식각공정들을 적용할 경우에 식각된 패턴의 측면에 재증착이 발생한다. 또는 과도한 식각가스를 사용하는 경우에는 재증착의 발생은 감소하나 식각된 측면경사 (식각경사)가 매우 완만하여 도 1c)에 도시된 바와 같이 미세패턴의 식각에 적용하기 어렵다(도면1(c)).
- [0010] 이러한 전이금속 박막의 식각방법과 관련하여, 공개특허공보 제 10-1998-0006194호(1998.03.30)에서는 할로젠 가스 및 할로젠류 가스 중에서 선택된 적어도 하나의 제1가스와 탄소 산화물계 가스, 탄화수소계 가스, 질소 산화물계 가스 및 질소계 가스 중에서 선택된 어느 하나인 제2가스를 순차적으로 또는 동시에 혼합가스 형태로 주입하여 상기 전이금속 박막을 휘발성 화합물로 전환시키는 단계를 포함하는 전이금속 박막의 식각방법에 관해 기재되어 있고, 또한 공개특허공보 10-2012-0081429(2012.07.19.)에서는 코발트-철계, 코발트-지르코늄계, 코

발트-백금계, 니켈-철계 등의 자성박막의 식각방법에 관해 기재되어 있다.

- [0011] 한편, 호이슬러 합금(Heusler alloy)은 강자성 성분을 함유하지 않은, 즉 망간, 아연, 동, 알루미늄 등의 합금으로서 강자성을 나타내는 합금을 이르며, 이들은 보다 일반적으로는 일반식 XYZ 또는 X₂YZ의 조성을 갖춘 금속간 합금으로 간주되는데, 여기서 X 및 Y 각각은 적어도 하나의 전이 그룹 원소(즉, 전자의 d-밴드가 최대 10개 미만의 전자를 포함하는 금속 원소)이고 Z는 도 1에 도시된 원소의 주기율표 중 13 내지 16족에 있는 적어도 하나의 원소이며, 따라서 Si 및 Ge와 같은 하나 이상의 반도체 원소가 포함될 수 있다.
- [0012] 많은 호이슬러 합금들은 Mn을 포함하며 강자성인데, 상기 강자성은 Mn 원자의 자기 및 화학적 순서 모두에 임계적으로 의존한다. 또한, Mn 함유 호이슬러 합금들은 매우 높은 큐리 온도(예를 들면, ~ 700 °C)와 큰 자기 모멘트(예를 들면, 3.5 μ_B /화학식 단위(formula unit))를 나타낸다.
- [0013] 상기 호이슬러 합금의 경우 저항성 메모리 소자 등의 강자성층에 사용될 수 있으며, 이들이 반도체 재료로서 적용된 경우에 상기 호이슬러 합금을 포함하여 이루어지는 강자성 층의 최적의 식각 공정의 개발에 대한 요구가 증가하고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제 10-1998-0006194호(1998.03.30.)
- (특허문헌 0002) 공개특허공보 10-2012-0081429(2012.07.19.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 따라서, 본 발명은 상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성박막의 식각공정에 사용되는 최적의 식각조건을 개발하여 제공하는 것을 제1의 목적으로 한다.
- [0016] 또한 본 발명은 상기 호이슬러 합금을 포함하는 자성박막의 식각공정을 이용하여 얻어지는 반도체 소자를 제공하는 것을 제2의 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 TiN 하드마스크를 이용하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 마스크하는 단계; 및 20 부피% 내지 80 부피%의 기체상 알코올과 20 부피% 내지 80 부피%의 불활성 가스의 혼합가스를 플라즈마화하고 상기 플라즈마화된 혼합가스 중의 이온 및 라디칼에 의하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계;를 포함하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법을 제공한다.
- [0018] 일 실시예로서, 상기 알코올은 CH₃OH, C₂H₅OH, C₃H₇OH 중에서 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0019] 이 경우에 상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)은 Co₂MnSi, Co₂MnAl, Co₂MnGa, Co₂MnGe, Co₂FeSi 및 Co₂FeAl로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나일 수 있고, 보다 바람직하게는 상기 호이슬러 합금(Heusler alloy)은 Co₂MnSi 일 수 있다.
- [0020] 일 실시예로서, 상기 자성재료 박막을 식각하는 단계는 고밀도 플라즈마 반응성 이온 식각법, 자기 증강 반응성 이온 식각법 및 반응성 이온 식각법 중에서 선택되는 어느 하나의 방법에 의해 수행될 수 있다.
- [0021] 일 실시예로서, 상기 자성재료 박막을 식각하는 단계는 800 W 이상의 코일 고주파 전력, 300 V 내지 400 V의 dc-bias 전압 및 1 mTorr 내지 10 mTorr 범위의 가스 압력에서 수행될 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명에 의한 자성재료 박막의 건식 식각 방법은 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 재증착이 발생하지 않고 빠른 식각속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공함으로써 호이슬러 합금(Heusler

alloy)을 포함하는 자성재료 박막이 사용되는 모든 소자 및 기기들에 적용될 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명은 CH₃OH를 포함하는 알코올계가스와 불활성 가스인 Ar을 포함하는 혼합 식각가스를 사용하고 최적범위의 coil rf power, gas pressure, 기판에 인가되는 바이어스 전압등을 적용하여 종래의 식각결과보다 더 우수한 식각프로파일을 얻을 수 있다.

[0024] 따라서, 본 발명은 Heusler alloy 자성물질들의 식각에 개별적으로 적용될 수 있고, Heusler alloy와 자성박막들의 적층으로 이루어진 자기터널접합(MTJ) 소자 및 자기메모리(MRAM)등에 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 이온밀링 식각법 및 반응성 이온 식각법에 따른 식각전 시료의 구조와 식각후에 식각조건에 따라서 얻어지는 다른 식각프로파일들을 나타낸다.

도 2는 본 발명에 따른, CH₃OH 농도의 변화에 대한 Co₂MnSi (CMS) 박막 및 TiN 하드마스크의 식각속도의 변화와 식각선택도를 보여주는 그래프이다.

도 3은 본 발명에 따른 CH₃OH 농도의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여주는 그래프이다

도 4는 본 발명에 따른, ICP rf power의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막 및 TiN 하드마스크의 식각속도의 변화와 식각선택도를 보여주는 그래프이다.

도 5는 본 발명에 dc-bias voltage to substrate의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막 및 TiN 하드마스크의 식각속도의 변화와 식각선택도를 보여주는 그래프이다.

도 6은 본 발명에 따른 chamber pressure의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막 및 TiN 하드마스크의 식각속도의 변화와 식각선택도를 보여주는 그래프이다.

도 7은 본 발명에 따른 ICP rf power의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 8은 본 발명에 따른 dc-bias voltage의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 9은 본 발명에 따른 chamber pressure의 변화에 따른 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여주는 그래프이다.

도 10은 본 발명에 따른 CH₃OH 농도의 변화에 대한 플라즈마내에서 높은 강도(intensity)의 입자들에 대한 optical emission spectroscopy (OES) 분석의 결과이다.

도 11은 본 발명에 따른 CH₃OH 농도의 변화에 대한 플라즈마내에서 낮은 강도(intensity)의 입자들에 대한 optical emission spectroscopy (OES) 분석의 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 기술자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 발명의 구성을 상세히 설명한다. 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 원리를 상세하게 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.

[0027] 본 발명은 TiN 하드마스크를 이용하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 마스크하는 단계; 및 20 부피% 내지 80 부피%의 기체상 알코올과 20 부피% 내지 80 부피%의 불활성 가스의 혼합가스를 플라즈마화하고 상기 플라즈마화된 혼합가스 중의 이온 및 라디칼에 의하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계;를 포함하는 자성재료 박막의 건식 식각 방법을 제공한다.

[0028] 이하 본 발명을 단계별로 상세히 설명한다.

[0029] 본 발명에서의 첫 번째 단계는 TiN 하드마스크를 이용하여 호이슬러 합금(Heusler alloy)을 포함하는 자성재료 박막을 마스크하는 단계이다. 상기 마스크는 하드 마스크로서, Ti 또는 TiN 하드 마스크인 것이 바람직하다. 또한 상기 마스크로서, 종래에는 포토레지스트 마스크를 주로 사용하였으나, 포토레지스트 마스크는 식각속도가 매우 빨라서 식각속도가 느린 자성박막에 적용하는 것은 적합하지 않다.

- [0030] 두 번째 단계는 알코올계 가스 및 불활성 가스의 혼합가스를 식각가스로 사용하고, 상기 식각가스를 플라즈마화하여 상기 플라즈마 중의 이온 및 라디칼에 의하여 마스크된 자성 박막을 식각하는 단계이다.
- [0031] 자성박막들을 식각하기 위하여 기존의 경우에는 Ar 가스를 사용하여 물리적 식각 메커니즘에 의하여 식각하는 이온밀링법이 주로 사용되었으며, 최근에는 고밀도 플라즈마 식각장치를 이용하여 식각이 진행되고 있다. 주로 C12 가스를 이용하여 자성박막이 식각되었으나 낮은 농도의 C12 가스를 사용할 경우에는 재증착이 발생하고 높은 농도의 C12 가스를 사용할 경우에는 재증착은 상당히 감소하나 식각측면의 경사가 완만하게 식각되어 나노미터 수준의 미세패턴에는 적합하지 않은 결과를 보여준다.
- [0032] 상기 알코올계 가스는 반응성 이온 식각을 수행하고, 불활성 가스는 물리적 식각을 수행하게 된다. 일반적인 자성박막의 물리적 식각방법인 이온밀링은 식각된 패턴 주위로 재증착이 일어나 웬스 모양을 형성하게 되지만, 상기와 같이 알코올계 가스 및 불활성 가스의 혼합가스를 사용하는 경우 재증착이 발생하지 않고 적절한 식각 속도 및 높은 이방성의 식각프로파일을 제공할 수 있다는 장점이 있으며, 이는 상기 두 번째 단계에서 가스 농도 등의 공정 조건을 적절히 조절하여 식각을 수행함에 따라 알코올계 가스의 탄소, 수소, 산소 라디칼 및 하이드록실(-OH)기 등이 화학반응을 일으켜 식각 후 재증착 물질들이 현저히 줄어들거나 발생하지 않기 때문이다.
- [0033] 본 발명에서 상기 알코올계 가스와 불활성 가스는 20 부피% 내지 80 부피%의 기체상 알코올과 20 부피% 내지 80 부피%의 불활성 가스의 혼합가스를 이용할 수 있다.
- [0034] 상기의 알코올계 가스는 CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ 중에서 선택할 수 있다. 상기의 알코올계 가스는 적절한 식각속도를 제공하며, 식각 후 부산물이 재증착되지 않는다는 장점을 갖고 있다.
- [0035] 만약 상기 알코올계 가스보다 탄소수가 많은 알코올계 가스를 사용하게 되면 과도한 탄소수로 인하여 수소가 동시에 증가하여 폴리머 물질이 발생하는 문제가 있다. 폴리머 물질이 발생하면서 기판에 증착되는 문제가 발생한다.
- [0036] 상기 호이슬러 합금을 포함하는 자성재료 박막을 식각하는 단계는 유도결합플라즈마 반응성 이온식각법을 포함하는 고밀도 플라즈마 반응성 이온 식각법, 자기증강반응성 이온 식각법 및 반응성 이온식각법로 이루어지는 방법들 중에서 하나를 선택하여 수행하는 것이 바람직하다.
- [0037] 고밀도 플라즈마 이온식각방법은 외부 코일에 가하는 전력이 챔버 내부의 발생된 플라즈마 내 전자에 에너지를 전달함으로써 고밀도의 플라즈마를 얻게 되는 것으로, 식각속도가 빠르며 이온 충격에 의한 손상이 없다는 장점이 있다.
- [0038] 또한 반응성 이온식각(reactive ion etching: RIE)은 이온 충격을 이용한 반응성 화학공정과 물리적 공정에서 웨이퍼 표면으로부터 물질을 제거하는 기술이다.
- [0039] 자기증강반응성 이온식각은 자기적으로 강화된 반응성 이온 식각반응으로 물리적 방법과 화학적 방법이 결합된 식각방법이다. 자기장을 갖는 플라즈마는 고밀도 플라즈마를 생성하고 낮은 압력에서도 동작을 허용하며, 특히 높은 중회비 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 식각속도 및 이방성 식각이 수행되지 않는 문제가 있다.
- [0040] 상기의 식각되는 자성박막은 Co_2MnSi , Co_2MnAl , Co_2MnGa , Co_2MnGe , Co_2FeSi 및 Co_2FeAl 로 이루어지는 군으로부터 어느 하나의 자성박막을 선택할 수 있으며, 이 때 사용되는 식각가스는 20~80부피 %의 알코올계 가스와 20~80부피%의 Ar 가스를 혼합하여 사용할 수 있다. RF power는 800W 이상의 전력을 사용하며, DC 바이어스는 300~400V의 전압을 1m Torr에서 10m Torr의 범위를 갖는 가스 압력에서 식각공정을 하는 것이 바람직하다.
- [0041] 이는 식각가스로 사용되는 알코올계 가스가 30 부피% 미만일 경우 식각 측면의 경사가 완만하여 마스크의 패턴과 다른 결과를 가져올 수 있다. 또한, RF power가 800W 미만인 경우에도 식각측면의 경사가 완만하게 식각된다는 문제점을 갖고 있다. 본 발명에서 제시하고 있는 최소값보다 미만일 경우 식각공정시 식각측면의 경사가 완만하여 마스크의 패턴과는 다른 결과를 가져오며, 이로 인하여 추후 회로에서 다른 곳에 연결되어 문제가 발생할 수 있다. 또한, 최대값보다 큰 경우, 식각손상이 발생하여 박막이 손생되는 문제가 있으며, 이에 따라 향후 제조되는 소자의 전기적 특성이 열화되는 문제가 있다.
- [0042] <실시예> Co_2MnSi (CMS) 박막의 식각

[0043] 단계 1. 자성 박막을 마스크로 패터닝하여 마스크하는 단계

[0044] Co₂MnSi 박막이 코팅된 기판에 대하여 TiN 하드 마스크를 공지된 방법을 이용하여 패터닝하여 Co₂MnSi 박막을 마스크한다.

[0045] 단계 2. 플라즈마를 이용하여 식각하는 단계

[0046] 상기 단계 1에서 마스크된 기판을 ICP coil과 120mm 떨어진 곳에 위치시키고, 5m Torr 공정 압력에서 CH₃OH의 부피%와 Ar의 부피%의 혼합가스를 흘려주며 900W의 코일 고주파 전력과 300V의 DC 바이어스를 가하여 플라즈마를 형성하는 방법으로 TiN 하드마스크로 마스크된 Co₂MnSi를 식각한다.

[0047] 이하, 실시예 및 실험예에 대한 식각조건을 표로 나타내었으며, 각 조건을 제외한 박막의 식각방법은 실시예 1과 동일하게 수행하여 식각하였다.

표 1

	박막물질	RF power(W)	DC 바이어스 전압(V)	챔버압력(m Torr)	CH ₃ OH가스(부피%)	Ar가스(부피%)
실험예 1-a	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	0	100
실험예 1-b	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	25	25
실험예 1-c	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	50	50
실험예 1-d	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	75	75
실험예 1-e	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	100	0

[0049] <실험예 1> CH₃OH와 Ar의 혼합비율에 따른 Co₂MnSi(CMS) 박막 및 TiN 마스크의 식각속도

[0050] 식각가스인 CH₃OH와 Ar의 혼합비율에 따른 Co₂MnSi 박막과 TiN 하드 마스크의 식각 속도 및 선택도를 알아보기 위하여 표 1에서 식각 박막의 조건을 나타내었으며, 식각된 박막에 대하여 식각 속도를 측정하고 그 결과를 도 2에 나타내었다.

[0051] 도 2에 나타낸 바에 따르면, 불활성 가스인 Ar만을 사용하는 경우 Co₂MnSi 박막 및 TiN 하드 마스크의 식각속도가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, Ar 가스와 CH₃OH의 혼합가스를 사용하여 식각속도를 비교하면, CH₃OH의 비율을 증가하면 할수록 식각속도가 낮아짐을 볼 수 있고, 더 나아가 CH₃OH의 부피%가 100부피%이면 식각 속도는 거의 0에 가까워짐을 알 수 있다. 이는 식각속도가 CH₃OH 가스보다 불활성 가스인 Ar의 영향을 받는다는 것을 의미하며, Ar 이온에 의한 기판으로의 스퍼터링 효과의 감소가 주된 원인이라고 할 수 있다.

[0052] Co₂MnSi 박막의 선택성을 보면 CH₃OH의 부피%가 25부피%인 경우 5.3으로 가장 높은 것을 확인 할 수 있다. 그리고 CH₃OH의 부피%가 25 부피% 이상되면 오히려 자성박막의 선택성이 감소함을 알 수 있다. 선택성을 2보다 높은 값일 때, 다시 표현하자면 보다 바람직한 기체상 CH₃OH의 부피는 15 부피%에서 85 부피%이고, 더욱 바람직하게는 20 내지 80 부피%이며, 더욱 더 바람직하게는 20 내지 55부피%의 범위일 수 있다.

[0053] 자성박막의 식각 선택성을 2값 보다 크게 한 이유는 Co₂MnSi와 TiN을 비교하였을 때, 자성박막인 Co₂MnSi의 선택성이 TiN보다 2배 이상 높기 때문에 선택하였다.

[0054] 상기 자성박막에서 불활성 가스인 Ar과 CH₃OH는 식각가스로 사용되는데 혼합비율에 따라 Co₂MnSi 박막의 식각면을 관찰하기 위하여 상기의 표의 조건에 따라 비교하여 보았으며, 식각된 박막의 측면을 관찰하고 그 결과를 도 3에 나타내었다.

[0055] 도 3에 나타낸 바와 같이, (a)는 순수한 Ar 가스, (b)는 25부피%의 CH₃OH와 75부피%의 Ar 혼합가스, (c)는 50부

피%의 CH₃OH와 50부피%의 Ar 혼합가스, (d)는 75부피%의 CH₃OH와 25 부피%의 Ar 혼합가스, (e)는 100부피%의 CH₃OH 가스를 사용하여 식각하였다. Ar 가스의 경우에는 식각된 패턴의 측면에 재증착된 것이 관찰되고, 25 부피%의 CH₃OH 경우에는 재증착이 관찰되지 않지만 식각된 측면이 매우 거칠고 식각경사가 매우 완만하여 마스크 패턴의 패턴 전달은 매우 열악하여 다음공정에서 윗 층과 아래층과의 디바이스의 크기가 어긋나거나 패턴 마진(margin)이 너무 적어서 겹쳐져서 전기적으로 쇼트(short) 현상이 발생할 수 있다. 그러나 CH₃OH의 농도가 50 부피%, 75 부피%로 증가함에 따라서 식각프로파일이 재증착없이 부드러운 측면을 보이면서 개선되는 것이 관찰된다. 또한 식각된 패턴의 측면경사(식각경사)는 75도 정도로 증가하였다. 그러나 100% CH₃OH의 농도에서는 오히려 패턴의 중앙부분에 재증착이 생기고 식각경사도 다시 완만해지는 식각프로파일을 보인다.

[0056] 따라서, 본 발명에 의한 Co₂MnSi 박막의 식각의 측면경사는 최적의 CH₃OH농도에서 얻어지는 것을 알 수 있다.

표 2

[0057]	박막물질	RF power(W)	DC 바이어스 전압(V)	챔버압력 (m Torr)	CH ₃ OH가스 (부피%)	Ar 가스 (부피%)
실험예 2-a	Co ₂ MnSi/TiN	800	300	5	75	25
실험예 2-b	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	75	25
실험예 2-c	Co ₂ MnSi/TiN	980	300	5	75	25

[0058] <실험예 2> 코일 고주파 전력(W)에 따른 Co₂MnSi(CMS) 박막 및 TiN 마스크의 식각속도

[0059] 상기 자성박막에서 코일 고주파 전력에 따라 Co₂MnSi 박막의 식각면을 관찰하기 위하여 상기 표 2의 조건에 따라 비교하여 보았다. 동일한 조건에서 코일 고주파의 전력이 800W, 900W, 980W로 다른 경우에 따라 식각속도의 변화를 측정하였다. 도 4에는 코일 고주파 전력에 따른 식각속도의 그래프를 도시화하였으며, 코일 고주파 전력이 증가함에 따라 식각속도가 증가함을 알 수 있다. 특히 Co₂MnSi 박막의 식각속도의 증가가 더 커서 TiN 하드마스크에 대한 Co₂MnSi의 식각선택도도 점진적으로 증가한다. 식각선택도가 증가하면 얇은 하드마스크를 가지고도 원하는 박막을 식각할 수 있으며 이는 식각프로파일을 개선하는 효과도 가져온다.

[0060] 도 7에에서는 코일 고주파 전력이 변화함에 따라서 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여준다. 800W에서 식각된 Co₂MnSi 박막의 식각경사는 완만하고 식각된 측면이 고르지 못하지만 코일 고주파 전력이 증가함에 따라서 식각경사가 증가하여 980W에서 거의 90도에 가까운 식각경사를 보이고 있다.

표 3

[0061]	박막물질	RF power(W)	DC 바이어스 전압(V)	챔버압력 (m Torr)	CH ₃ OH가스 (부피%)	Ar 가스 (부피%)
실험예 3-a	Co ₂ MnSi/TiN	900	200	5	75	25
실험예 3-b	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	75	25
실험예 3-c	Co ₂ MnSi/TiN	900	400	5	75	25

[0062] <실험예 3> DC 바이어스 전압(V)의 변화에 따른 Co₂MnSi(CMS) 박막 및 TiN 마스크의 식각속도

[0063] 상기 자성박막에서 DC 바이어스 전압(V)에 따라 Co₂MnSi 박막의 식각면을 관찰하기 위하여 상기 표 3의 조건에 따라 비교하여 보았다. 동일한 조건에서 DC 바이어스의 전압(V)이 200V, 300V, 400V로 변화함에 따라 식각속도를 측정하였다. 측정한 값은 도 5에 도시되었으며, DC 바이어스 전압 값이 증가함에 따라서 식각속도도 함께 증가함을 알 수 있다. 이는 식각속도에 DC 바이어스 전압(V)도 영향을 줄 수 있다. 또한, DC 바이어스 전압이 증가함에 따라 Co₂MnSi 박막의 선택성이 커짐을 확인 할 수 있다. 300V보다 200V에서의 선택성이 높지만 식각의 속도는 낮기 때문에 DC 바이어스 전압은 300V이상의 전압을 사용하는 것이 바람직하다.

[0064] 도 8은 DC 바이어스의 전압이 변화함에 따라 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여준다. DC 바이어스의 전압이 200V, 300V, 400V로 증가함에 따라 식각경사가 증가하며 400V에서 가장 우수한 식각경사가 관찰된다.

표 4

[0065]	박막물질	RF power(W)	DC 바이어스 전압(V)	챔버압력(m Torr)	CH ₃ OH가스(부피%)	Ar가스(부피%)
실험예 4-a	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	1	75	25
실험예 4-b	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	5	75	25
실험예 4-c	Co ₂ MnSi/TiN	900	300	10	75	25

[0066] <실험예 4> 챔버 압력(m Torr)의 변화에 따른 Co₂MnSi(CMS) 박막 및 TiN 마스크의 식각속도

[0067] 상기의 자성박막에서 챔버 압력의 변화에 따라 식각속도를 측정하여 위하여 상기의 표 4의 조건으로 실험해 보았다. 챔버 압력의 변화는 1m Torr, 5m Torr, 10m Torr의 경우로 변화를 주었다.

[0068] 도 6의 챔버 압력에 따른 식각속도를 그래프로 도시화하였다. 챔버의 압력이 증가함에 따라 식각속도가 감소함을 보이고 있다. 이는 챔버의 압력이 증가함에 따라 플라스마 밀도는 증가하나 입자들의 scattering현상이 증가하여 평균자유행로(mean free path)가 감소한다. 즉 전체적인 플라스마 내의 입자들의 활성이 감소하여 박막들의 식각속도가 감소함을 알 수 있다. 따라서 보다 바람직한 챔버의 압력은 1 mTorr에서 7 mTorr 사이의 압력이 바람직하다고 할 수 있다. 이는 Co₂MnSi의 선택성에도 커다란 차이를 보이고 있지 않으면서 식각속도 또한 크게 감소하지 않는 범위이기 때문이다.

[0069] 도 9는 챔버 압력이 변화함에 따라 Co₂MnSi 박막의 식각프로파일의 변화를 보여준다. 10m Torr에서 식각된 Co₂MnSi 박막의 식각경사보다 1m Torr의 낮은 압력에서 식각된 박막의 식각경사가 더 수직이방성으로 관찰되어 공정 압력이 감소할수록 우수한 식각프로파일이 관찰된다.

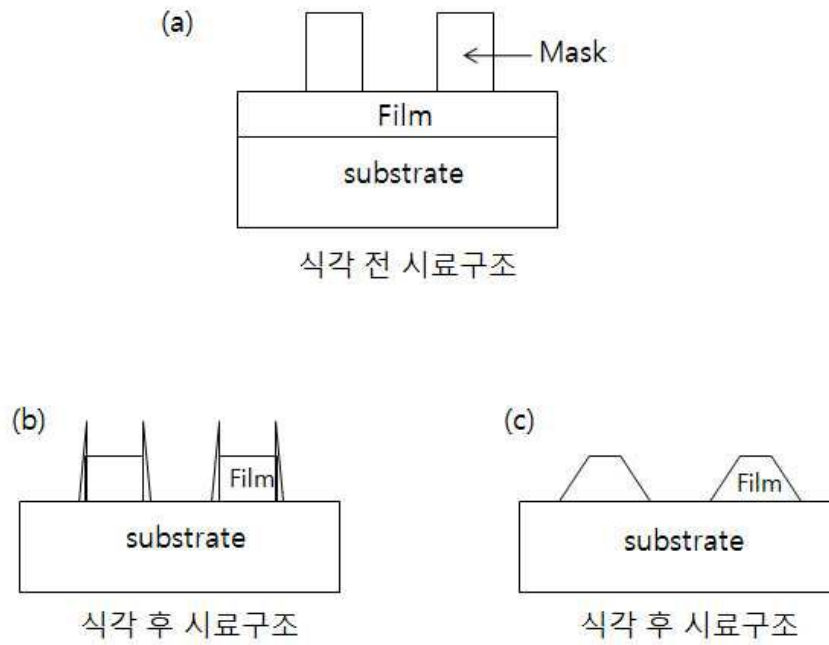
[0070] 도 10은 CH₃OH 농도의 변화에 대한 플라스마내에서 높은 강도(intensity)의 입자들에 대한 optical emission spectroscopy (OES) 분석의 결과이다. 식각조건은 코일 고주파 전력은 900W, DC 바이어스 전압은 300V, 챔버 압력은 5m Torr인 조건으로 측정하였다. CH₃OH의 농도가 증가할수록 Ar의 강도는 급격히 감소하고 H의 강도는 점진적으로 증가함이 관찰되어 이는 CH₃OH의 농도가 증가함에 따라서 수소(H)의 라디칼이 증가하여 TiN 하드 마스크에 대한 Co₂MnSi 박막의 식각선택도를 증가시키고 식각프로파일에 있어서 식각경사를 증가시키는 역할을 한다.

[0071] 도 11은 본 발명에 따른 CH₃OH 농도의 변화에 대한 플라스마내에서 낮은 강도(intensity)의 입자들에 대한 optical emission spectroscopy (OES) 분석의 결과이다. 수소(H)의 강도가 가장 높고 그 다음에는 CO, CH, C 그리고 O, CH₃의 순서로 강도가 낮아진다.

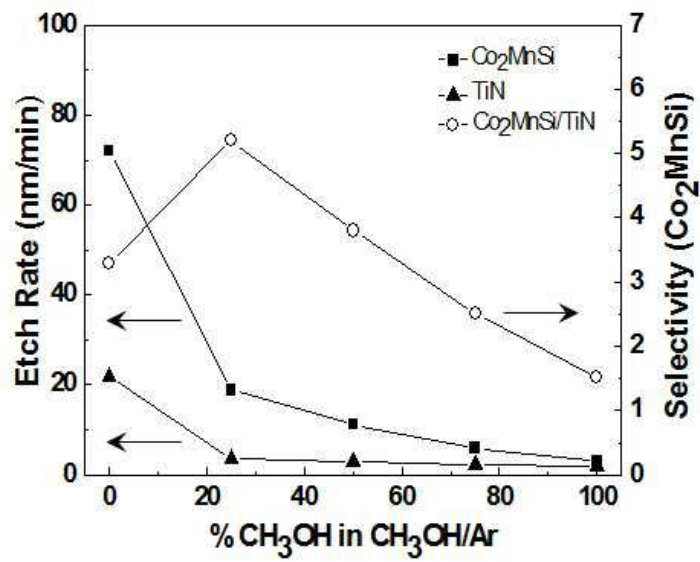
[0072] CH₃OH의 농도가 증가할수록 이들의 강도는 점차적으로 증가한다. 즉, CH₃OH의 농도가 증가할수록 H, C, O, CO 및 CH 등의 농도가 증가하는 데, 이것은 이들의 성분들이 특히 식각 프로파일에서 재증착 없이 식각경사를 높이는 데 중요한 역할을 하고 있다는 증거이다.

도면

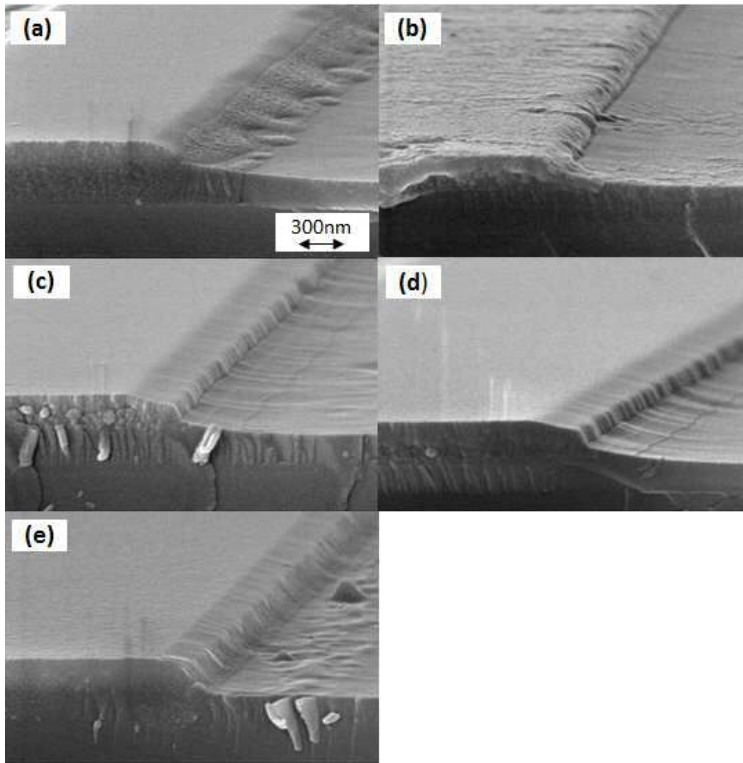
도면1



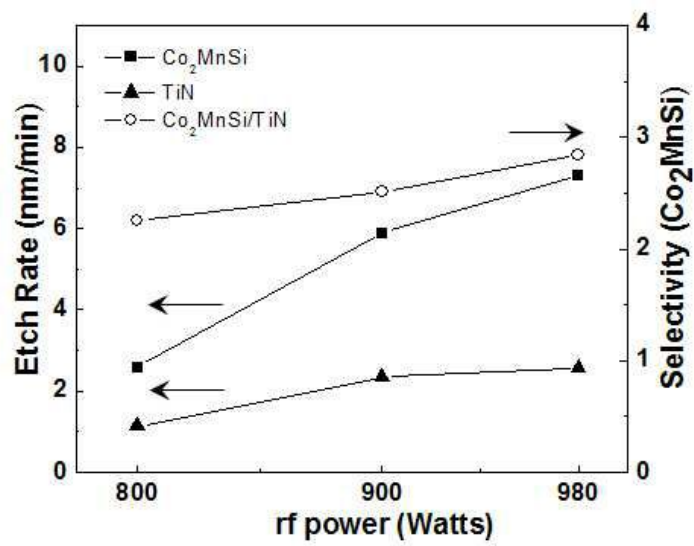
도면2



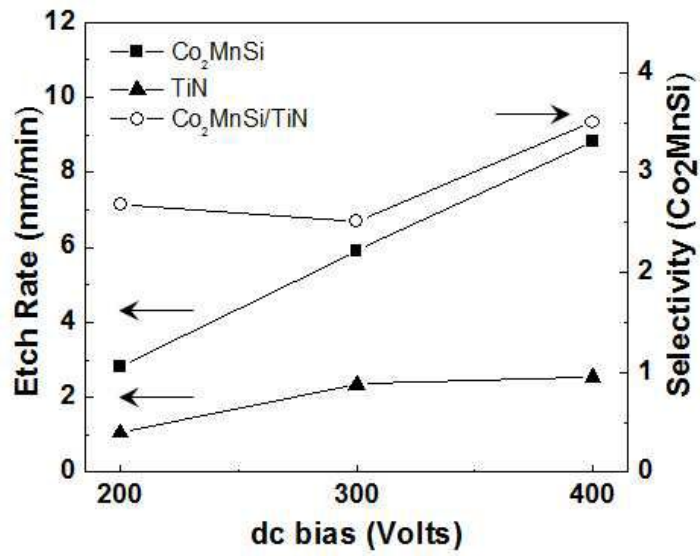
도면3



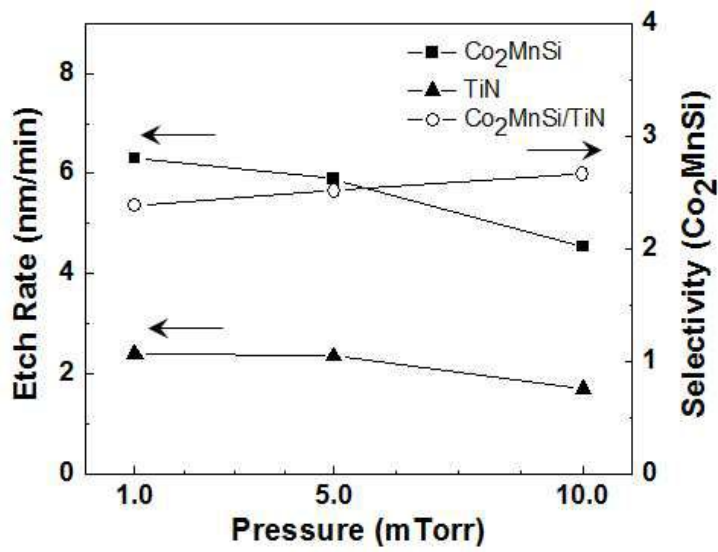
도면4



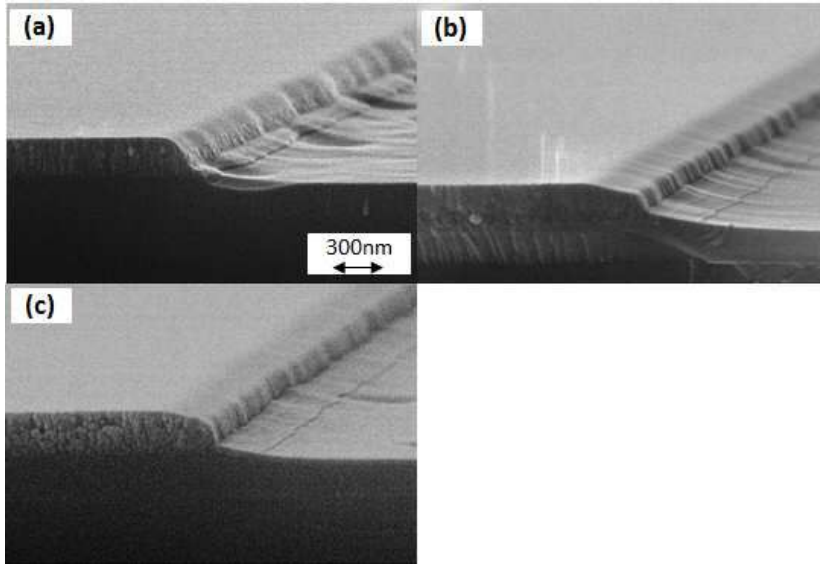
도면5



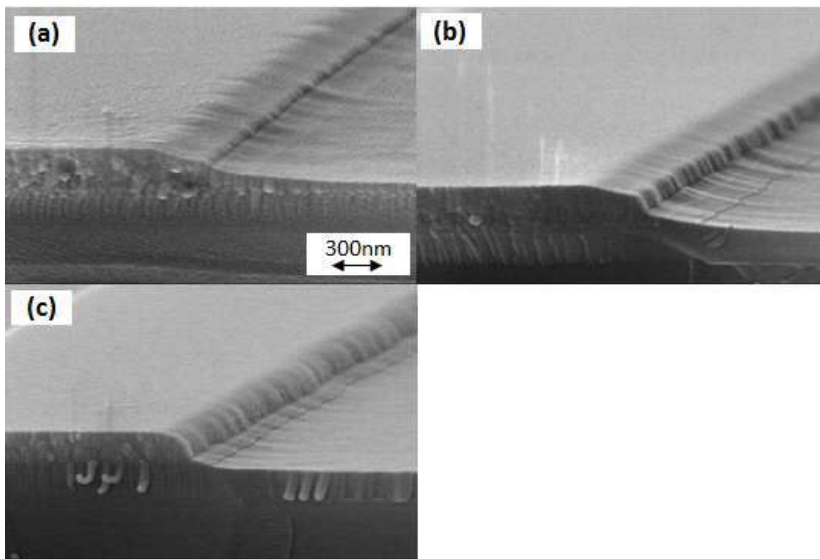
도면6



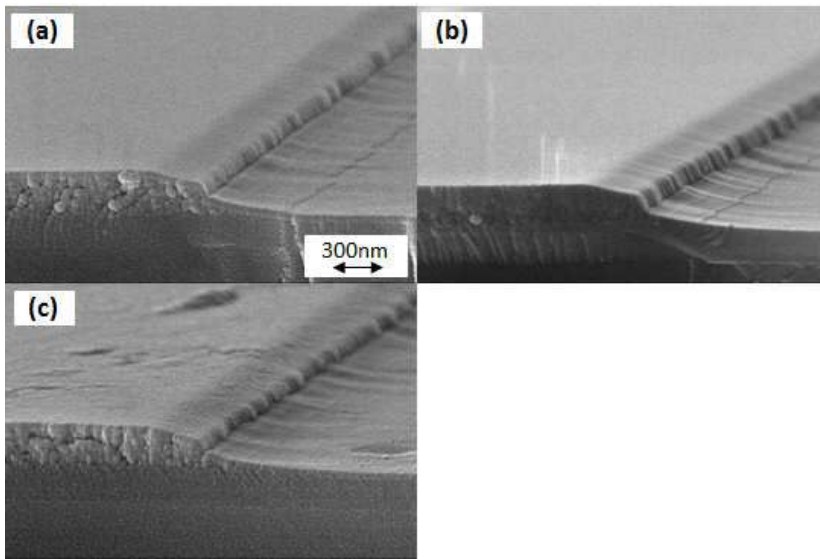
도면7



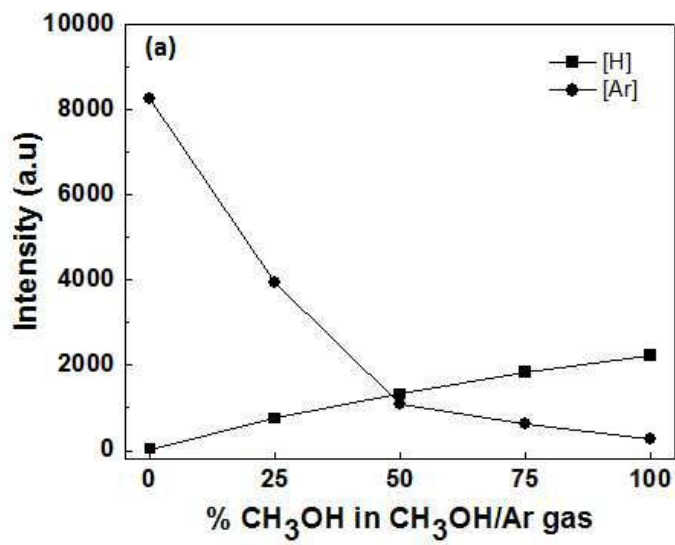
도면8



도면9



도면10



도면11

