



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0127588
(43) 공개일자 2013년11월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/205 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0051231

(22) 출원일자 2012년05월15일

심사청구일자 2012년05월15일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(주)베오스솔루션

서울특별시 성동구 행당동 17 한양대학교 한양종합기술연구원(HIT) B2 A-200

(72) 발명자

이원준

서울특별시 마포구 염리동 LG마포자이아파트 108동 304호

박진우

서울특별시 관악구 성현동 관악드림타운아파트 107동 2003호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

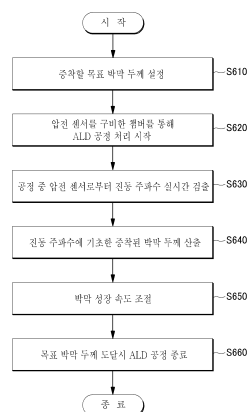
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 박막 증착 장치 및 방법

(57) 요약

박막 증착 시, 내부에 압전 센서의 압전성 결정 및 기관 거치부를 구비한 챔버에 기설정된 공정 변수에 따라 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 기설정된 순서로 번갈아 주입하는 제 1 사이클을 수행하여 기관에 박막을 증착하고, 기설정된 검출 시점에 압전 센서로부터 압전성 결정의 진동주파수를 검출하고, 검출된 진동주파수에 기초하여 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출하고, 산출된 박막 두께 및 기설정된 목표 박막 두께에 기초하여 제 1 사이클 다음의 제 2 사이클의 공정 변수 및 박막 증착 공정의 종말점 중 적어도 하나를 설정하되, 제 1 사이클의 이전에 수행된 제 3 사이클에 대하여 검출한 진동주파수와 제 1 사이클에 대하여 검출한 진동주파수에 기초하여 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출한다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

박재민

울산광역시 남구 무거동 580-15번지 우성하이빌
401호

김대현

경기도 고양시 일산서구 일산동 955-10 월드메르디
앙 1005호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 00048039

부처명 지식경제부

연구사업명 산학연 공동기술개발사업

연구과제명 ALD장비의 공정 모니터링 및 제어 시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2011.06.01 ~ 2012.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

박막 증착 장치에 있어서,

내부에 기판을 거치하는 기판 거치부를 구비하는 챔버;

상기 챔버 내로 전구체 가스를 주입하는 제 1 가스 공급부;

상기 챔버 내로 반응 가스를 주입하는 제 2 가스 공급부;

상기 챔버 내로 퍼지 가스를 주입하는 제 3 가스 공급부;

상기 챔버 내부에 구비되는 압전성 결정을 포함하고, 박막 증착 공정 중 상기 압전성 결정의 진동주파수를 검출하는 압전 센서; 및

원자층 증착(Atomic Layer Deposition) 방식에 기반하여 상기 제 1 내지 제 3 가스 공급부의 동작을 제어하고, 상기 압전 센서의 동작을 제어하는 공정 제어부를 포함하되,

상기 공정 제어부는,

상기 검출된 진동주파수에 기초하여 상기 챔버 내부의 기판에 증착된 박막 두께를 산출하고, 상기 산출된 박막 두께 및 기설정된 목표 박막 두께에 기초하여 공정 변수 및 상기 박막 증착 공정의 종말점을 설정하는, 박막 증착 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 공정 제어부는,

기설정된 공정 변수에 따라 상기 챔버 내에 상기 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 기설정된 순서에 따라 번갈아 주입하는 사이클을 복수 회 수행하도록 상기 제 1 내지 제3 가스 공급부를 제어하는 가스 공급 제어 모듈;

기설정된 검출 시점에 상기 압전성 결정에 전압이 인가되도록 제어하는 압전 센서 제어 모듈;

상기 압전 센서로부터 검출된 진동주파수를 획득하고, 상기 진동주파수에 기초하여 상기 사이클 별로 증착된 박막 두께를 산출하는 압전 센서 반응 검출 모듈; 및

상기 목표 박막 두께 및 상기 산출된 박막 두께에 기초하여 상기 사이클의 수행 횟수를 설정하고, 상기 수행 횟수 중 적어도 한번 이상의 사이클의 공정 변수가 변경되도록 각 사이클에 대해 공정 변수를 설정하여 상기 가스 공급 제어 모듈로 전달하는 공정 변수 설정 모듈을 포함하는, 박막 증착 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 공정 제어부는,

상기 사이클 별로 공정 변수를 변화시켜 각각 증착된 박막 두께를 산출하는 사전 처리를 수행하되, 상기 사전 처리를 통해 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값을 산출하여 저장하는 기준 데이터 저장 모듈을 더 포함하는, 박막 증착 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 공정 변수 설정 모듈은,

각 사이클의 종료 시점마다 기수행된 사이클의 상기 산출된 박막 두께를 누적한 박막 전체 두께와 상기 목표 박

막 두께 간의 차를 산출하고,

상기 차의 결과 값이 이전 사이클의 상기 산출된 박막 두께보다 작을 경우, 상기 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값에 기초하여 다음 사이클의 공정 변수를 변경 설정하는, 박막 증착 장치.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 공정 제어부는,

상기 사이클 별 상기 산출된 박막 두께에 기초하여 상기 박막 증착 공정의 비이상적 상태를 감지하고, 상기 감지 결과에 따라 상기 박막 증착 공정의 종료 처리 및 비이상적 공정 발생 알림 처리 중 적어도 하나의 처리를 하는 비이상적 공정 감지 모듈을 더 포함하는, 박막 증착 장치.

청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 공정 제어부는,

상기 압전성 결정 및 상기 기판 거치부의 온도를 각각 조절하는 온도 제어 모듈을 더 포함하되,

상기 온도 제어 모듈은,

상기 압전성 결정 및 상기 기판 거치부의 온도를 동일하게 또는 기설정된 온도 차를 갖도록 유지시키는, 박막 증착 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 압전 센서 반응 검출 모듈은,

상기 압전성 결정 및 상기 기판 거치부 간에 상기 온도 차가 유지되는 경우, 상기 진동주파수에 상기 온도 차에 따른 기설정된 보정 상수를 적용하여 보상된 진동주파수를 산출하고, 상기 보상된 진동주파수에 기초하여 상기 증착된 박막 두께를 산출하는, 박막 증착 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 압전성 결정은,

GaPO₄, 수정(quartz), AlPO₄, 토파즈(Topaz), LaGaSiO₄, BaTiO₃, PbTiO₃, LiNbO₃, KNbO₃, LiTaO₃, Na₂WO₃, ZnO₂, 로셀염(Rochelle salt), 토르말린기 광물(Tourmaline-group minerals), 상아(dentin), BiFeO₃, 및 Pb[Zr_xTi_{1-x}]O₃ 중 어느 하나의 결정인 것인, 박막 증착 장치.

청구항 9

박막 증착 장치를 통한 원자층 증착(Atomic Layer Deposition) 방식에 기반한 박막 증착 방법에 있어서,

(a) 내부에 압전 센서의 압전성 결정 및 기판 거치부를 구비한 챔버에 기설정된 공정 변수에 따라 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 기설정된 순서로 번갈아 주입하는 제 1 사이클을 수행하여 상기 기판에 박막을 증착하는 단계;

(b) 기설정된 검출 시점에 상기 압전 센서로부터 압전성 결정의 진동주파수를 검출하는 단계;

(c) 상기 검출된 진동주파수에 기초하여 상기 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출하는 단계; 및

(d) 상기 산출된 박막 두께 및 기설정된 목표 박막 두께에 기초하여 상기 제 1 사이클 다음의 제 2 사이클의 공정 변수 및 상기 박막 증착 공정의 종말점 중 적어도 하나를 설정하는 단계를 포함하되,

상기 (c) 단계는,

상기 제 1 사이클의 이전에 수행된 제 3 사이클에 대하여 검출한 진동주파수와 상기 제 1 사이클에 대하여 검출한 진동주파수에 기초하여 상기 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출하는, 박막 증착 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

상기 제 1 사이클 및 상기 제 3 사이클의 상기 산출된 박막 두께에 기초하여 누적된 전체 박막 두께를 산출하는 단계;

상기 전체 박막 두께와 상기 목표 박막 두께 간의 차를 산출하는 단계; 및

상기 차의 값이 상기 제 1 사이클의 상기 산출된 박막 두께의 미만인 경우 상기 제 2 사이클의 공정 변수를 변경 설정하거나, 상기 차의 값이 상기 제 1 사이클의 상기 산출된 박막 두께를 초과하는 경우 상기 제 2 사이클의 공정 변수를 유지 설정하거나, 상기 목표 박막 두께와 상기 전체 박막 두께가 동일한 경우 상기 제 1 사이클을 상기 종말점으로 설정하여 상기 박막 증착 공정을 종료하는 단계를 포함하는, 박막 증착 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 (a) 단계 이전에,

사이클 별로 공정 변수를 변화시켜 각각의 박막 두께를 산출하는 사전 처리를 통해 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값을 산출하여 저장하는 단계를 더 포함하는, 박막 증착 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

상기 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값에 기초하여 상기 제 2 사이클의 공정 변수를 변경 설정하는, 박막 증착 방법.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

상기 제 1 사이클에서 각 가스의 주입이 종료되는 시점마다 상기 박막 두께를 산출하되,

상기 (c) 단계 이후에,

상기 제 1 사이클과 상기 제 3 사이클에 대해서 동일한 상기 시점에서 상기 산출된 박막 두께의 변화 값 간의 차를 산출하고, 상기 변화 값 간의 차가 기설정된 편차를 초과할 경우 비이상적인 박막 증착 공정의 발생을 판단하여 박막 증착 공정의 종료 처리 및 감지 정보의 제공 처리 중 적어도 하나의 처리를 수행하는 단계를 더 포함하는, 박막 증착 방법.

청구항 14

제 9 항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

상기 박막을 증착하는 동안 상기 압전성 결정 및 상기 기관 거치부의 온도가 동일하게 또는 기설정된 온도 차로 유지되도록 상기 압전성 결정 및 상기 기관 거치부의 각 온도를 조절하는, 박막 증착 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

상기 압전성 결정 및 상기 기관 거치부의 온도가 상기 온도 차로 유지될 경우, 상기 검출된 진동주파수에 상기 온도 차에 따른 기설정된 보정 상수를 적용하여 보상된 진동주파수를 산출하고, 상기 보상된 진동주파수에 기초하여 상기 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출하는, 박막 증착 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 원자층 증착(Atomic Layer Deposition, ALD) 공정을 수행하는 박막 증착 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 박막 증착 공정은 반도체, 디스플레이, 태양전지, LED 등의 소자를 제조하는데 사용되는 핵심 공정으로서, 각종 소재의 특성을 향상시키는데 널리 사용되고 있다.

[0003] 이러한 박막 증착 공정의 방식은 크게 물리 기상 증착(Physical Vapor Deposition, PVD)과 화학 기상 증착(Cheical Vapor Deposition, CVD)로 나눌 수 있다. PVD의 대표적인 방식으로는 증발(evaporation) 방식과 스퍼터링(sputtering) 방식이 있으며, 물리적인 에너지 (열, 이온충돌)를 이용하여 고체의 원료로부터 박막을 형성한다. 그리고 CVD는 기체상태의 원료 물질을 반응관에 공급하여 웨이퍼 표면에서 원료물질의 화학반응에 의해 원하는 물질을 기관에 성장시키는 방법으로서, 박막 증착 시 화학 반응의 속도 및 박막의 특성 향상을 위해 서 기관을 가열하거나 플라즈마를 이용한다.

[0004] 한편, 수십 나노미터(nm) 정도로 매우 작은 크기의 반도체 소자 등은 단차피복성(step coverage)이 우수하고 컨포멀(conformal)한 박막 증착 공정이 요구된다. 그런데 종래의 PVD는 CVD에 비해 기관에 손상을 많이 주고 박막의 균일성(uniformity)과 단차피복성이 우수하지 못하다는 단점이 있다. 또한, CVD는 단차피복성은 우수한 편이지만 높은 종횡비(aspect ratio)를 갖는 패턴에서의 증착 특성이 나쁘다는 한계가 있었다.

[0005] 이러한 종래의 박막 증착 방식들의 단점을 극복하기 위해서 원자층 증착(Atomic Layer Deposition, ALD) 방식이 제안되었다. ALD 방식은 CVD의 일종으로서, 종래의 CVD 공정에 비해 단차피복성(step coverage)을 향상시키고 박막의 두께 및 조성을 정밀하게 조절할 수 있는 방식이다.

[0006] 구체적으로, 기존의 CVD 공정에서는 모든 원료 물질들(전구체 및 반응 물질 등)을 동시에 반응관(챔버) 내로 공급하는데 반해 ALD 공정에서는 원료 물질 간의 화학 반응에 의해 박막을 성장시키기 위해 원료 물질(가스)들을 별도로 반응관 내로 공급한다. 이처럼, ALD 방식에서는 원료 물질들을 별도로 공급하기 때문에 기관 표면에 흡착(absorption)된 분자들만 화학 반응에 참여하게 되어 자기제한반응(Self-limiting reaction)이 일어난다. 따라서 기관의 모든 표면에서 같은 속도로 박막이 성장하며, 그 속도는 원료 물질의 화학적 특성, 원료 물질의 노출(exposure)량과 반응 온도에 의해 영향을 받아 결정된다. 이러한 ALD 공정의 특징에 따라 단차피복성이 매우 우수하며 높은 종횡비를 갖는 패턴에서도 균일한 박막을 형성할 수 있다.

[0007] 이와 같은 ALD 방식에서는, 기존 CVD 공정에서 시간에 따라 박막 두께를 조절하는데 반해 사이클(cycle) 단위로 박막 두께를 조절한다. 참고로, 사이클은 원료 물질들(전구체 가스 및 반응 가스)이 펄스 형태로 주입되는 각 단계들과, 원료 물질들의 주입 사이에 기관 표면에 흡착되고 남은 원료 물질을 제거하기 위한 퍼지(purge) 가스 주입 또는 가스 배기를 위한 펌핑 단계들의 조합으로 이루어진다. 이러한 ALD 공정에서는 사이클 당 성장하는 박막의 두께가 일정하므로, 시간 당 박막 성장 속도(nm/min)보다는 사이클 당 박막 성장 속도(nm/cycle)를 측정하여 사이클 수를 조절하여 박막의 두께를 조절하는 것이 일반적이다. 참고로, 원료 물질은 일반적으로 유기금속화합물과 반응기체의 2종으로 구성되나, 경우에 따라 2종 이상의 원료 물질이 사용되기도 한다.

[0008] 그런데, 이상(ideal)적으로는 ALD 방식에서 사이클 당 원자/분자의 단일층(monolayer)이 성장해야 하지만, 실제로 원자/분자의 단일층보다 작은 두께의 박막이 성장하는 경우가 많다. 즉, ALD 공정 시 증착 온도가 낮거나 원료 기체(가스)의 공급량이 부족하여 기관의 표면에서 화학 반응이 충분히 일어나지 못할 경우 단일층이 형성되지 못하며, 원료 기체의 분자량이 클 경우 분자 간의 척력에 의해 입체 장애 (steric hindrance)가 일어나

단일층을 형성하지 못한다. 또한, ALD 공정 시 증착 온도가 높고 과잉의 원료 기체가 공급되면 원료 기체의 열 분해에 의해서 하나의 사이클 동안 여러 층의 박막이 성장하는 경우가 발생하였다.

[0009] 따라서, 종래의 ALD 공정에서는 증착될 박막의 두께를 조절하기 위해서, 일정한 횟수의 사이클을 수행한 이후 실제 증착된 박막 두께를 측정하여 각 사이클 당 박막 두께를 산출하고, 목표한 박막의 두께를 하나의 사이클의 박막 두께로 나누어 수행할 사이클의 횟수를 설정하여 수행하였다. 또한, 이러한 과정을 통해 설정된 횟수의 사이클을 수행한 후에도 실제 증착된 박막의 두께를 확인하여 목표한 박막 두께보다 두꺼운 경우 사이클의 수를 줄이고 얇은 경우 사이클이 수를 늘리는 방식으로 목표한 박막 두께에 근접한 박막을 성장시키는 과정을 더 수행하는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 최적화된 ALD 공정을 위해서 박막 성장 속도에 영향을 주는 공정 변수들을 각각 변경해가며 상기 기술한 과정을 반복하게 된다.

[0010] 이처럼, 종래의 ALD 방식에서는 사이클 단위로만 박막 두께를 조절함으로써, 목표하는 박막 두께를 얻을 때까지 테스트를 위한 불필요한 사이클의 수행이 불가피하였으며, 박막 두께를 미세 조절하기가 어렵다는 단점이 있었다. 또한, 공정 종료 후 장비 외부에서 박막의 두께를 분석하여 그 결과를 공정에 피드백함으로써 공정 최적화에 많은 시간과 비용이 소모될 뿐만 아니라 공정의 재현성(repeatability)을 확인하기 어려워 공정 중 이상이 발생할 경우에도 이를 알아내기 어렵다.

[0011] 한편, 본 발명과 관련하여 한국공개특허 제2006-0020194호(ALD 박막 증착 장치 및 그를 이용한 증착 방법)는, 반응 용기에 제1 반응 가스를 공급한 후 제1 반응 가스와 배타적으로 퍼지 가스를 공급하고, 제1 반응 가스 및 퍼지 가스와 배타적으로 제2 반응 가스를 공급하고, 제2 반응 가스와 배타적으로 퍼지 가스를 공급하는 ALD 박막 증착 방법을 개시하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 일 실시예는 ALD공정 시 실시간으로 검출된 박막 두께를 이용하여 박막 증착 공정을 정밀하게 제어하는 박막 증착 장치 및 박막 증착 공정 제어 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 박막 증착 장치는, 내부에 기관을 거치하는 기관 거치부를 구비하는 챔버; 상기 챔버 내로 전구체 가스를 주입하는 제 1 가스 공급부; 상기 챔버 내로 반응 가스를 주입하는 제 2 가스 공급부; 상기 챔버 내로 퍼지 가스를 주입하는 제 3 가스 공급부; 상기 챔버 내부에 구비되는 압전성 결정을 포함하고, 박막 증착 공정 중 상기 압전성 결정의 진동주파수를 검출하는 압전 센서; 및 원자층 증착(Atomic Layer Deposition) 방식에 기반하여 상기 제 1 내지 제 2 가스 공급부의 동작을 제어하고, 상기 압전 센서의 동작을 제어하는 공정 제어부를 포함하되, 상기 공정 제어부는, 상기 검출된 진동주파수에 기초하여 상기 챔버 내부의 기관에 증착된 박막 두께를 산출하고, 상기 산출된 박막 두께 및 기설정된 목표 박막 두께에 기초하여 공정 변수 및 상기 박막 증착 공정의 종말점을 설정한다.

[0014] 그리고, 본 발명의 다른 측면에 따른 박막 증착 장치를 통한 원자층 증착(Atomic Layer Deposition) 방식에 기반한 박막 증착 방법은, (a) 내부에 압전 센서의 압전성 결정 및 기관 거치부를 구비한 챔버에 기설정된 공정 변수에 따라 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 기설정된 순서로 번갈아 주입하는 제 1 사이클을 수행하여 상기 기관에 박막을 증착하는 단계; (b) 기설정된 검출 시점에 상기 압전 센서로부터 압전성 결정의 진동주파수를 검출하는 단계; (c) 상기 검출된 진동주파수에 기초하여 상기 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출하는 단계; 및 (d) 상기 산출된 박막 두께 및 기설정된 목표 박막 두께에 기초하여 상기 제 1 사이클 다음의 제 2 사이클의 공정 변수 및 상기 박막 증착 공정의 종말점 중 적어도 하나를 설정하는 단계를 포함하되, 상기 (c) 단계는, 상기 제 1 사이클의 이전에 수행된 제 3 사이클에 대하여 검출한 진동주파수와 상기 제 1 사이클에 대하여 검출한 진동주파수에 기초하여 상기 제 1 사이클에서 증착된 박막 두께를 산출한다.

발명의 효과

[0015] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 박막 증착 공정 시 실시간으로 사이클 별 증착된 박막 두께를 검출할 수 있어 목표 박막 두께에 근접하도록 박막 증착 처리할 수 있는 효과가 있다.

[0016] 그리고, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 공정 변수 별 박막 성장 속도에 기초하여 잔여 박막 두께의 증착에 적합하도록 사이클의 공정 변수를 변경함으로써 박막 성장 속도의 미세 조절이 가능하며 공정의 정확도를 높일 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 사이클 별 증착된 박막 두께를 실시간으로 비교할 수 있어 비이상적인 공정이 발생했을 경우 신속하게 판단할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장치의 구성을 나타내는 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 공정 제어부의 구성을 나타내는 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 성장 속도 산출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 비이상적 공정의 감지 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 시 반응 매커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0020] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0022] 도 1에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장치(10)는 원자층 증착(ALD) 처리를 하는 박막 증착 장비(도 1에서는 '원자층 증착(ALD) 장비' 라고 나타냄)(100)와, ALD 방식에 기반하여 박막 증착 장비(100)의 공정 동작을 제어하는 박막 증착 공정 제어부(200)를 포함한다.

[0023] 구체적으로, 박막 증착 장비(100)는 챔버(110), 기관 거치부(120), 펌프(130), 제1 가스 공급부(140), 제 2 가스 공급부(150), 제 3 가스 공급부(160), 가스 분사부(170) 및 압전 센서(180)를 포함한다.

[0024] 챔버(110)는 내부에 기관 거치부(120), 가스 분사부(170) 및 압전 센서(180)의 압전 결 결정(181)을 구비하고, 박막 증착 공정 중 기설정된 시간 동안 고진공 상태를 유지한다.

[0025] 기관 거치부(120)에는 박막을 증착할 기관(또는 웨이퍼)이 거치된다.

[0026] 펌프(130)는 챔버(110) 내 압력을 조절하거나, 기설정된 시점에 챔버(110) 내 잔재하는 가스를 배기 처리 한다. 참고로, 도 1에서는 설명의 편의상 압력 조절 펌프와 배기 펌프를 하나의 펌프로 나타내었으나, 두 펌프는 각각 별개로 구비될 수 있다.

[0027] 제 1 가스 공급부(140)는 기설정된 시점에 챔버(110) 내로 전구체(precursor) 가스를 주입한다. 참고로, 제 1 가스 공급부(140)는 적어도 하나의 종류의 전구체 물질의 가스를 주입할 수 있다.

[0028] 제 2 가스 공급부(150)는 제 1 가스 공급부(140)가 전구체 가스를 주입하는 시점과 상이한 시점에 챔버(110) 내로 반응(reactant) 가스를 주입한다. 참고로, 제 2 가스 공급부(150)는 적어도 하나의 종류의 반응 물질의 가스를 주입할 수 있다.

[0029] 제 3 가스 공급부(160)는 제 1 가스 공급부(140) 및 제 2 가스 공급부(150)가 각각 전구체 가스 및 반응 가스를 주입하는 시점과 상이한 시점에 챔버(110) 내로 퍼지(purge) 가스를 주입한다. 참고로, 제 3 가스 공급부(160)는 적어도 하나의 종류의 퍼지 가스를 주입할 수 있다.

[0030] 가스 분사부(170)는 제 1 내지 제 3 가스 공급부(140, 150, 160)중 어느 하나로부터 주입되는 가스를 챔버(110) 내부로 균일하게 분사한다.

- [0031] 압전 센서(180)는 챔버(110) 내부에 구비되는 압전성 결정(181)의 진동주파수를 검출하여 박막 증착 공정 제어부(200)측으로 출력한다. 도 1에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전 센서(180)가 압전성 결정(181)과 압전성 결정(181)의 진동주파수를 전기 신호로 변환하여 출력하는 오실레이터(oscillator)(182)로 구성된 것을 나타내었다.
- [0032] 참고로, 압전 센서(180)는 압전성 결정(181)의 압전 현상(piezoelectric effect)을 이용하여 극소량(예를 들어, ng/cm^2 단위)의 질량 변화를 실시간으로 감지할 수 있는 정밀한 저울 수단이다. 그리고 압전성 결정(181)은 기계적인 스트레스를 인가하면 그 크기에 비례하여 전압(전기장)이 발생하고, 반대로 전압(전기장)을 인가하면 그 크기에 비례하여 결정의 탄성 변형(즉, 진동)이 생기는 압전 현상을 갖는 물질이다. 이때, 압전성 결정(181)에 일정한 주파수를 갖는 전압을 인가하면 고유한 진동수로 공진(resonance)하며, 이에 따른 진동주파수는 결정의 무게에 비례하여 감소한다.
- [0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 압전성 결정(181)은 GaPO_4 , 수정(quartz), AlPO_4 , 토파즈(Topaz), LaGaSiO_{14} , BaTiO_3 , PbTiO_3 , LiNbO_3 , KNbO_3 , LiTaO_3 , Na_2WO_3 , ZnO_3 , 로셀염(Rochelle salt), 토르말린기 광물(Tourmaline-group minerals), 상아(dentin), BiFeO_3 , $\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ 중 어느 하나로 구성될 수 있다.
- [0034] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 압전 센서(180)는 수정 결정 미량 저울(Quartz Crystal Microbalance, QCM) 등의 압전성 결정을 이용한 센서일 수 있다. 이때, 압전 센서(180)가 QCM인 경우 압전성 결정(181)으로써 수정(quartz)뿐만 아니라 다른 압전성 결정을 적용하는 것도 가능하다. 특히 GaPO_4 등의 압전성 결정은 수백도에서도 온도 변화에 따른 고유진동주파수의 변화가 적어 박막 증착 공정 시 유리하므로 QCM에 적용할 경우 좀더 정확한 진동주파수를 검출할 수 있다.
- [0035] 압전 센서(180)는 박막 증착 공정 제어부(200)의 제어에 따라 인가되는 일정 주파수를 갖는 전압을 압전성 결정(181)의 양면에 형성된 전극에 인가하여 압전성 결정(181)이 공진하도록 하고, 박막 증착 공정 중 실시간으로 검출되는 압전성 결정(181)의 진동주파수를 검출하여 출력한다. 참고로, 전극은 전기 전도도가 우수한 물질인 백금, 금, 은 등으로 구성될 수 있으며, 압전성 결정(181)의 상부 전극(박막이 성장되는 면의 전극)은 상부 면의 대부분을 덮으며 하부 전극은 단자의 모양에 따라 대칭 구조를 갖도록 형성될 수 있다.
- [0036] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장비(100)를 통한 박막 증착 공정 중 압전성 결정(181) 위에 박막이 성장함에 따라 압전성 결정(181)의 무게가 증가하면 압전성 결정(181)의 진동주파수가 감소하게 되므로, 진동주파수의 변화를 측정함으로써 박막의 성장 두께를 실시간으로 측정할 수 있다.
- [0037] 한편, 공정 변수 중 온도와 압력은 압전 효과가 있는 결정의 고유진동주파수에 영향을 주는 인자로서, 온도 및 압력 변수에 따른 고유진동주파수의 변화가 적은 압전성 결정을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장치(10)는 챔버 내부 온도 변화를 줄이기 위해 가스 라인, 압전성 결정, 및 기판 등의 온도를 조절하기 위한 히터(미도시) 및 각 히터들의 온도 조절 부재(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0038] 박막 증착 공정 제어부(200)는 원자층 증착(Atomic Layer Deposition) 방식에 기반하여 제 1 내지 제 3 가스 공급부(140, 150, 160)의 동작을 제어하고, 압전 센서(180)의 동작을 제어한다.
- [0039] 구체적으로, 박막 증착 공정 제어부(200)는 압전 센서(180)로부터 검출된 압전성 결정(181)의 진동주파수에 기초하여 박막 증착 공정을 통해 증착된 박막 두께를 산출하고, 산출된 박막 두께 및 기설정된 목표 박막 두께에 기초하여 공정 변수 및 박막 증착 공정의 종말점을 설정한다. 참고로, 공정 변수는 공정 시 원료 물질(전구체 및 반응 물질)의 노출량(즉, 공급량), 시간, 온도 및 압력 중 적어도 하나의 변수를 포함한다. 이때, 공정 변수 중 원료 물질의 노출 시간 및 압력을 조절하여 원료 물질의 노출량을 조절할 수 있다.
- [0040] 이하, 도 2 내지 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 공정 제어부(200)의 구성 및 동작에 대해 상세히 설명하도록 한다.
- [0041] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 공정 제어부의 구성을 나타내는 블록도이다.
- [0042] 도 2에 도시한 바와 같이, 박막 증착 공정 제어부(200)는 공정 제어 모듈(210), 공정 변수 설정 모듈(220), 기준 데이터 저장 모듈(230), 가스 공급 제어 모듈(240), 압전 센서 제어 모듈(250), 압전 센서 반응 검출 모듈(260), 비이상적 공정 감지 모듈(270) 및 알람 모듈(280)을 포함한다.
- [0043] 설명의 편의 상 박막 증착 공정 제어부(200)에 대해서 설명하기에 앞서, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착

장치(10)를 통해 기판에 박막이 증착되는 과정에 대해서 간략히 설명하도록 한다.

- [0044] 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장치(10)는 고진공 상태의 챔버(110)에 박막의 전구체(precursor) 물질(즉, 전구체 가스)를 일정량 주입하고, 기판의 표면에 흡착이 이루어질 충분한 시간이 경과한 후 다시 고진공 상태를 유지한다. 그리고, 기판 상에 화학적 흡착이 아닌 물리적 흡착 상태에 있는 전구체 물질을 떨어뜨리기 위해 퍼지 가스를 주입한 후 다시 진공 상태를 유지한다. 그런 후 전구체 물질을 환원시키기 위한 반응 물질(즉, 반응 가스)를 일정량 주입한다. 그러면, 전구체 물질과 반응 물질 간에 화학적 반응을 하여 박막이 형성되고 반응 부산물이 생성된다. 이러한 반응 부산물을 제거하기 위해 다시 퍼지 가스를 주입하고 다시 진공 상태를 유지한다. 이와 같은 과정이 한 번의 사이클(cycle)이 되며, 사이클의 수행 결과 기판에 원자/분자의 단일층 박막이 형성된다.
- [0045] 참고로, 사이클은 챔버(110) 내에 전구체 가스를 주입하는 단계, 반응 가스를 주입하는 단계 및 퍼지 가스를 주입하는 단계를 각각 한번 이상 수행하여 기판에 원자/분자의 단일층 박막이 성장되도록 하는 박막 증착 처리의 기본 단위를 지칭한다.
- [0046] 다시 도 2로 돌아가서, 공정 제어 모듈(210)은 기설정된 ALD 방식에 기반한 공정 알고리즘에 따라 박막 증착 공정 제어부(200)의 나머지 모듈들을 각각 제어하여 박막 증착 공정이 수행되도록 한다.
- [0047] 공정 변수 설정 모듈(220)은 챔버(110) 내에 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 주입할 시점 및 각 가스의 공급량을 설정한다. 공정 변수 설정 모듈(220)은 가스 주입의 순서, 가스 별 주입의 횟수 및 공정 변수를 설정하여, 가스 공급 제어 모듈(240)로 전달한다.
- [0048] 이때, 공정 변수 설정 모듈(220)은 전구체 가스, 반응 가스, 및 퍼지 가스가 번갈아 주입되도록 순서를 설정한다. 참고로, 공정 변수 설정 모듈(220)은 전구체 가스와 반응 가스의 주입 사이에 퍼지 가스를 주입되도록 순서를 설정할 수 있다.
- [0049] 그리고, 공정 변수 설정 모듈(220)은 기설정된 목표 박막 두께 및 각 사이클의 증착된 박막 두께에 기초하여 다음 사이클의 수행 횟수를 설정하고, 상기 수행 횟수 중 적어도 한번 이상의 사이클의 공정 변수를 변경 설정한다. 참고로, 공정 변수 설정 모듈(220)은 압전 센서 반응 검출 모듈(260)로부터 산출된 사이클 당 증착된 박막 두께의 값을 획득하여 상기의 과정을 처리한다.
- [0050] 구체적으로, 공정 변수 설정 모듈(220)은 각 사이클의 종료 시점마다 박막 증착 공정의 개시 시점부터 가장 마지막으로 수행된 사이클의 종료 시점까지의 누적된 전체 박막 두께를 산출하고, 목표 박막 두께와 전체 박막 두께 간의 차가 가장 마지막으로 수행된 사이클에서 산출된 박막 두께보다 작을 경우 다음 사이클의 공정 변수를 변경하여 증착될 박막 두께를 조절한다. 즉, 기설정되어 있는 공정 변수에 따른 박막 성장 속도가 잔여 박막 두께에 적합한 박막 성장 속도보다 클 경우, 다음 사이클의 공정 변수를 박막 성장 속도가 작아지도록 변경하여 박막 성장 속도를 조절한다. 참고로, 공정 변수 설정 모듈(220)은 상기 차의 값이 기설정된 기준 범위 내에 진입하면 상기 공정 변수를 변경할 수 있다.
- [0051] 그리고, 공정 변수 설정 모듈(220)은 이상의 과정에서와 같이 공정 변수를 변경한 사이클을 박막 증착 공정의 종말점으로 설정하여, 증착된 전체 박막의 두께가 목표 박막 두께에 도달하면 박막 증착 공정을 종료한다. 이때, 공정 변수 설정 모듈(220)은 기준 데이터 저장 모듈(230)로부터 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값을 획득하고, 적합한 박막 성장 속도의 값에 매칭된 공정 변수를 검출하여 검출된 공정 변수로 변경할 수 있다.
- [0052] 한편, 공정 변수 설정 모듈(220)은 목표 박막 두께와 전체 박막 두께 간의 차가 가장 마지막으로 수행된 사이클의 박막 두께보다 클 경우, 현재 설정된 공정 변수를 적용하여 수행할 나머지 사이클 수 및 공정 변수를 변경하여 수행할 사이클 수를 산출한다. 이때, 공정 변수 설정 모듈(220)은 이후에 수행될 적어도 하나의 사이클의 공정 변수를 변경하도록 제어할 수 있으며, 현재 설정된 공정 변수와 상이한 공정 변수를 적용할 사이클은 다른 사이클들의 사이 또는 마지막에 수행될 수 있다.
- [0053] 구체적으로, 공정 변수 설정 모듈(220)은 각 사이클의 종료 시점마다 누적된 전체 박막 두께와 목표 박막 두께 간의 차를 산출하고, 상기 차의 값이 가장 마지막으로 수행된 사이클에서 산출된 박막 두께보다 클 경우 목표 박막 두께를 초과하지 않는 한도에서 현재 공정 변수에 따른 사이클의 최대 수행 횟수를 산출한다. 그리고, 상기 최대 수행 횟수만큼의 사이클을 수행할 경우 목표 박막 두께에 도달하기까지 남은 박막 두께를 증착하는데 적합한 박막 성장 속도를 산출하고, 산출된 박막 성장 속도에 대응하는 공정 변수를 설정한다.
- [0054] 참고로, 본 발명의 다른 실시예에 따른 공정 변수 설정 모듈(220)은, 기설정된 공정 변수에 따라 챔버(110) 내

에 주입된 전구체 가스와 반응 가스 간의 반응성이 효과적이지 못할 경우(즉, 기설정된 기대치보다 낮을 경우) 전구체 가스 및 반응 가스를 플라즈마(plasma) 형태로 가공하되, 반응성을 높일 수 있도록 플라즈마의 파워 및 반응 시간을 제어할 수 있다.

[0055] 한편, 기관에 증착되는 박막의 정확한 두께를 검출하기 위해서는, 박막 증착 공정 동안 기관과 압전성 결정(181)의 온도를 동일하게 유지하거나, 기관과 압전성 결정(181) 간의 온도 차에 따른 진동주파수 값의 차이가 보상되어야 한다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 공정 변수 설정 모듈(220)은 기관 거치부(120)와 압전성 결정(181)의 두 온도가 동일 또는 일정한(또는 기설정된) 온도 차를 유지하도록 각 온도를 조절할 수 있다. 참고로, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 공정 제어부(200)의 압전 센서 반응 검출 모듈(260)은 기관 거치부(120)와 압전성 결정(181)의 온도가 상기의 온도 차로 유지되는 경우 상기 온도 차에 의해 발생하는 기관과 압전성 결정(181) 간의 진동주파수 차를 보상 처리하여 박막 두께를 산출할 수 있다. 이때, 압전 센서 반응 검출 모듈(260)은 압전 센서(250)로부터 실시간으로 검출된 진동주파수 값에 기설정된 보정 상수를 적용하여 보정된 진동주파수 값을 산출할 수 있다.

[0056] 참고로, 이상에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 공정 변수 설정 모듈(220)이 기관 거치부(120)와 압전성 결정(181)의 온도 조절을 제어하는 것을 설명하였으나, 박막 증착 공정 제어부(200)가 별도로 온도 제어 모듈(미도시)를 더 포함하여 구성되는 것도 가능하다.

[0057] 또한, 공정 변수 설정 모듈(220) 또는 온도 제어 모듈(미도시)은 챔버(110) 내부 공정 상태(즉, 설정된 공정 변수 별 박막 증착 공정 환경) 별로 압전성 결정(181)의 온도를 조절하여 기관의 온도와 동일 또는 일정 온도 차를 갖도록 유지할 수 있다.

[0058] 또한, 도 1에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장비(100)는 기관 및 압전성 결정(181)의 온도를 조절하기 위하여, 기관 거치부(120) 및 압전성 결정(181)에 각각 열을 가하기 위한 수단(121, 183, 184)을 더 구비할 수 있다.

[0059] 이때, 히터(121)는 기관 거치부(120)에 열을 인가하여, 기관 거치부(120)에 인가된 열이 기관에 전도되도록 한다. 히터(121)는 공정 변수 설정 모듈(220)의 제어에 따라 기관 거치부(120)의 온도를 조절하여 기설정된 온도로 유지한다. 또한, 압전성 결정(181)에 열을 인가하는 온도 조절 수단(183, 184)은 다양한 형태 및 열 인가 방식을 적용할 수 있다.

[0060] 예를 들어, 압전성 결정(181)에 열을 인가하는 온도 조절 수단(183, 184)이 압전성 결정이 들어 있는 전도체 내부에 열을 발생시키는 수단(예를 들어 열선 등)인 경우, 전도체의 형태로 압전성 결정이 일정한 온도를 유지할 수 있다. 이외에도, 압전성 결정(181)의 온도는, 압전성 결정(181)의 고정 수단 주변에서 복사열을 가해 압전성 결정(181)이 일정한 온도를 유지하게 하는 형태 및 압전성 결정(181)이 들어있는 전도체 내부에 비열이 높은 액체(예를 들어, 물)가 흐르는 관(chiller line 등)을 구비하여 압전성 결정(181)의 온도를 유지하는 형태 등 다양한 형태로 조절될 수 있다. 도 1에서는 압전성 결정(181)에 직접적으로 열을 발생시키는 수단(즉, 온도 조절 수단)(183, 184)을 나타내었으나, 압전성 결정(181)과 온도 조절 수단(183, 184)의 연결 방식 및 열 인가 방식 등은 다양하게 변형될 수 있다.

[0061] 다시 도 2로 돌아가서, 기준 데이터 저장 모듈(230)은 사이클 별로 공정 변수를 변화시켜 각각의 박막 두께를 산출하는 사전 처리를 통해 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값을 산출하여 저장한다. 그리고, 기준 데이터 저장 모듈(230)은 공정 변수 설정 모듈(200)로 사전에 저장된 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값을 제공한다.

[0062] 예를 들어, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 성장 속도 산출 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0063] 도 3의 (a)는 기준 데이터 저장 모듈(230)이 공정 변수 별 박막 성장 속도의 값을 산출하기 위하여 각 사이클마다 원료 물질(전구체 물질 및 반응 물질)의 노출(exposure)을 상이하게 조절한 사전 처리를 수행하고, 사전 처리를 통해 획득한 압전 센서(180)의 진동주파수 변화 값의 데이터를 나타낸 그래프이다.

[0064] 이때, 도 3의 (a)에서는 공정 시간의 변화(즉, 복수의 사이클의 수행)를 기준으로, 원료 물질의 노출량을 조절하기 위한 압력 변수의 변경(도 3의 (a)에서 펄스형 그래프)에 따라 압전성 결정(181)의 진동주파수의 변화 값(도 3의(a)에서 계단형 그래프)을 나타내었다.

[0065] 그리고, 도 3의 (b)는 (a) 그래프에서와 같이 노출량 변경 실험을 통해 얻은 주파수 변화 값을 노출량 당 박막 성장 속도(growth rate)로 환산한 그래프이다.

- [0066] 이때, 박막 성장 속도는 하기 수학적 식 1을 통해 산출할 수 있다.
- [0067] <수학적 식 1>
- [0068] $\text{growth rate}[\text{cm}/\text{cycle}] = \text{mass change}[\text{g}/\text{cm}^2/\text{cycle}] / \text{density}[\text{g}/\text{cm}^3]$
- [0069] 수학적 식 1에서 박막 성장 속도(growth rate)는 해당 사이클에서의 압전성 결정(181)의 질량 변화량을 밀도로 나눈 값이다.
- [0070] 예를 들어, 도 3의 (b)의 그래프와 같은 증착 특성을 보이는 원료 물질(전구체 물질 및 반응 물질)을 이용하여 15nm의 박막을 증착하고자 할 경우 박막 성장 속도가 0.16nm/cycle인 조건으로 93회의 사이클의 공정을 진행한 후, 남은 0.12nm를 증착하기 위해 원료 물질을 3x106L 의 조건으로 1회의 사이클을 더 진행하게 되면 목표 박막 두께인 15nm로 정밀하게 증착할 수 있다.
- [0071] 가스 공급 제어 모듈(240)은 기설정된 공정 변수에 따라 챔버(110) 내에 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 기설정된 순서에 따라 주입하도록 제 1 내지 제3 가스 공급부(140, 150, 160)를 제어한다. 이때, 가스 공급 제어 모듈(240)은 공정 변수 설정 모듈(220)로부터 설정된 공정 변수 및 순서에 기초하여 제 1 내지 제3 가스 공급부(140, 150, 160)를 제어한다.
- [0072] 압전 센서 제어 모듈(250)은 기설정된 검출 시점에 압전성 결정(181)에 기설정된 주파수의 전압이 인가되도록 제어한다.
- [0073] 압전 센서 반응 검출 모듈(260)은 압전 센서로부터 검출된 진동주파수를 획득하고, 획득한 진동주파수에 기초하여 사이클 별로 증착된 박막 두께를 산출한다. 이때, 압전 센서 반응 검출 모듈(260)은 각 사이클의 종료 시점마다 또는 각 사이클 내의 가스 주입 단계마다 실시간으로 진동주파수를 획득할 수 있다.
- [0074] 구체적으로, 압전 센서 반응 검출 모듈(260)은 압전성 결정(181)의 무게(즉, 질량) 변화 및 고유진동주파수 변화 간의 상호 관계에 따른 사우어브레이(Sauerbrey)의 방정식에 기반한 하기 수학적 식 2를 이용하여 사이클 별로 증착된 박막의 두께를 산출할 수 있다. 참고로 수학적 식 2는 압전 센서(180)가 QCM 일 때의 박막 두께를 산출하는 수학적 식을 나타내었다.
- [0075] <수학적 식 2>
- [0076] $\Delta f[\text{Hz}] = -C[\text{Hz}/(\text{ng}/\text{cm}^2)] \Delta m[\text{ng}/\text{cm}^2/\text{cycle}] = -[2f_0^2 / (A(\mu_s \rho_s)^{0.5})] \Delta m,$
- [0077] $\Delta t = [-(\mu_s \rho_s)^{0.5} / 2f_0^2 \rho_f] \Delta f$
- [0078] 수학적 식 1에서, Δf 는 하나의 사이클에서 진동주파수의 변화 값이고, Δm 은 압전성 결정의 질량 변화량이고, C는 QCM의 감도 인자(sensitivity factor)이고, f_0 는 박막 증착 개시 시점의 압전성 결정(181)의 고유진동주파수이고, A는 박막이 증착되는 면적, μ_s 는 압전성 결정(181)의 전단 응력이고, ρ_s 는 압전성 결정(181)의 밀도이고, ρ_f 는 증착된 박막의 밀도이다.
- [0079] 예를 들어, 하나의 사이클의 진동주파수 변화량이 8.7Hz이고 QCM의 감도 인자 값이 0.16인 경우, 상기 수학적 식 2에 적용하면 하기 수학적 식 3과 같다.
- [0080] <수학적 식 3>
- [0081] $8.7 \text{ Hz}/\text{cycle} = 0.16[\text{Hz}/(\text{ng}/\text{cm}^2)] \Delta m[\text{ng}/\text{cm}^2/\text{cycle}],$
- [0082] $\Delta m = 543.75[\text{ng}/\text{cm}^2/\text{cycle}]$
- [0083] 비이상적 공정 감지 모듈(270)은 압전 센서 반응 검출 모듈(260)을 통해 산출된 사이클 당 증착된 박막 두께에 기초하여 공정상의 이상 발생을 감지한다. 이때, 비이상적 공정 감지 모듈(270)은 공정의 이상 발생을 감지하면 해당 사이클 또는 박막 증착 공정이 종료되도록 제어하거나, 알람 모듈(280)을 통해 비이상적 공정 발생 사실을 알리는 정보를 외부로 출력한다.
- [0084] 예를 들어, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 비이상적 공정의 감지 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0085] 도 4에서는 비이상적 공정 감지 모듈(270)이 사이클 별로 가스 주입 단계마다 압전성 결정(181)의 진동주파수의

변화 값을 획득하였을 경우, 사이클 당 진동주파수의 변화 값의 그래프를 나타내었다.

- [0086] 도 4에서와 같이, 제 3 사이클이 시작된 시점과 종료된 시점의 진동주파수 변화 값은 8.7Hz이고, 전구체 가스 공급 스텝과 퍼지 가스 공급 스텝이 종료된 시점의 진동주파수 변화 값은 10.9Hz 정도이다. 만약, 매 사이클마다 이상적인 공정이 이루어진다면 이 진동주파수 변화 값들은 일정할 것이다. 따라서, 비이상적 공정 감지 모듈(270)은 각 사이클마다 또는 각 사이클의 가스 공급 단계마다 진동주파수 변화 값을 비교하여 기설정된 기준 편차 값을 초과하는 사이클의 발생 시 비이상적 공정이 발생된 것으로 판단할 수 있다.
- [0087] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 공정 제어부(200)는, 비이상적 공정 발생의 감지에 따라 해당 사이클 또는 박막 증착 공정이 중단된 이후, 공정이 재가동될 경우 기판 표면의 마지막 화학적 상태의 정보에 기초하여 이후의 반응 메커니즘을 예측한 정보를 제공하는 반응 메커니즘 검출 모듈(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0088] 참고로, 본 발명의 일 실시예에 따른 공정 변수 설정 모듈(220)을 통해 각 사이클마다 실시간으로 기판 위에 흡착된 화학종의 질량을 측정할 수 있으므로, 반응 메커니즘 검출 모듈(미도시)은 각 사이클의 가스 공급 단계마다 기판 표면의 화학적인 상태를 확인할 수 있다.
- [0089] 예를 들어, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 시 반응 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.
- [0090] 도 5에서는 TMA[Al(CH₃)₃]와 H₂O를 이용하여 Al₂O₃를 증착할 경우, 공정 시간(s)의 변화에 따라 각 사이클의 가스 공급 단계 별로 기판 표면의 화학적 상태(즉, 증착된 물질들의 각 질량)를 나타낸 그래프를 나타내었다.
- [0091] 이때, TMA는 0~3개의 메틸 리간드(methyl ligands)가 수산기(hydroxyl group)(-OH)와 반응한다. 이때 TMA와 반응 하는 수산기(-OH)의 개수에 따라 반응 메커니즘(mechanism)이 달라진다.
- [0092] 도 5의 (a)에 도시한 그래프에 기초하여, 도 5의 (b)에 도시한 표에서와 같은 반응 메커니즘을 예측할 수 있다.
- [0093] 이때, 하기 수학적 식 4에 기초하여 TMA(g)와 H₂O(g)사이에서 일어날 수 있는 반응 메커니즘을 예측할 수 있다.
- [0094] <수학적 식 4>
- [0095]
$$m_0/m_1 = M_0/M_1$$
- [0096] 수학적 식 4에서 N은 TMA(g)와 반응하는 표면 수산기(surface hydroxyl group)(-OH)의 개수이고, m₀는 전체 ALD 공정 동안의 질량 변화 값(mass change during a full ALD cycle)이고, M₀는 해당 단계에서의 박막의 몰 질량(molar mass of the film)이고, m₁은 전구체 가스 공급 단계 동안의 질량 변화 값(mass change during a given precursor pulse)이고, M₁은 생성되거나 제거된 화학종의 몰 질량(molar mass of species added or removed)이다.
- [0097] 이때, 상기 수학적 식 4에서 ' $m_0/m_1 = M(AlO_{1.5})/[M(Al(CH_3)_3) - nM(CH_4)]$ '으로 계산되며, 압전 센서(180)를 이용하여 산출한 사이클 당 박막 두께(즉, 질량 변화 값)에 기초한 그래프(즉, 도 5의 그래프)를 이용하여 m₀/m₁값을 산출할 수 있다.
- [0098] 반응 메커니즘 검출 모듈(미도시)은 사전에 상기 표 1과 같이 원료 물질의 특성에 따른 반응 메커니즘과 'm₀/m₁'의 결과 값을 매칭하여 저장해두고, 비이상적 공정의 감지 시 사전에 저장되어 있던 반응 메커니즘 중 해당 사이클까지의 'm₀/m₁'의 결과 값과 매칭되는 반응 메커니즘을 검출하여 반응 메커니즘을 예측한 정보를 제공할 수 있다.
- [0099] 이하, 도 6을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 장치(10)를 통한 박막 증착 방법에 대해서 상세히 설명하도록 한다.
- [0100] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0101] 먼저, 증착하고자 하는 목표 박막 두께를 설정하고(S610), 압전 센서를 구비한 챔버를 통해 ALD 방식에 기반한 박막 증착 공정의 처리를 시작한다(S620).
- [0102] 참고로, 박막 증착 공정 시 챔버에 기설정된 공정 변수에 따라 전구체 가스, 반응 가스 및 퍼지 가스를 기설정

된 순서로 번갈아 주입하는 사이클을 수행한다.

- [0103] 그런 후, 박막 증착 공정 중 압전 센서로부터 압전성 결정의 진동주파수를 기설정된 시점에 실시간으로 검출한다(S630).
- [0104] 이때, 진동주파수의 검출 시점은 각 사이클의 종료 시점, 각 사이클 내의 가스 공급 단계의 종료 시점 등으로 설정될 수 있다.
- [0105] 그런 후, 검출된 진동주파수에 기초하여 해당 사이클에 증착된 박막의 두께를 산출한다(S640).
- [0106] 참고로, 박막 두께를 산출하는 과정 및 방식은 상기 도 2의 압전 센서 반응 검출 모듈(260)의 동작과 동일하므로 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0107] 그런 다음, 상기 산출된 사이클 별 박막 두께 및 목표 박막 두께에 기초하여 다음 사이클의 공정 변수 및 상기 박막 증착 공정의 종말점을 설정하되, 상기 설정에 기초하여 박막 성장 속도를 조절한다(S650).
- [0108] 구체적으로, 해당 사이클 및 적어도 한번 이상의 이전 사이클의 각 박막 두께에 기초하여 누적된 전체 박막 두께를 산출하고, 전체 박막 두께와 목표 박막 두께 간의 차를 산출하여, 산출된 차의 값이 해당 사이클의 박막 두께 미만인 경우 다음 사이클의 공정 변수를 변경 설정하여 박막 성장 속도를 조절한다. 또한, 상기 차의 값이 해당 사이클의 박막 두께를 초과하는 경우 다음 사이클의 공정 변수를 유지 설정한다. 그리고, 목표 박막 두께와 전체 박막 두께가 동일한 경우 해당 사이클을 종말점으로 설정한다.
- [0109] 그런 후, 상기 조절된 박막 성장 속도에 기초한 횟수의 사이클을 수행하되, 수행된 사이클까지 누적된 전체 박막 두께가 목표 박막 두께에 도달하면 ALD 공정을 종료한다(S660).
- [0110] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 박막 증착 방법에서는, 단계 (S630)에서 기설정된 시점을 해당 사이클에서 각 가스의 주입이 종료되는 시점으로 설정하여, 단계 (S640)에서 각 가스의 주입이 종료되는 시점마다 증착된 박막 두께를 산출할 수 있다. 그리고, 단계 (S650) 및 (S660)을 실행하기 이전 또는 실행하는 동안 실시간으로 해당 사이클에서 비이상적인 박막 증착 공정이 발생되었는지 판단하는 단계를 더 수행할 수 있다.
- [0111] 구체적으로, 해당 사이클과 이전 사이클에 대해서 동일한 시점(즉, 동일한 가스의 주입이 완료된 시점)에서 박막 두께의 변화 값 간의 차를 산출하고, 변화 값 간의 차가 기설정된 편차를 초과할 경우 비이상적인 박막 증착 공정이 발생한 것으로 판단할 수 있다. 그런 다음, 비이상적인 박막 증착 공정이 발생된 것으로 판단된 이후, 박막 증착 공정의 종료 처리 및 감지 정보의 제공 처리 중 적어도 하나의 처리를 수행할 수 있다.
- [0112] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0113] 본 발명의 일 실시예는 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.
- [0114] 또한, 본 발명의 방법 및 시스템은 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 그것들의 구성 요소 또는 동작의 일부 또는 전부는 범용 하드웨어 아키텍처를 갖는 컴퓨터 시스템을 사용하여 구현될 수도 있다.
- [0115] 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

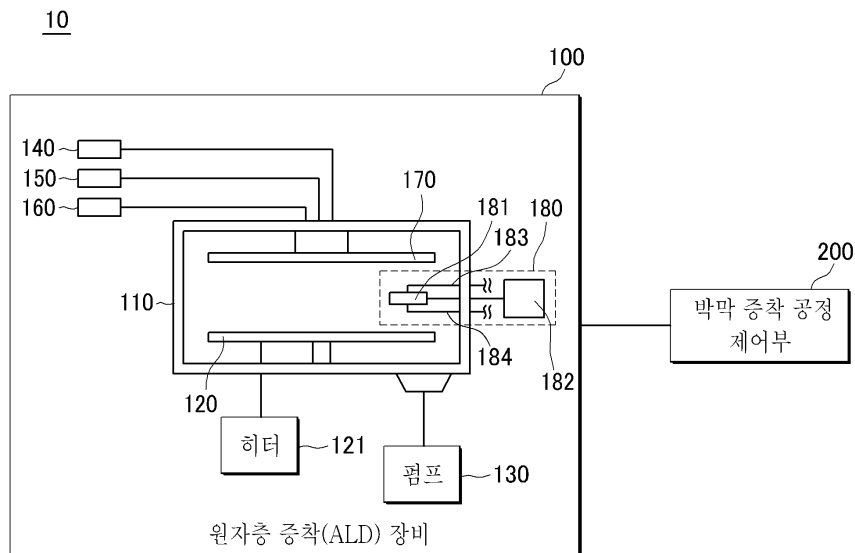
부호의 설명

[0116]

- 10: 박막 증착 장치
- 100: 박막 증착 장비
- 110: 챔버
- 120: 기판 거치부
- 130: 펌프
- 140: 제1 가스 공급부
- 150: 제 2 가스 공급부
- 160: 제 3 가스 공급부
- 170: 가스 분사부
- 180: 압전 센서
- 181: 압전성 결정
- 182: 오실레이터
- 120: 박막 증착 공정 제어부

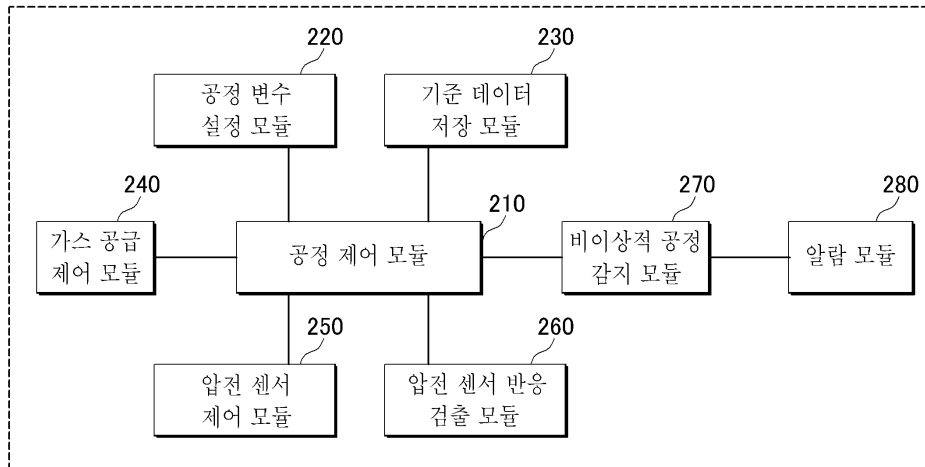
도면

도면1

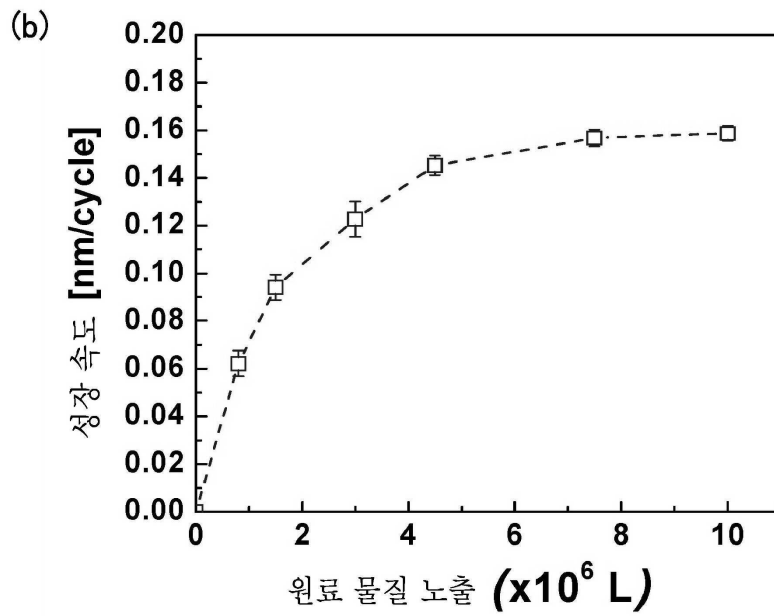
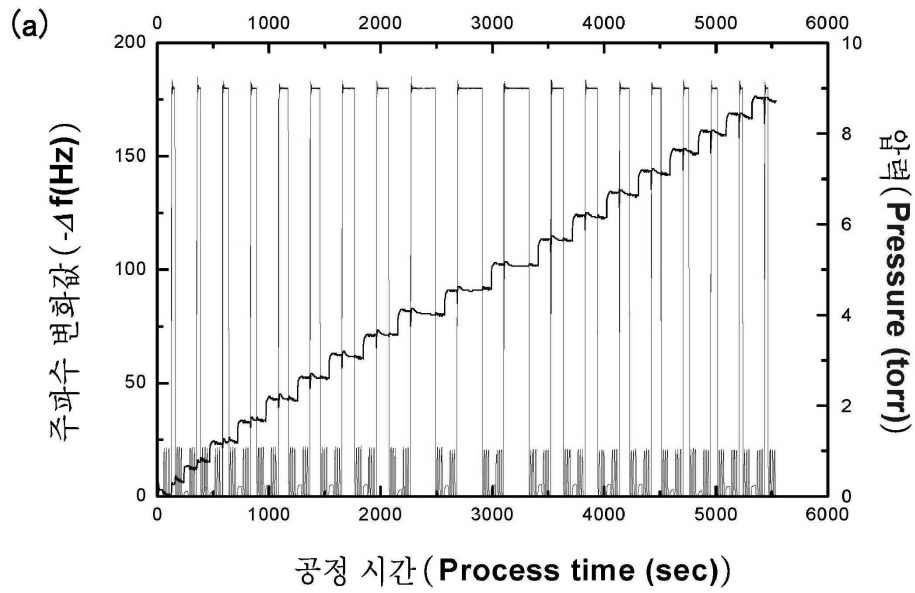


도면2

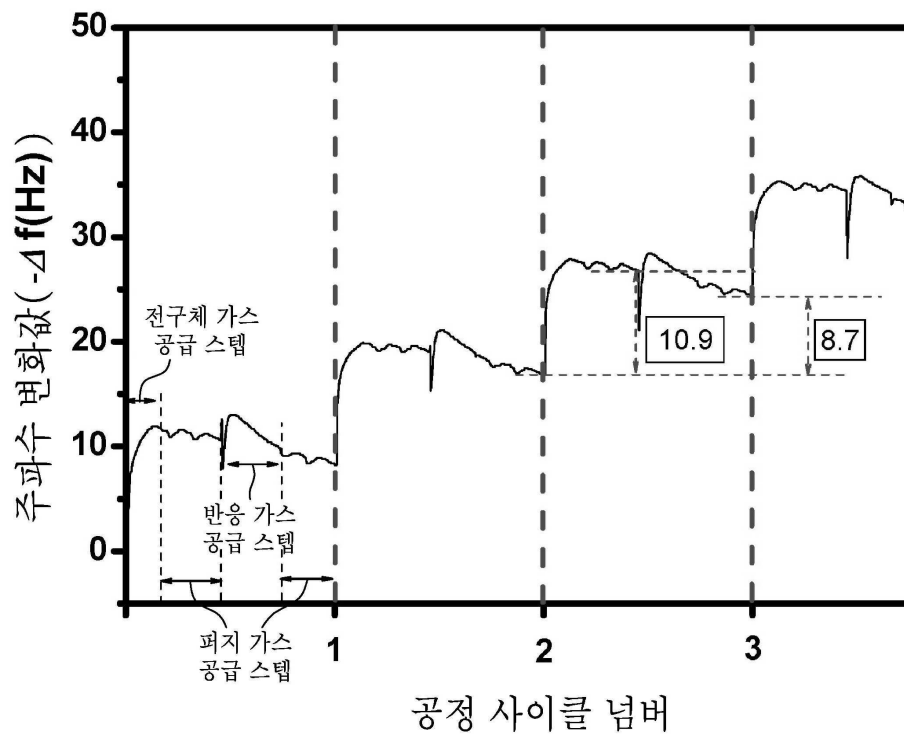
200



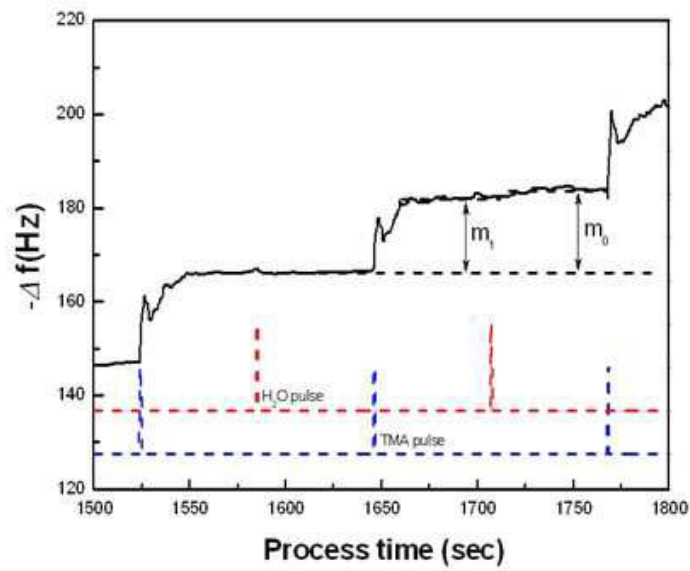
도면3



도면4



도면5



(a)

N	반응(reactions)	m_0/m_1
0	$\text{Al}(\text{CH}_3)_3(\text{g}) \rightarrow \text{Al}(\text{CH}_3)_3(\text{s})$ $\text{Al}(\text{CH}_3)_3(\text{s}) + 1.5\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{-AlO}_{1.5}(\text{s}) + 3\text{CH}_4(\text{g})$	0.707
1	$\text{-OH}(\text{s}) + \text{Al}(\text{CH}_3)_3(\text{g}) \rightarrow \text{-O-Al}(\text{CH}_3)_2(\text{s}) + \text{CH}_4(\text{g})$ $\text{-O-Al}(\text{CH}_3)_2(\text{s}) + 1.5\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{-O-})_{1.5}\text{Al}(\text{OH})(\text{s}) + 2\text{CH}_4(\text{g})$	0.909
2	$2(\text{-OH})(\text{s}) + \text{Al}(\text{CH}_3)_3(\text{g}) \rightarrow (\text{-O-})_2\text{Al}(\text{CH}_3)(\text{s}) + 2\text{CH}_4(\text{g})$ $(\text{-O-})_2\text{Al}(\text{CH}_3)(\text{s}) + 1.5\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow (\text{-O-})_{1.5}\text{Al}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{CH}_4(\text{g})$	1.275
3	$3(\text{-OH})(\text{s}) + \text{Al}(\text{CH}_3)_3(\text{g}) \rightarrow (\text{-O-})_3\text{Al}(\text{s}) + 3\text{CH}_4(\text{g})$ $(\text{-O-})_3\text{Al}(\text{s}) + 1.5\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow (\text{-O-})_{1.5}\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$	2.129

(b)

도면6

