



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2015년07월22일  
 (11) 등록번호 10-1538874  
 (24) 등록일자 2015년07월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**C23C 16/448** (2006.01) **C23C 16/50** (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-7015637  
 (22) 출원일자(국제) 2011년11월11일  
 심사청구일자 2013년06월17일  
 (85) 번역문제출일자 2013년06월17일  
 (65) 공개번호 10-2013-0088875  
 (43) 공개일자 2013년08월08일  
 (86) 국제출원번호 PCT/US2011/060474  
 (87) 국제공개번호 WO 2012/071195  
 국제공개일자 2012년05월31일  
 (30) 우선권주장  
 61/416,931 2010년11월24일 미국(US)  
 (56) 선행기술조사문헌  
 US20090044661 A1\*  
 US20090165715 A1\*  
 US20020008480 A1  
 US5560777 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**비코 에이엘디 인코포레이티드**  
 미국 캘리포니아 94538 프레몬트 로렐뷰 코트  
 3191  
 (72) 발명자  
**이상인**  
 미국 캘리포니아 94538 프레몬트 로렐뷰 코트  
 3191 시너스 테크놀로지, 인코포레이티드 사내  
 (74) 대리인  
**김영철, 김 순 영**

전체 청구항 수 : 총 20 항

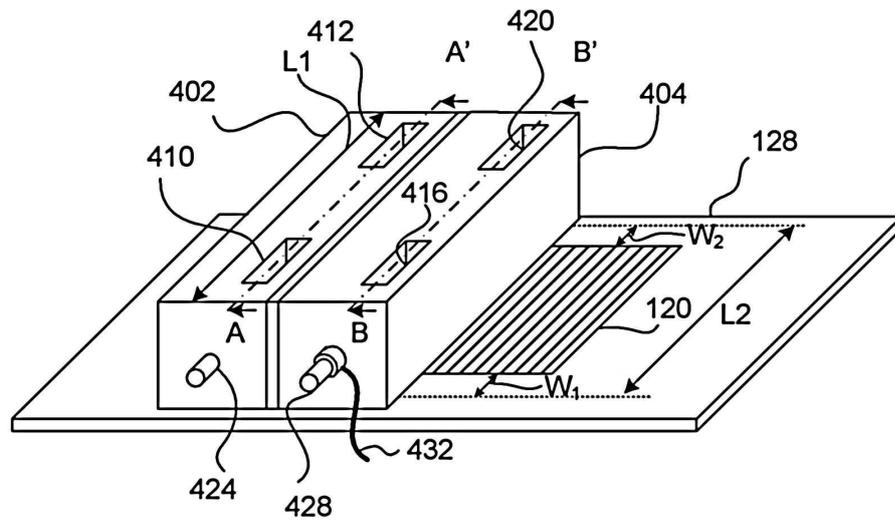
심사관 : 박준영

(54) 발명의 명칭 **대형 기관상에 원자층 증착을 수행하기 위한 다중 섹션을 구비한 연장된 반응기 조립체**

**(57) 요약**

실시 예들은 대형 기관상에 원자층 증착(ALD)를 수행하기 위한 증착 장치 내의 길쭉한 반응기 조립체와 관련된다. 길쭉한 반응기 조립체는 하나 이상의 주입기들 또는 라디칼 반응기들을 포함한다. ALD 공정의 일부로서 기관이 주입기 또는 라디칼 반응기를 통과할 때, 각각의 주입기 또는 라디칼 반응기는 기관상에 기체 또는 라디칼들을 주입한다. 각각의 주입기 또는 라디칼 반응기는 적어도 두 개의 섹션들이 상이한 단면 구성을 갖는 복수의 섹션들을 포함한다. 주입기 또는 라디칼 반응기 내에 상이한 섹션들을 제공함으로써, 주입기 또는 라디칼 반응기는 기관 전체에 걸쳐 더욱 균일하게 기체 및 라디칼들을 주입할 수 있다. 각각의 주입기 또는 라디칼 반응기들은 증착 장치 외부로 과잉 기체 또는 라디칼들을 방출하기 위한 하나 이상의 배출구를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

라디칼 반응기를 포함하고,

상기 라디칼 반응기는,

기관이 올려지는 서셉터에 인접하여 배치되는 몸체로서, 상기 몸체에는 제 1 거리만큼 길이가 연장되는 상기 라디칼 반응기의 제 1 반응기 섹션 내의 제 1 플라즈마 챔버 및 제 2 거리만큼 길이가 연장되는 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 플라즈마 챔버가 형성되고, 상기 제 1 플라즈마 챔버 및 상기 제 2 플라즈마 챔버는 길이 방향이 동일하며 상기 길이 방향에 수직인 평면에서 편이(shift)되어 위치하는, 상기 몸체;

상기 제 1 플라즈마 챔버 내에서 연장되는 제 1 내부 전극으로서, 상기 제 1 내부 전극은 상기 제 1 내부 전극과 제 1 외부 전극을 가로질러 전압 차를 인가함으로써 상기 제 1 플라즈마 챔버 내에서 제 1 기체의 라디칼들을 생성하도록 구성되는, 상기 제 1 내부 전극; 및

상기 제 2 플라즈마 챔버 내에서 연장되는 제 2 내부 전극으로서, 상기 제 2 내부 전극은 상기 제 2 내부 전극과 제 2 외부 전극을 가로질러 상기 전압 차를 인가함으로써 상기 제 2 플라즈마 챔버 내에서 상기 제 1 기체의 상기 라디칼들을 생성하도록 구성되는, 상기 제 2 내부 전극을 포함하는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 몸체에는,

상기 제 1 플라즈마 챔버 및 상기 제 2 플라즈마 챔버에 연결되어 상기 라디칼들을 받는 주입 챔버로서, 상기 라디칼들은 상기 주입 챔버로부터 상기 기관 위로 주입되는, 상기 주입 챔버;

상기 주입 챔버의 높이보다 낮은 높이를 갖는 협착 영역; 및

상기 협착 영역에 연결된 적어도 하나의 배출구로서, 상기 적어도 하나의 배출구는 상기 반응기 조립체로부터 상기 라디칼들을 방출하도록 구성되는, 상기 적어도 하나의 배출구가 더 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 라디칼 반응기의 상기 제 1 반응기 섹션에서 상기 제 1 플라즈마 챔버는 상기 제 2 플라즈마 챔버가 없는 주입 챔버의 일 측면에 형성되고, 상기 라디칼 반응기의 상기 제 2 반응기 섹션에서 상기 제 2 플라즈마 챔버는 상기 제 1 플라즈마 챔버가 없는 상기 주입 챔버의 다른 측면에 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 몸체에는 상기 제 1 반응기 섹션 내의 제 1 반응기 채널과 상기 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 반응기 채널이 더 형성되고,

상기 제 1 반응기 채널은 제 1 도관을 통해 기체원에 연결되고,

상기 제 2 반응기 채널은 상기 제 1 도관과 구분되는 제 2 도관을 통해 상기 기체원에 연결되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 몸체에는 상기 반응기 조립체로부터 상기 라디칼들을 방출하기 위한 적어도 두 개의 배출구가 더 형성되고, 상기 적어도 두 개의 배출구 중 두 개의 배출구는 상기 두 개의 배출구 사이의 위치에서 이어지는 내부 표면들을 갖는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

주입기를 더 포함하고,

상기 주입기에는,

제 1 도관을 통해 제 2 기체를 받기 위한 상기 주입기의 제 1 주입기 섹션 내의 제 1 주입기 채널;

제 2 도관을 통해 상기 제 2 기체를 받기 위한 상기 주입기의 제 2 주입기 섹션 내의 제 2 주입기 채널;

상기 기체를 받고 상기 기관상에 상기 기체를 주입하기 위한 상기 제 1 주입기 채널과 상기 제 2 주입기 채널에 연결되고, 상기 반응기 조립체로부터 상기 기체를 방출하기 위한 적어도 하나의 배출구와 연결되는 챔버; 및

상기 적어도 하나의 배출구에 상기 챔버를 연결하는 협착 영역으로서, 상기 협착 영역은 주입 챔버의 높이보다 낮은 높이를 갖는, 상기 협착 영역이 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 주입기 채널은 상기 챔버의 일 측면에 형성되고 상기 제 2 주입기 채널은 상기 챔버의 다른 측면에 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 반응기 조립체의 유효 길이는 상기 기관의 폭보다 큰 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 내부 전극은 코어 및 외부 층을 포함하고, 상기 코어는 상기 외부 층의 제 2 물질과 비교하여 더 높은 전도성을 갖는 제 1 물질로 만들어지는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 물질은 구리, 은 또는 그것들의 합금을 포함하고, 상기 제 2 물질은 스테인리스 강, 오스테나이트 니켈-크롬 기반의 초합금 또는 니켈 강 합금을 포함하는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장치 내의 반응기 조립체.

**청구항 11**

기관을 울리도록 구성되는 서셉터;

상기 서셉터에 인접하여 배치되는 몸체로서, 상기 몸체에는 제 1 길이만큼 길이가 연장되는 라디칼 반응기의 제 1 반응기 섹션 내의 제 1 플라즈마 챔버와 제 2 길이만큼 길이가 연장되는 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 플라즈마 챔버가 형성되고, 상기 제 1 플라즈마 챔버 및 상기 제 2 플라즈마 챔버는 길이 방향이 동일하며 상기 길이 방향에 수직한 평면에서 편이(shift)되어 위치하는, 상기 몸체;

상기 제 1 플라즈마 챔버 내에서 연장되는 제 1 내부 전극으로서, 상기 제 1 내부 전극은 상기 제 1 내부 전극과 제 1 외부 전극을 가로지르는 전압 차를 인가함으로써 상기 제 1 플라즈마 챔버 내에서 제 1 기체의 라디칼들을 생성하도록 구성되는, 상기 제 1 내부 전극; 및

상기 제 2 플라즈마 챔버 내에서 연장되는 제 2 내부 전극으로서, 상기 제 2 내부 전극은 상기 제 2 내부 전극과 제 2 외부 전극을 가로지르는 전압 차를 인가함으로써 상기 제 2 플라즈마 챔버 내에서 상기 제 1 기체의 상기 라디칼들을 생성하도록 구성되는, 상기 제 2 내부 전극을 포함하는 라디칼 반응기; 및

상기 서셉터와 상기 라디칼 반응기 사이의 상대적인 움직임을 야기하도록 구성되는 액츄에이터를 포함하는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기관상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 몸체에는,

상기 제 1 플라즈마 챔버 및 상기 제 2 플라즈마 챔버와 연결되어 상기 라디칼들을 받는 주입 챔버로서, 상기 라디칼들은 상기 주입 챔버로부터 상기 기관 위로 주입되는, 상기 주입 챔버;

상기 주입 챔버보다 낮은 높이를 갖는 협착 영역; 및

상기 협착 영역에 연결된 적어도 하나의 배출구로서, 상기 적어도 하나의 배출구는 상기 라디칼 반응기로부터 상기 라디칼들을 방출하도록 구성되는, 상기 적어도 하나의 배출구가 더 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기관상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 라디칼 반응기의 상기 제 1 반응기 섹션에서 상기 제 1 플라즈마 챔버는 상기 제 2 플라즈마 챔버가 없는 주입 챔버의 일 측면에 형성되고, 상기 라디칼 반응기의 상기 제 2 반응기 섹션에서 상기 제 2 플라즈마 챔버는 상기 제 1 플라즈마 챔버가 없는 상기 주입 챔버의 다른 측면에 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기관상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,

상기 몸체에는 상기 제 1 반응기 섹션 내의 제 1 반응기 채널과 상기 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 반응기 채널이 더 형성되고,

상기 제 1 반응기 채널은 제 1 도관을 통해 기체원에 연결되고,

상기 제 2 반응기 채널은 상기 제 1 도관과 구분되는 제 2 도관을 통해 상기 기체원과 연결되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 15**

제 11 항에 있어서,

상기 몸체에는 적어도 배출구들 사이에서 상기 적어도 두 개의 배출구들의 내부 표면이 이어지는 상기 라디칼 반응기로부터 상기 라디칼들을 방출하기 위한 상기 적어도 두 개의 배출구들이 더 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 16**

제 11 항에 있어서,

주입기를 더 포함하고,

상기 주입기에는,

제 1 도관을 통해 제 2 기체를 받기 위한 상기 주입기의 제 1 주입기 섹션 내의 제 1 주입 채널;

제 2 도관을 통해 상기 제 2 기체를 받기 위한 상기 주입기의 제 2 주입기 섹션 내의 제 2 주입 채널;

상기 기체를 받고 상기 기판상에 상기 기체를 주입하기 위한 상기 제 1 주입 채널과 상기 제 2 주입 채널에 연결되고, 상기 라디칼 반응기로부터 상기 기체를 방출하기 위한 적어도 하나의 배출구와 연결되는 챔버; 및

상기 적어도 하나의 배출구에 상기 챔버를 연결하는 협착 영역으로서, 상기 협착 영역은 주입 채널의 높이보다 낮은 높이를 갖는, 상기 협착 영역이 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서,

상기 제 1 주입 채널은 상기 챔버의 일 측면에 형성되고 상기 제 2 주입 채널은 상기 챔버의 반대되는 측면에 형성되는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 18**

제 11 항에 있어서,

상기 라디칼 반응기의 유효 길이는 상기 기관의 폭보다 큰 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 19**

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 내부 전극은 코어 및 외부 층을 포함하고, 상기 코어는 상기 외부 층의 제 2 물질과 비교하여 더 높은 전도성을 갖는 제 1 물질로 만들어지는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서,

상기 제 1 물질은 구리, 은 또는 그것들의 합금을 포함하고, 상기 제 2 물질은 스테인리스 강, 오스테나이트 니켈-크롬 기반의 초합금 또는 니켈 강 합금을 포함하는 것을 특징으로 하는, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 원자층 증착(Atomic Layer Deposition, ALD)을 이용하여 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 증착 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 원자층 증착(ALD)은 기판상에 하나 이상의 물질층을 증착하기 위한 얇은 박막 증착 기술이다. ALD는 두 가지 유형의 화학 물질을 사용하며, 하나는 원료 전구체(source precursor)이고 다른 하나는 반응 전구체(reactant precursor)이다. 일반적으로, ALD는 다음의 네 단계를 포함한다. (i) 원료 전구체 주입, (ii) 원료 전구체의 물리흡착층의 제거, (iii) 반응 전구체 주입, 및 (iv) 반응 전구체의 물리흡착층의 제거. ALD는 원하는 두께의 층이 얻어지기 전에 긴 시간 또는 많은 반복이 소요되는 느린 공정일 수 있다. 그러므로, 공정을 신속히 처리하기 위해, 미국 공개특허공보 제 2009/0165715 호에 기술된 유닛 모듈(소위 선형 주입기라 불리는)을 구비한 기상 증착 반응기 또는 다른 유사한 장치들이 ALD 공정을 신속히 처리하는데 사용된다. 유닛 모듈은 원료 물질을 위한 주입부 및 배기부(원료 모듈), 그리고 반응 물질을 위한 주입부 및 배기부(반응 모듈)를 포함한다.

[0003] 종래의 ALD 기상 증착 챔버는 기판들에 ALD 층들을 증착하기 위한 하나 이상의 반응기 세트들을 갖는다. 기판이 반응기를 아래로 통과할 때 기판은 원료 전구체, 퍼지 기체 및 반응 전구체에 노출된다. 기판에 증착된 원료 전구체 분자들이 반응 전구체 분자들과 반응하거나 원료 전구체 분자들이 반응 전구체 분자들에 의하여 치환됨으로써 기판상에 물질층을 증착시킨다. 원료 전구체 또는 반응 전구체에 기판을 노출시킨 후에, 과잉 원료 전구체 분자들 또는 반응 전구체 분자들을 기판으로부터 제거하기 위해 기판은 퍼지 기체에 노출될 수 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 본 발명의 목적은 원자층 증착 공정에 있어서, 상이한 단면 구성을 갖는 복수의 섹션들을 이용하여 기판 전체에 걸쳐 더욱 균일하게 기체 및 라디칼들을 주입하는 반응기 조립체 및 증착 장치를 제공하는 데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0005] 실시 예들은 기판이 올려지는 서셉터(suceptor)에 인접하여 배치된 몸체를 포함하는 반응기 조립체(reactor assembly)의 라디칼 반응기와 관련된다. 몸체에는 라디칼 반응기의 길이를 따라서 제 1 거리만큼 연장되는 제 1 반응기 섹션(section) 내의 제 1 플라즈마 챔버와 라디칼 반응기의 길이를 따라서 제 2 거리만큼 연장되는 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 플라즈마 챔버가 형성된다. 제 1 내부 전극은 제 1 플라즈마 챔버 안에서 연장된다. 제 1 내부 전극과 제 1 외부 전극을 가로질러 전압 차를 인가함으로써, 제 1 내부 전극은 제 1 플라즈마 챔버 안에서 제 1 기체의 라디칼을 생성한다. 제 2 내부 전극은 제 2 플라즈마 챔버 안에서 연장된다. 제 2 내부 전극과 제 2 외부 전극을 가로질러 전압 차를 인가함으로써 제 2 내부 전극은 제 2 플라즈마 챔버 안에서 제 1 기체의 라디칼을 생성한다.

- [0006] 일 실시 예에서, 몸체에는 주입 챔버, 협착 영역 및 적어도 하나의 배출구가 더 형성된다. 주입 챔버는 제 1 플라즈마 챔버 및 제 2 플라즈마 챔버와 연결되어 라디칼들을 받는다. 라디칼들은 주입 챔버로부터 기관 위로 주입된다. 협착 영역은 주입 챔버의 높이보다 낮은 높이를 갖는다. 적어도 하나의 배출구는 협착 영역과 연결된다. 적어도 하나의 배출구는 반응기 조립체로부터 라디칼들을 방출한다.
- [0007] 일 실시 예에서, 제 1 플라즈마 챔버는 주입 챔버의 일 측면에 형성되고, 제 2 플라즈마 챔버는 주입 챔버의 다른 측면에 형성된다.
- [0008] 일 실시 예에서, 몸체에는 제 1 반응기 섹션 내의 제 1 반응기 채널과 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 반응기 채널이 더 형성된다. 제 1 반응기 채널은 제 1 도관(conduit)을 통해 기체원과 연결되고, 제 2 반응기 채널은 제 1 도관과는 구분되는 제 2 도관을 통해 기체원과 연결된다.
- [0009] 일 실시 예에서, 몸체에는 반응기 조립체로부터 라디칼들을 방출하기 위한 적어도 두 개의 배출구들이 더 형성된다. 적어도 두 개의 배출구들의 내부 표면들은 배출구들 사이에서 이어진다.
- [0010] 일 실시 예에서, 반응기 조립체는 제 1 주입기 채널, 제 2 주입기 채널, 챔버 및 협착 영역이 형성된 주입기를 더 포함한다. 제 1 주입기 채널은 제 1 도관을 통해 제 2 기체를 받기 위한 주입기의 제 1 주입기 섹션 내에 배치된다. 제 2 주입기 채널은 제 2 도관을 통해 제 2 기체를 받는 주입기의 제 2 주입기 섹션 내에 배치된다. 챔버는 기체를 받고 기관상에 기체를 주입하기 위한 제 1 주입기 채널 및 제 2 주입기 채널, 반응기 조립체로부터 기체를 방출하기 위한 적어도 하나의 배출구, 및 챔버를 적어도 하나의 배출구에 연결하는 협착 영역에 연결된다. 협착 영역은 주입기 챔버의 높이보다 낮은 높이를 갖는다.
- [0011] 일 실시 예에서, 제 1 주입기 채널은 주입기 챔버의 일 측면에 형성되고, 제 2 주입기 채널은 챔버의 반대 측면에 형성된다.
- [0012] 일 실시 예에서, 반응기 조립체의 유효 길이는 기관의 폭보다 크다.
- [0013] 일 실시 예에서, 제 1 내부 전극은 코어 및 외부 층을 포함한다. 코어는 외부 층의 제 2 물질과 비교하여 더 높은 전도성을 갖는 제 1 물질로 만들어진다.
- [0014] 일 실시 예에서, 제 1 물질은 동, 은 또는 그것의 합금을 포함하고, 제 2 물질은 스테인리스 강(stainless steel), 오스테나이트(austenitic) 니켈-크롬 기반의 초합금 또는 니켈 강 합금을 포함한다.
- [0015] 실시 예들은 또한, 원자층 증착(ALD)을 이용하여 기관상에 하나 이상의 물질층을 증착하는 증착 장치와 관련된 다. 증착 장치는 서셉터, 라디칼 반응기 및 액츄에이터(actuator)를 포함한다. 서셉터에는 기관이 올려진다. 라디칼 반응기는 서셉터와 인접하여 배치된 몸체를 포함한다. 몸체에는 제 1 거리만큼 길이가 연장되는 라디칼 반응기의 제 1 반응기 섹션 내의 제 1 플라즈마 챔버와 제 2 거리만큼 길이가 연장되는 제 2 반응기 섹션 내의 제 2 플라즈마 챔버가 형성된다. 제 1 내부 전극은 제 1 플라즈마 챔버 내에서 연장된다. 제 1 내부 전극은 제 1 내부 전극과 제 1 외부 전극을 가로질러 전압 차를 인가함으로써, 제 1 플라즈마 챔버 내에서 제 1 기체의 라디칼을 생성한다. 제 2 내부 전극은 제 2 플라즈마 챔버 내에서 연장된다. 제 2 내부 전극은 제 2 내부 전극과 제 2 외부 전극을 가로질러 전압 차를 인가함으로써, 제 2 플라즈마 챔버 내에서 제 1 기체의 라디칼을 생성한다. 액츄에이터는 서셉터와 라디칼 반응기 사이에 상대적인 움직임을 야기한다.

**발명의 효과**

- [0016] 본 발명에 따르면, 원자층 증착시, 상이한 단면 구성을 갖는 복수의 섹션들을 이용하여 기관 전체에 걸쳐 더욱 균일하게 기체 및 라디칼들을 주입할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0017] 도 1은 일 실시 예에 따른, 선형 증착 장치의 단면도이다.
- 도 2는 일 실시 예에 따른, 선형 증착 장치의 사시도이다.
- 도 3은 일 실시 예에 따른, 회전 증착 장치의 사시도이다.
- 도 4는 일 실시 예에 따른, 반응기 조립체의 사시도이다.
- 도 5는 일 실시 예에 따른, 반응기 조립체의 위 평면도이다.

도 6은 일 실시 예에 따른, 도 4의 선 A-A' 또는 선 B-B'를 따라 취한 반응기 조립체의 단면도이다.

도 7은 일 실시 예에 따른, 도 5의 선 C-C'를 따라 취한 반응기 조립체의 단면도이다.

도 8은 일 실시 예에 따른, 도 5의 선 D-D'를 따라 취한 반응기 조립체의 단면도이다.

도 9는 일 실시 예에 따른, 도 5의 선 E-E'를 따라 취한 반응기 조립체의 단면도이다.

도 10은 또 다른 실시 예에 따른, 반응기 조립체의 위 평면도이다.

도 11은 일 실시 예에 따른, 내부 전극을 설명하는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0018] 여기서 실시 예들은 첨부된 도면들을 참조하여 설명된다. 그러나, 여기서 개시된 원칙들은 많은 다른 형태로 구현될 수 있고, 여기서 기술된 실시 예에 한정되는 것으로 이해되지 않아야 한다. 본 명세서에서, 실시 예의 특징들을 필요이상으로 모호하게 하는 것을 피하기 위해 잘 알려진 특징들 및 기술들에 대한 상세한 설명은 생략될 수 있다.

[0019] 도면들에서, 도면들에 있는 유사한 참조 번호들은 유사한 구성 요소를 나타낸다. 도면의 모양, 크기 및 영역, 그리고 유사한 것들은 명확성을 위해 과장될 수 있다.

[0020] 실시 예들은, 넓은 기판상에 원자층 증착(ALD)을 수행하기 위한 증착 장비 내의 길쭉한 반응기 조립체(reactor assembly)와 관련된다. 길쭉한 반응기 조립체는 하나 이상의 주입기들 또는 라디칼 반응기들을 포함한다. ALD 공정의 일부로서, 각각의 주입기 또는 라디칼 반응기는 기판이 주입기 또는 라디칼 반응기를 통과할 때 기판상에 기체 또는 라디칼을 주입한다. 각각의 주입기 또는 라디칼 반응기는 적어도 두 개의 섹션(section)들이 상이한 단면 구성을 갖는 복수의 섹션들을 포함한다. 상이한 섹션들은 상이한 도관(예를 들어, 파이프)을 통해 기체를 받는다. 주입기 또는 라디칼 반응기 내에 상이한 섹션들을 제공함으로써, 주입기 또는 라디칼 반응기는 기판 전체에 더욱 균일하게 기체 또는 라디칼을 주입한다. 각각의 주입기 또는 라디칼 반응기는 증착 장치 외부로 과잉 기체 또는 라디칼들을 방출하기 위한 하나 이상의 배출구를 포함할 수 있다.

[0021] 도 1은 일 실시 예에 따른 선형 증착 장치(100)의 단면도이다. 도 2는 일 실시 예에 따른 도 1의 선형 위치 장치(100) (설명을 용이하게 하기 위해 챔버 벽(100)을 없앤)의 사시도이다. 선형 증착 장치(100)는 다른 요소들 중에서 지지 기둥(111), 공정 챔버(110) 및 반응기 조립체(136)를 포함할 수 있다. 반응기 조립체(136)는 하나 이상의 주입기들 및 라디칼 반응기들을 포함할 수 있다. 주입기 모듈들 각각은 원료 전구체(source precursor), 반응 전구체(reactant precursor), 퍼지(purge) 기체 또는 이러한 물질들의 조합을 기판(120)에 주입한다. 라디칼 반응기들은 기판(120)상에 하나 이상의 기체들의 라디칼을 주입한다. 라디칼은 원료 전구체, 반응 전구체 또는 기판(120)의 표면을 처리하는 물질로서 기능할 수 있다.

[0022] 벽들(110)에 의해 둘러싸인 공정 챔버는 오염물질이 증착 공정에 영향을 주는 것을 방지하기 위해 진공 상태로 유지될 수 있다. 공정 챔버는 기판(120)을 받는 서셉터(128)를 포함한다. 서셉터(128)는 미끄러짐 운동을 위한 지지판(124) 위에 위치할 수 있다. 지지판(124)은 기판(120)의 온도를 제어하기 위한 온도 제어기(예를 들어, 히터 또는 냉각기)를 포함할 수 있다. 선형 증착 장치(100)는 또한 서셉터(128) 위로 기판(120)을 적재하거나 서셉터(128)에서 기판(120)을 내리는 것을 용이하게 하는 리프트 핀(lift pin)들(미도시)을 포함할 수 있다.

[0023] 일 실시 예에서, 서셉터(128)는 나사들(screw)이 형성된 연장 바(138)를 가로질러 움직이는 브래킷(210)에 고정된다. 받침대(210)는 확장 바(138)를 수납하는 천공들 안에 형성된 대응하는 나사들을 갖는다. 확장 바(138)는 모터(114)의 스핀들에 고정되고, 따라서 전동기(114)의 축이 회전할 때 확장 바(138)는 회전한다. 확장 바(138)의 회전은 받침대(210)(그리고, 그에 따른 서셉터(128))가 지지판(124) 위에서 선형 운동하도록 한다. 전동기(114)의 속도와 회전 방향을 제어하는 것에 의해, 서셉터(128)의 선형 운동의 속도 및 방향이 제어될 수 있다. 전동기(114) 및 확장 바(138)의 사용은 단순히 서셉터(128)를 움직이는 방법의 일 예이다. 서셉터(128)를 움직이는 다양한 다른 방법들(예를 들어, 서셉터(128)의 바닥, 위 또는 측면에서 기어들과 피니온(pinion)을 사용하는 것)이 사용될 수 있다. 더욱이, 서셉터(128)의 이동을 대신하여 서셉터(128)는 정지 상태를 유지하고 반응기 조립체(136)가 움직일 수 있다.

[0024] 도 3는 일 실시 예에 따른 회전 증착 장치(300)의 사시도이다. 도 1의 선형 증착 장치(100)의 사용을 대신하여, 또 다른 실시 예에 따라 증착 공정을 수행하기 위해 회전 증착 장치(300)가 사용될 수 있다. 회전 증착 장치(300)는 다른 요소들 중 반응기들(320, 334, 364, 368, 여기서는 총괄하여 "반응기 조립체"로 언급된), 서셉터

(318) 및 이러한 요소들을 둘러싸는 컨테이너(324)를 포함할 수 있다. 서셉터(318)는 제자리에 기관(314)을 고정한다. 반응기 조립체는 기관(314)과 서셉터(318) 위에 위치한다. 서셉터(318) 또는 반응기 조립체는 기관이 다른 공정들을 겪도록 회전한다.

[0025] 하나 이상의 반응기들(320, 334, 364, 368)은 주입구(330)를 통해 기체 파이프에 연결되어 원료 전구체, 반응 전구체, 퍼지 기체 또는 다른 물질들을 받아들인다. 기체 파이프에 의해 공급되는 물질들은 (i) 반응기들(320, 334, 364, 368)에 의해 직접적으로 기관(314)에 주입될 수 있고, 이는 (ii) 반응기들(320, 334, 364, 368) 내부의 챔버에서 혼합된 후 또는 (iii) 반응기들(320, 334, 364, 368) 내부에서 생성된 플라즈마에 의해 라디칼들로 변환된 후에 수행된다. 물질들이 기관(314)에 주입된 후에, 여분의 재료들은 배출구(330)를 통해 배기될 수 있다.

[0026] 여기서 설명된 반응기 모임의 실시 예들은 선형 증착 장치(100), 회전 증착 장치(300) 또는 다른 유형의 증착 장치들과 같은 증착 장치들에 사용된다. 도 4는 나란히 배치된 주입기(402)와 라디칼 반응기(404)를 포함하는 반응기 모임(136)의 일 예이다. 주입기(402)와 라디칼 반응기(404) 모두는 기관(120)의 폭을 덮도록 길쭉하다. 기관(120)이 올려진 서셉터(128)는 두 방향으로(예를 들어, 도 4에서 오른쪽 및 왼쪽 방향) 왕복운동하여 주입기(402) 및 라디칼 반응기(404)에 의해 주입된 기체 또는 라디칼들에 기관(120)을 노출시킨다. 비록 단지 하나의 주입기(402)와 하나의 라디칼 반응기(404)가 도 4에서 설명되었지만, 더욱 많은 주입기 또는 라디칼 반응기들이 선형 증착 장치(100)에 제공될 수 있다. 선형 증착 장치(100)에 단지 라디칼 반응기(402)만 또는 주입기(404)만 제공하는 것 역시 가능하다.

[0027] 주입기(402)는 파이프(예를 들어, 도 5에서 설명된 파이프(424) 및 파이프(512))를 통해 기체를 받고, 서셉터(128)가 주입기(424) 아래로 움직일 때 기관(120)상에 기체를 주입한다. 주입된 기체는 원료 기체, 반응 기체, 퍼지 기체(purge gas) 또는 그것들의 조합일 수 있다. 기관(120)상에 주입된 후에, 주입기(402) 내의 과잉 기체는 배출구들(410, 412)를 통해 방출된다. 배출구(410, 412)는 파이프(미도시)와 연결되어 과잉 기체를 선형 증착 장치(100)의 외부로 방출한다. 도 5를 참조하여 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이, 주입기(402)는 상이한 단면 구성을 갖고 상이한 주입 파이프에 연결된 두 개의 섹션들을 포함한다. 두 개의 배출구들(410, 412)를 제공함으로써, 주입기(402) 내의 과잉 기체는 보다 효과적으로 제거될 수 있다.

[0028] 라디칼 반응기(404)는 파이프(미도시)를 통해 기체들을 받고 상이한 단면 구성 및 분리된 내부 전극들을 구비한 두 개의 섹션들을 갖는다.

[0029] 채널들은 라디칼 반응기(404)의 몸체 내에 형성되어 받은 기체들을 플라즈마 챔버로 운반한다. 두 개의 내부 전극들은 라디칼 반응기(404)를 가로질러 대략 중간 정도까지 연장되고, 전선(432)을 통해 전압원(미도시) 또는 접지(미도시)에 연결된다. 도 8 및 9를 참조하여 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이, 내부 전극들은 플라즈마 챔버들 내에 배치된다. 라디칼 반응기(404)에서 외부 전극들은 접지 또는 전압원에 연결된다. 일 실시 예에서, 라디칼 반응기(404)이 도전성 몸체가 외부 전극들로서 기능할 수 있다. 배출구들(416, 420)은 라디칼 반응기(404)의 몸체 내에 형성되어 과잉 라디칼 또는 기체(증착 장치(100) 밖으로 기관(120)상에 주입되는 동안 또는 전후에 라디칼로부터 비활성 상태로 복귀된)를 방출한다. 배출구(416, 420)은 파이프들(미도시)에 연결되어 과잉 라디칼 또는 기체들을 선형 증착 장치(100) 외부로 방출한다. 두 개의 배출구들(416, 420)을 제공함으로써, 라디칼 반응기(404) 내의 과잉 기체는 라디칼 반응기(404)의 긴 길이에도 불구하고 더욱 효과적으로 제거될 수 있다.

[0030] 도 4에서 설명되는 바와 같이, 반응기 조립체의 유효 길이(L2)는 기관(120)의 폭보다  $W_1+W_2$  만큼 더 길다. 유효 길이(L2)는 미리 정의된 수준의 품질로 기관(120)상에 ALD 공정이 수행되는 반응기 조립체를 가로지르는 길이와 관련된다. 미리 결정된 수준의 품질은 기관상에 증착되는 층의 특성 또는 속성으로서 표현될 수 있다. 증착이 반응기 조립체의 측면 모서리들에서 균일하고 일관된 방식으로 수행되지 않기 때문에, 유효 길이는 반응기 조립체의 실제 길이(L1)보다 더 짧아지는 경향이 있다. 일 실시 DP에서, 기관은 500 밀리미터(mm) 이상의 폭을 가질 수 있다.

[0031] 도 5는 일 실시 예에 따른, 반응기 조립체(예를 들어, 주입기(402)와 라디칼 반응기(404))의 위 평면도이다. 주입기(402)는 상이한 단면 구성을 구비한 두 개의 주입기 섹션들(501, 503)을 갖는다. 주입기 섹션(501)에서 주입기(402)의 몸체(602, 도 6을 볼 것)에는 기체원으로부터 기체를 받기 위한 파이프(512)와 연결되는 채널(516)이 형성된다. 채널(516)은 기체를 받기 위한 홀(532, hole)을 통해 주입기 챔버(513)에 연결된다. 유사하게, 주입기(402)의 섹션(503)에는 기체원으로부터 기체(파이프(512)를 통해 제공되는 동일한 기체)를 받기 위한 파이프(424)에 연결된 채널(522)이 형성된다. 채널(522)은 홀(533)을 통해 주입기 챔버(513)에 연결된다. 채널들

(516, 522), 홀들(532, 533) 및 주입기 챔버(513)의 연결 관계가 도 8 및 9를 참조하여 아래에서 상세히 설명된다. 다중 파이프 및 채널을 통해 주입기 챔버(513) 안으로 기체를 제공함으로써, 기체는 주입기 챔버(513) 전체에서 주입기 챔버(513) 내에 고르게 분산될 수 있다.

[0032] 유사하게, 라디칼 반응기(404)는 상이한 단면 구성을 구비한 두 개의 반응기 섹션들(505, 507)을 갖는다. 라디칼 반응기(404)의 몸체(606, 도 6을 볼 것)에는 기체원으로부터 기체를 받기 위한 파이프들(714a, 714b, 도 7을 볼 것)에 연결된 채널들(510, 518)이 형성된다. 채널(510)은 몸체(606)의 반응기 섹션(505)에 역시 형성된 플라즈마 챔버(도 7 및 8에서 참조번호 718에 의해 지시되는)에 연결된다. 내부 전극(604)은 라디칼 반응기(404)의 길이를 가로질러 대략 중간쯤까지 플라즈마 챔버(718) 내에서 연장되어, 전압 차가 전극들(504, 820)을 가로질러 인가될 때 외부 전극(도 8에서 참조번호 820으로 지시되는)과 함께 플라즈마 챔버(718) 내에 플라즈마를 생성한다. 채널(518)은 몸체(606)의 섹션(507) 내에 형성된 플라즈마 채널(도 7 및 9에서 참조번호 720으로 지시되는)에 연결된다. 내부 전극(432)은 라디칼 반응기(404)의 길이를 가로질러 대략 중간쯤까지 플라즈마 챔버(720) 내에서 연장되어, 전극들(432, 904)을 가로질러 전압 차가 인가될 때 외부 전극(도 9에서 참조번호 904로 지시되는)과 함께 플라즈마 챔버(720) 내에서 플라즈마를 생성한다. 라디칼 반응기(404)의 몸체(606) 내에 두 개의 분리된 플라즈마 챔버들(828, 720)을 제공함으로써, 기체의 라디칼들은 라디칼 반응기(404)의 길이를 가로질러 보다 고르게 생성될 수 있다.

[0033] 도 6은 일 실시 예에 따른, 도 4의 선 A-A' 또는 B-B'를 따라 취한 주입기(402) 또는 라디칼 반응기(404)의 단면도이다. 주입기(402)는 배출구(410, 412)가 형성된 몸체(602)를 갖는다. 배출구(410, 412)는 몸체(602)의 낮은 중앙 섹션에 인접한 빈 공간(cavity)들이다. 배출구(410, 412)의 하부(618)는 대체적으로 주입기(402)의 길이를 따라 연장되는 반면 배출구(410, 412)의 상부(612, 614)는 방출 파이프에의 연결을 위해 더 작다. 배출구들(410, 412)은 반응기(404)의 낮은 중앙 부분에 곡선(curve)을 형성함으로써 부드럽게 이어지는 굽은(contoured) 내부 표면들(640, 644)을 갖는다.

[0034] 라디칼 반응기(404)의 경우에, 라디칼 반응기(404)는 배출구들(416, 420)이 형성된 몸체(606)를 갖는다. 배출구들(416, 420)은 몸체(606)의 중앙 섹션에 인접한 빈 공간(cavity)들이다. 배출구들(416, 420)의 하부(618)는 대체적으로 라디칼 반응기(404)의 길이를 가로질러 연장되는 반면에 배출구들(416, 420)의 상부(612, 614)는 방출 파이프에의 연결을 위해 더 작다. 배출구들(416, 420)은 라디칼 반응기(404)의 중앙 주변에서 부드럽게 이어지는 굽은 내부 표면들(640, 644)을 갖는다.

[0035] 주입기(420) 또는 라디칼 반응기(404)의 길이가 증가함에 따라, 주입기(402) 또는 라디칼 반응기(404) 내부의 진공 전도성은 감소될 수 있다. 진공 전도성에서의 감소는 주입기(402) 또는 라디칼 반응기(404) 안에 남아있는 기체 또는 라디칼들을 방출하는 효율을 감소시키게 된다. 다중 배출구들을 제공함으로써, 진공 전도성은 강화될 수 있다. 이는 주입기(402) 또는 라디칼 반응기(404)로부터 기체들 또는 라디칼들을 더욱 효율적으로 방출하는데 기여한다.

[0036] 비록 단지 두 개의 배출구들만이 주입기(402) 및 라디칼 반응기(404) 내에 형성되었지만, 주입기(402) 또는 라디칼 반응기(404)의 길이에 따라 둘 이상의 배출구들이 주입기(402) 및 라디칼 반응기(404) 내에 형성될 수 있다.

[0037] 도 7은 일 실시 예에 따른, 도 5의 선 C-C'를 따라 취한 반응기 조립체 내의 라디칼 반응기(404)의 단면도이다. 라디칼 반응기(404)는 각각이 라디칼 반응기(404)를 가로질러 중간쯤까지 연장되는 두 개의 내부 전극들(428, 504)을 갖는다. 내부 전극(428)은 플라즈마 챔버(720) 내에 배치되고, 끝단 캡(end cap, 702)과 홀더(미도시)에 의해 고정된다. 유사하게, 내부 전극(504)은 플라즈마 챔버(718) 내에 배치되고, 또한 끝단 캡(722)과 홀더(710)에 고정된다. 끝단 캡(702, 722)과 홀더들(예를 들어, 홀더(710))은 세라믹과 같은 절연 물질로 만들어져 라디칼 반응기(404)의 내부 전극들(428, 504)과 몸체(606) 사이에서 단락(shorting)을 방지한다. 홀더들(예를 들어, 홀더(710))은 내부 전극들(429, 504)의 열적 팽창이 허용되는 동안 내부 전극들(428, 504)을 고정하도록 구조화된다. 끝단 캡(702, 722)은 스크류(screw)에 의해 라디칼 반응기(404)의 몸체(606)에 고정된다. 전선들(432, 730)은 내부 전극들(432, 504)의 끝단(706, 726)을 전압원에 연결한다.

[0038] 라디칼 반응기(404)의 동작중에, 기체는 파이프(714a, 714b)를 통해 채널들(510, 518) 안으로 주입된다. 기체는 홀들(540, 544)을 통해 플라즈마 챔버(718, 720) 안으로 흐른다. 플라즈마는 플라즈마 챔버(718, 720) 내에서 생성되어 기체의 라디칼들을 초래한다. 라디칼들은 그 다음 슬릿(slot)들(734, 738)을 통해 라디칼 반응기(404)의 하부상에 형성된 주입 챔버(560) 안으로 주입된다.

- [0039] 도 8은 일 실시 예에 따른, 주입기 섹션(501, 505)에서 도 5의 선 D-D'를 따라 취한 반응기 조립체의 단면도이다. 도 8의 실시 예에서, 채널(514)과 홀(532)은 평면 F-F''를 따라서 정렬된다. 평면 F-F''는 수직 평면 F-F'에 대해서  $\alpha$ 각도로 오른쪽 측면으로 기울어진다. 채널(514) 및 홀(532)를 통해 주입 챔버(513) 안으로 기체가 주입된 후에, 기체는 기관(120)을 향해 아래로 이동하고, 기관(120)과 접촉한다. 그 다음 기체는 협착 영역(constriction zone, 840)을 통해 흐르고, 그 동안 과잉 물질들(예를 들어, 물리흡착된 원료 또는 반응 전구체)은 기관(120)으로부터 제거된다. 과잉 기체는 배출구(412)를 통해 라디칼 반응기의 외부로 방출된다.
- [0040] 유사하게, 채널(510), 홀(540), 플라즈마 챔버(718) 및 내부 전극(504)은 평면 G-G''를 따라서 정렬된다. 평면 G-G''은 수직 평면 G-G'에 대해서  $\beta$ 각도로 기울어진다. 각도  $\alpha$ 와 각도  $\beta$ 는 동일하거나 상이한 크기를 가질 수 있다.
- [0041] 채널(510)과 홀(540)을 통해 플라즈마 챔버(718) 안으로 주입된 기체는 내부 전극(504)과 외부 전극(820)을 가로질러 전압 차를 인가함으로써 라디칼로 변환된다. 생성된 라디칼들은 슬릿(734)를 통해 주입 챔버(560) 안으로 이동한다. 주입 챔버(560) 안에서, 라디칼들은 기관(120)을 향해 움직이고, 기관(120)과 접촉한다. 라디칼은 원료 전구체, 반응 전구체로서 기능하거나 또는 기관(120)상의 표면 처리 물질로서 기능할 수 있다. 남아있는 라디칼들(또는 비활성 상태로 복귀한 기체들)은 협착 영역(844)을 통과하고 배출구(420)를 통해 방출된다.
- [0042] 도 9는 일 실시 예에 따른, 섹션들(503, 507)에서 도 5의 선 E-E'를 따라 취한 반응기 조립체의 단면도이다. 도 9의 실시 예에서, 채널(515)과 홀(533)은 평면 H-H''를 따라서 정렬된다. 평면 H-H''는 수직 평면 H-H'에 대해서  $\alpha'$ 각도로 왼쪽 측면으로 기울어진다. 기체가 채널(515) 및 홀(533)을 통해 주입 챔버(514) 안으로 주입된 후에, 기체는 기관(120)을 향해 아래로 이동하고, 기관(120)과 접촉한다. 그 다음 기체는 협착 영역(840)을 통해 흐르고 배출구(410)를 통해 반응기 조립체로부터 제거된다.
- [0043] 채널(518), 홀(544), 플라즈마 챔버(720) 및 내부 전극(432)는 평면 I-I''를 따라서 정렬된다. 평면 I-I''는 수직 평면 I-I'에 대해서  $\beta'$ 각도로 기울어진다. 주입 챔버(560) 내에서, 라디칼들은 기관(120)을 향해 움직이고, 기관(120)과 접촉한다. 라디칼들은 원료 전구체, 반응 전구체로서 기능하거나 또는 기관(120)상의 표면 처리 물질로서 기능한다. 남아있는 라디칼들(또는 비활성 상태로 복귀한 기체들)은 협착 영역(844)를 통과하고 배출구(420)를 통해 방출된다. 각도  $\alpha'$  및 각도  $\beta'$ 는 동일하거나 상이한 크기의 것일 수 있다.
- [0044] 도 4 내지 9를 참조하여 위에서 설명된 실시 예들은 단순히 예시적인 것이다. 다양한 변경 또는 대안들이 실시 예에 대해 행해질 수 있다. 예를 들어, 홀들(540, 544, 836, 908)은 채널들(510, 518, 514, 515)과 동일한 평면에서 정렬될 필요가 없다. 또한, 홀 또는 슬릿들보다 천공(perforation)들이 기관(120)으로 기체들 또는 라디칼들을 운반하는데 사용될 수 있다. 주입 챔버들(514, 560)은 도 8 및 9에서 예시된 것 이상의 다양한 다른 모양을 가질 수 있다. 나아가, 배출구들은 단지 한쪽 측면(예를 들어, 도 8 및 9에서 설명된 것과 같은 오른쪽 측면)에 제공된 것을 대신하여 주입기 또는 라디칼 반응기의 양쪽 측면에 형성될 수 있다.
- [0045] 일 실시 예에서, 반응기 조립체는 기관(120)상에 트리메틸알루미늄(Trimethylaluminium, TMA)을 원료 전구체로서 주입하는 주입기(402) 및 기관상에  $N_2O$  또는  $O_2$  라디칼들을 반응 전구체로서 주입하는 라디칼 반응기(404)를 가짐으로써 기관(120)상에  $Al_2O_3$  층을 증착한다. 다양한 다른 물질들이 원료 전구체 및 반응 전구체로서 사용되어 기관상에 다른 물질들을 증착할 수 있다.
- [0046] 도 10은 또 다른 실시 예에 따른, 반응기 조립체(1000)의 위 평면도이다. 주입기와 라디칼 조립체가 세 개의 분리된 섹션으로 나누어지는 것을 제외하면, 반응기 조립체(1000)는 도 4 내지 도 9를 참조하여 위에서 설명된 반응기 조립체와 유사하다. 도 10의 주입기는 대략적으로 동일한 길이의 주입기 섹션들(1010, 1014, 1018)을 포함하고, 라디칼 반응기는 대략적으로 동일한 길이의 반응기 섹션들(1022, 1026, 1028)을 포함한다. 이 실시 예에서, 파이프들(1032a, 1040a)은 주입기의 섹션(1014) 안에 있는 채널에 연결된다. 파이프(1032b)는 섹션(1010) 안에 있는 채널에 연결되고, 파이프(1040b)는 주입기의 섹션(1018) 안에 있는 채널에 연결된다.
- [0047] 도 10의 라디칼 반응기는 또한 도 4 내지 도 9의 라디칼 반응기와 유사하지만, 각각이 섹션들(1022, 1026, 1028) 중 하나에 제공되는 세 개의 내부 전극들(1072, 1074, 1076)을 갖는다. 세 개의 내부 전극들(1072, 1074, 1076)은 홀들(1032, 1036, 1040, 1044)에 의해 고정되어 라디칼 반응기의 몸체로부터 내부 전극들(1072, 1074, 1076)을 절연시킨다. 내부 전극(704)는 전선들 또는 다른 전도성 물질들을 통해 단자들(1052, 1056)에 연결된다.
- [0048] 반응기 조립체의 크기 및 용도에 따라, 그것의 주입기들 또는 라디칼 반응기들은 세 개 이상의 섹션들로 나누어

질 수 있다. 섹션들은 동일한 길이일 필요가 없으며, 주입기들 및 라디칼 반응기들의 섹션들은 상이한 길이를 가질 수 있다. 일 실시 예에서, 주입기들 및 라디칼 반응기들의 전체 길이는 상이할 수 있다. 나아가, 주입기들 및 라디칼 반응기들은 나란히 배치될 필요가 없으며, 서로로부터 멀리 떨어져서 배치될 수 있다.

[0049]

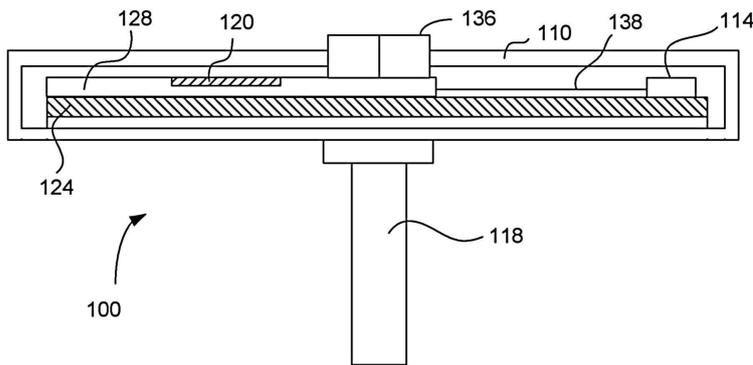
도 11은 일 실시 예에 따른, 내부 전극(1110)을 설명하는 도면이다. 전극(1110)의 길이가 증가할 때, 전극(1110)의 저항도 또한 증가할 수 있다. 전극(1110)은 외부 층(1114)과 코어(core, 1118)를 가질 수 있다. 일 실시 예에서, 외부 층(1114)은 스테인리스 강, 오스테나이트 니켈-크롬 기반 초합금(예를 들어, INCONEL) 또는 니켈 강 합금으로 만들어질 수 있고, 코어(1118)은 동, 은 또는 그것들의 합금으로 만들어질 수 있다. 예를 들어, 동 또는 은은 스테인리스 강 또는 합금으로 만들어진 파이프 안으로 주입되어 코어(1118)를 형성할 수 있다. 그렇지 않으면 대신하여, 동, 은 또는 그것들의 합금으로 만들어진 막대가 코어(1118)에 사용될 수 있고, 그것은 니켈과 같은 물질들로 도금되어 외부 층(1114)을 형성할 수 있다. 더 높은 전도성을 갖는 코어를 제공함으로써, 전극(1110)의 전체 전도성이 증가되어, 플라즈마 채널 내에서 전극(1110)의 길이를 따라 라디칼들을 더욱 균일하고 일관되게 생성하는 데 기여할 수 있다. 일 실시 예에서, 내부 전극(1110)은 3 내지 10 밀리미터(mm)의 지름을 가질 수 있다.

[0050]

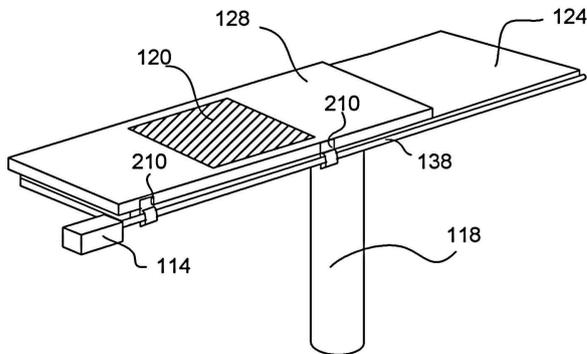
비록 본 발명이 앞서 몇몇 실시 예들에 대해서 설명되었지만, 다양한 변경들이 본 발명의 범위 내에서 행해질 수 있다. 따라서, 본 발명의 개시된 내용은 예시적인 것이며, 발명의 범위를 한정하기 위한 것이 아닌 것으로 의도되고, 발명의 범위는 이후의 청구항들에서 제시된다.

**도면**

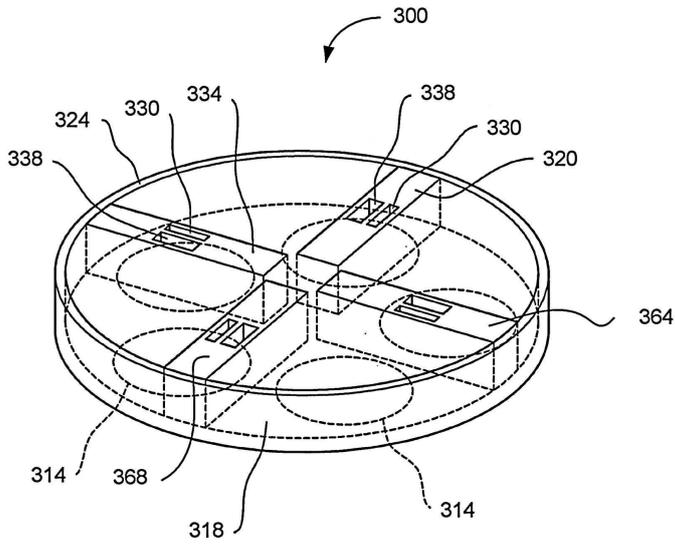
**도면1**



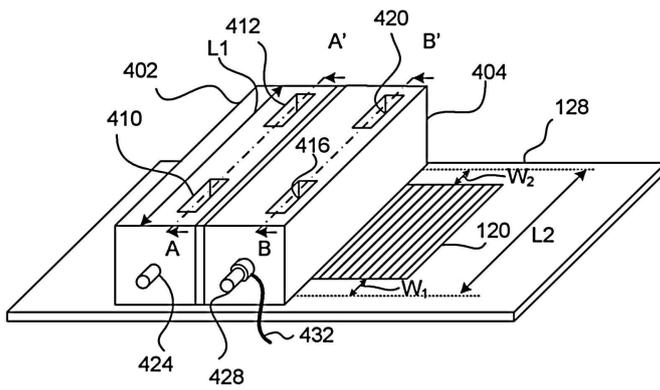
**도면2**



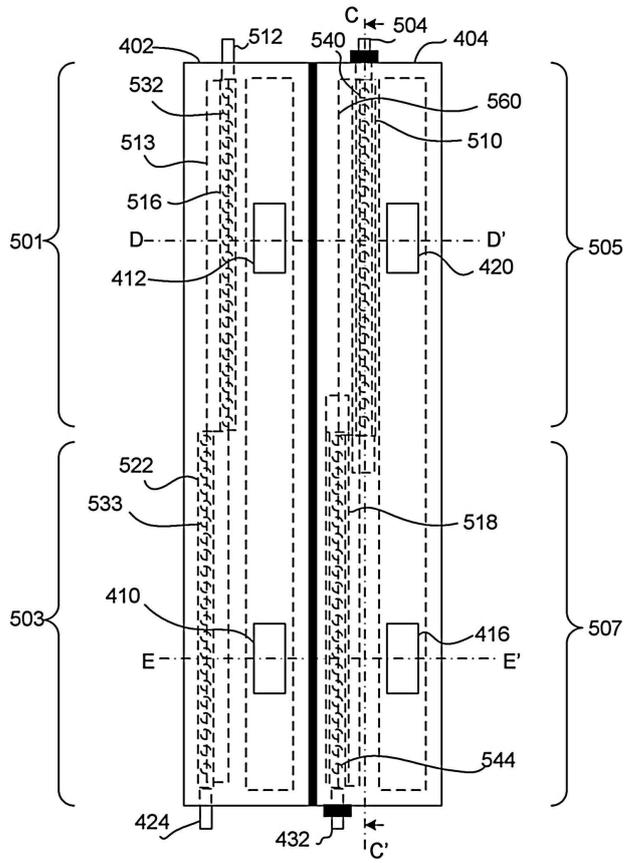
도면3



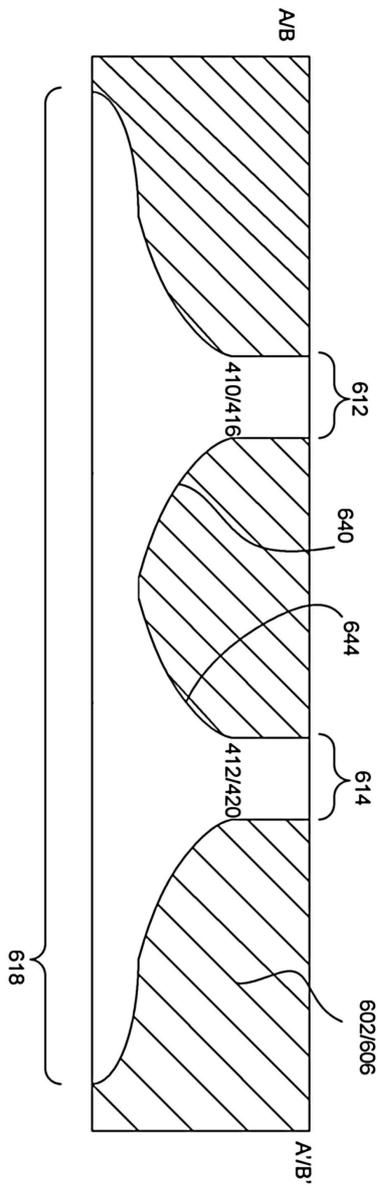
도면4



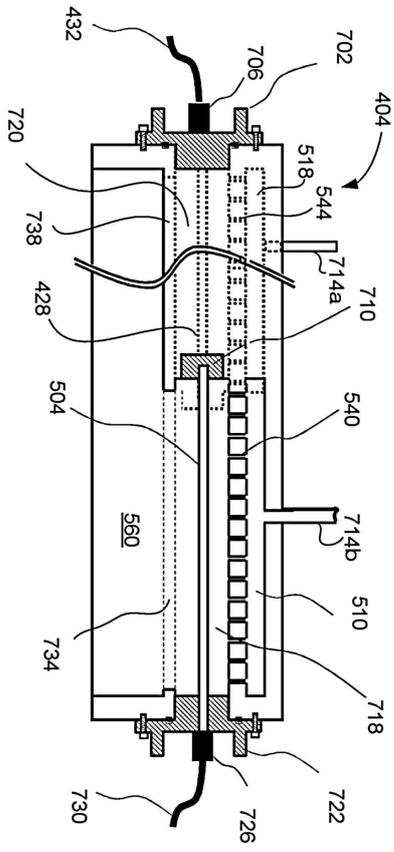
도면5



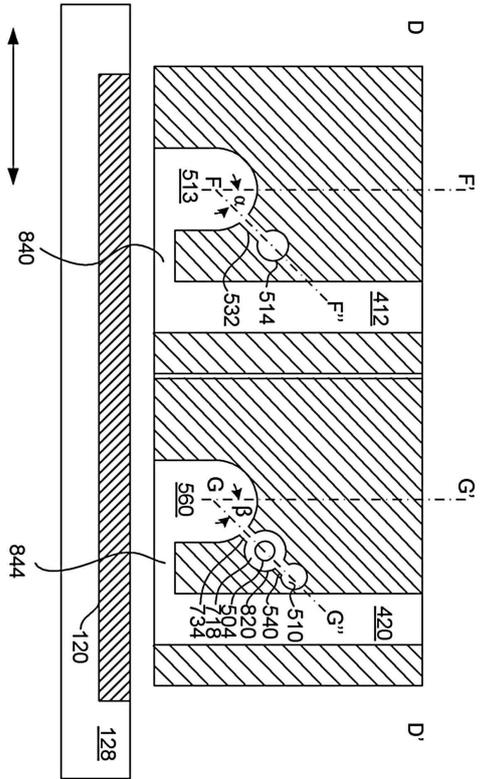
도면6



도면7

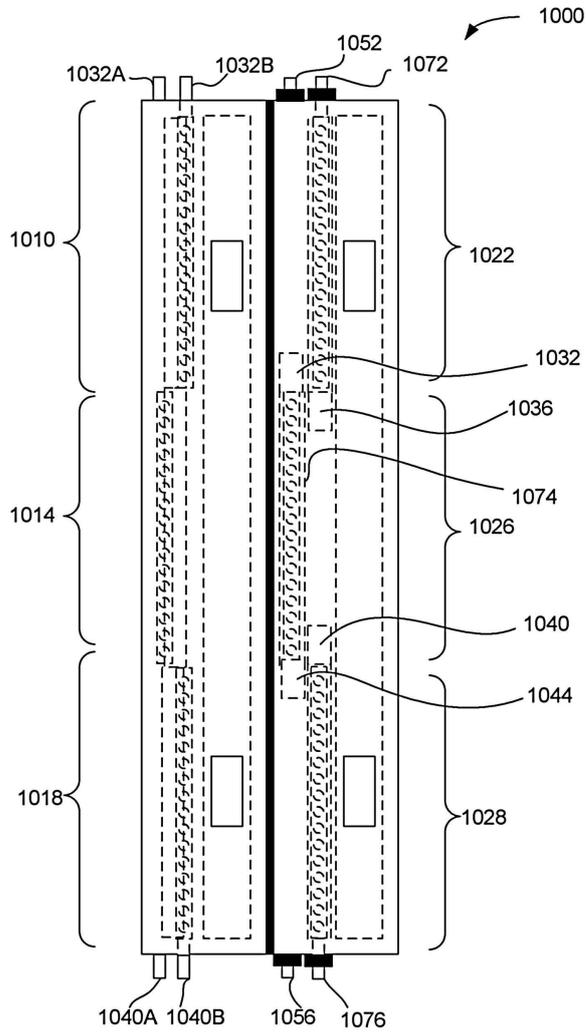


도면8





도면10



도면11

