



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월22일  
(11) 등록번호 10-1321083  
(24) 등록일자 2013년10월16일

- (20) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**C23C 14/35** (2006.01)

(21) 출원번호           **10-2007-7021095**

(22) 출원일자(국제)           **2006년03월10일**  
심사청구일자   **2011년03월08일**

(85) 번역문제출일자 **2007년09월14일**

(65) 공개번호           **10-2007-0112187**

(43) 공개일자           **2007년11월22일**

(86) 국제출원번호       **PCT/US2006/008593**

(87) 국제공개번호       **WO 2006/101772**  
국제공개일자   **2006년09월28일**

(30) 우선권주장  
11/218,756   2005년09월02일   미국(US)  
60/663,568   2005년03월18일   미국(US)

(56) 선행기술조사문헌  
US04925542 A\*  
US20030089601 A1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드**  
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애  
브뉴 3050

(72) 발명자  
**푸, 진유**  
미국 94539 캘리포니아 프레몬트 사우리프 스트리트 48356

(74) 대리인  
**특허법인 남앤드남**

전체 청구항 수 : 총 14 항

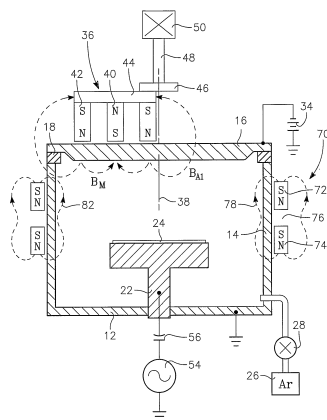
심사관 : 정석우

(54) 발명의 명칭 **마그네트론 스퍼터링 챔버 상의 스플릿 자석링**

(57) 요약

스플릿 자석링(70)은 비아 내에 탄탈, 텅스텐 또는 기타 배리어 물질을 스퍼터링 증착하는데 그리고 또한 비아의 바닥부로부터 비아 측벽 상으로 증착된 물질을 재스퍼터링 에칭하는데 있어서, 특히 마그네트론 플라즈마 반응기(10) 내에서 유용하다. 자석링은 2개의 고리형 자석링(72, 74)을 포함하며, 이들은 하나의 자석 및 관련된 폴 표면의 적어도 축방향 길이의 비자성 간격(76)에 의해 분리되는 동일한 축방향 극성으로 이루어진다. 링 자석(72, 74)이 대향 극성의 보다 약한 내측폴(40)을 둘러싸면서, 작은 불균형 마그네트론(36)이 동일 극성의 외측폴(42)을 갖는 타겟(16)의 후방 둘레에서 회전한다.

## 대표도 - 도4



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

스퍼터링 반응기(sputter reactor)로서,  
 중심축 둘레에 배열된 측벽을 갖는 진공 챔버;  
 상기 진공 챔버의 일 단부에 밀봉된 스퍼터링 타겟;  
 프로세싱될 기판을 지지하도록 상기 스퍼터링 타겟에 대향하여 상기 중심축을 따라 배열된 받침대; 및  
 상기 스퍼터링 타겟과 상기 받침대 사이에서 적어도 부분적으로 상기 중심축을 따라서 배치되며, 상기 중심축 둘레에 배열된, 영구 자석들을 포함하는 스플릿 자석링(split magnet ring)으로서, 상기 중심축을 따르는 두 개 이상의 제 1 자극의 서브링들(sub-rings) 및 상기 서브링들 사이에서 유지되며 자성이 감소된 상기 중심축을 따르는 축방향 간격(axial spacing)을 포함하는, 스플릿 자석링;을 포함하는,  
 스퍼터링 반응기.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
 상기 축방향 간격은 상기 중심축을 따라서 상기 서브링들 중 하나의 길이와 적어도 동일한 길이를 가지는,  
 스퍼터링 반응기.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서,  
 상기 축방향 간격의 길이는 상기 서브링들 중 하나의 길이의 4배를 넘지 않는,  
 스퍼터링 반응기.

### 청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 중심축 둘레에서 회전 가능하며 상기 받침대에 대향하는 상기 스퍼터링 타겟의 측면 상에 배치되며, 상기 제 1 자극의 반대인 제 2 자극의 내측폴(inner pole)을 둘러싸는 상기 제 1 자극의 외측폴(outer pole)을 포함하는 마그네트론(magnetron)을 더 포함하고,  
 상기 외측폴의 총 자기 세기(magnetic intensity)는 상기 내측폴의 총 자기 세기보다 더 큰,  
 스퍼터링 반응기.

### 청구항 5

삭제

### 청구항 6

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 서브링 각각은 복수의 자석들 및 한 쌍의 고리형 자석 부재를 포함하되, 상기 고리형 자석 부재는 상기 자석들을 홀딩(holding)하고, 상기 자석들의 자극면(pole face)로 작용하는,  
 스퍼터링 반응기.

### 청구항 7

삭제

### 청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 서브링들의 상기 자석들을 포획하는(capturing) 상기 진공 챔버의 측벽의 외측 둘레에 배열된 칼라(collar); 및

상기 서브링 각각의 상기 자석들의 대향 단부들을 포획하는 복수의 자석링 쌍을 더 포함하는,  
스퍼터링 반응기.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

삭제

#### 청구항 11

스퍼터링 반응기의 측벽 둘레에 배열되도록 구성되며, 링을 형성하도록 함께 고정 가능한 두 개 이상의 서브링들을 포함하는, 스플릿 자석링에 있어서,

상기 서브링 각각은,

하나 이상의 다른 부분 칼라에 대해 고정 가능한 부분 칼라(partial collar); 및

두 개의 부분 칼라들(collars)의 중심 축에 대하여 평행하게 축방향으로 연장되고, 사이에 축방향 간격을 구비하는 두 개 이상의 부분 고리형 배열체 내의 상기 하나 이상의 다른 부분 칼라에 대해 고정 가능한 부분 칼라 내에서 홀딩(holding)되는 영구 막대 자석들로서, 상기 자석들의 상기 두 개의 부분 고리형 배열체 사이의 간격은 적어도 상기 자석들의 각각의 길이 만큼 큰 자석들

을 포함하는,

스플릿 자석링.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 간격은 상기 각각의 길이와 적어도 동일하거나, 상기 각각의 길이의 4배를 넘지 않는,

스플릿 자석링.

#### 청구항 13

제 11 항 또는 제 12 항에 있어서,

상기 하나 이상의 다른 부분 칼라에 대해 고정가능한 부분 칼라는 내부에 상기 자석들이 배치되는, 내부에 수직 방향 리세스를 구비하는 두 개 이상의 내측으로 면하고 주위로 연장된(circumferentially extending) 림(ribs)을 포함하는,

스플릿 자석링.

#### 청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 두 개의 부분 칼라의 상기 림의 대향 측면 상에 위치되는 두 쌍의 자석 세그먼트를 더 포함하며 상기 두 쌍의 자석 세그먼트 사이에서 모든 자석들이 포획되는,

스플릿 자석링.

#### 청구항 15

기관 상에 금속을 스퍼터링하는 방법에 있어서,

중심축 둘레에 배열된 진공 챔버를 제공하는 단계;

금속 포함 표면을 포함하는 상기 진공 챔버에 타겟을 고정하는 단계;

상기 타겟에 대하여 받침대 전극(pedestal electrode) 상에 프로세싱될 기관을 지지시키는 단계;

상기 타겟으로부터 상기 금속을 스퍼터링하기 위하여 상기 챔버 내에 플라즈마를 여기시키도록 상기 타겟에 DC 전력을 인가하는 단계;

상기 타겟의 후방에서 상기 중심축 둘레로 불균형 마그네트론을 회전시키는 단계;

상기 받침대 전극을 RF 바이어싱하는 단계; 및

상기 타겟과 상기 받침대 전극 사이의 영역에 상기 중심축을 둘러싸는 스플릿 자석링을 제공하는 단계

를 포함하며,

상기 스플릿 자석링은, 상기 중심축을 따르는 제 1 자극의 두 개의 영구 자석링들을 포함하며, 상기 두 개의 영구 자석링들은 적어도 상기 두 개의 영구 자석링들 중 어느 하나의 축방향 길이 만큼 긴 축방향 길이를 가지는 비자성인 간격에 의하여 분리되는,

기관 상에 금속을 스퍼터링하는 방법.

#### 청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 금속은 내화 금속(refractory metal)인,

기관 상에 금속을 스퍼터링하는 방법.

#### 청구항 17

삭제

#### 청구항 18

삭제

#### 청구항 19

삭제

#### 청구항 20

삭제

#### 청구항 21

삭제

#### 청구항 22

제 1 항에 있어서,

각각의 영구 자석은 각각의 서브링들 내에 각각의 자석 자체에 대한 쌍극 자기장(dipolar magnetic field)을 생성하는,

스퍼터링 반응기.

#### 청구항 23

제 1 항에 있어서,

상기 축방향 간격의 길이는 상기 중심축을 따라서 상기 서브링들 중 하나의 길이의 2배 내지 4배인, 스퍼터링 반응기.

## 청구항 24

삭제

## 명세서

[0001] 본 출원은 2005년 3월 18일 출원된 가출원 제60/663,568호를 우선권으로 주장한다.

## [0002] 기술 분야

[0003] 본 발명은 일반적으로 물질 스퍼터링에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 마그네트론 스퍼터링 반응기(magnetron sputter reactor)에서 균등성을 개선하도록 사용되는 보조 자석에 관한 것이다.

## [0004] 배경 기술

[0005] 대안적으로 물리적 기상 증착(PVD; physical vapor deposition)으로 불리는, 스퍼터링은 반도체 집적 회로 제조 시에 금속 및 관련 물질의 층 증착에 일반적으로 사용된다. 원래 실리콘 집적 회로에서 구리 금속화를 위해 개발된 최근 기술이, 이제 홀을 채우기 위해 구리의 최종 전기 도금에 대한 시드층으로서 사용되는 구리의 스퍼터링, 및 유전체 내로 에칭되는 상호연결 홀(interconnect hole) 구조체에서 배리어층(barrier layer)으로서 사용되는 탄탈과 같은 내화 금속(refractory metal)의 스퍼터링에 적용되어 왔다. 스퍼터링에 가해진 요구사항은 상호연결 홀의 지름이 100nm 아래로 줄어들고 홀의 종횡비가 5 및 그 초과로 증가함에 따라 더욱 강조되어 왔다.

[0006] 진보된 스퍼터링 반응기는 복잡한 형태의 타겟 및 유도성 전력 공급원과 함께 발전하여 왔으며, 그 대부분은 스퍼터링 원자의 이온화 분율을 증가시키도록 의도된다. 이에 따라 웨이퍼의 바이어싱(biasing)은 이온화된 스퍼터링 원자를 홀 안으로 깊이 끌며, 또한 홀의 바닥부의 스퍼터링 에치 오버행(sputter etch overhangs)과 바람직하지 않은 층으로 이끈다. 그러나, 상당히 종래의 스퍼터링 반응기가 그의 간단성 및 저렴한 가격으로 인하여 발전된 적용에 있어서도 여전히 사용된다. 종래의 스퍼터링 반응기는 정교한 자기계(magnetics)로 수정되어 보다 복잡한 스퍼터링 반응기의 성능 특성을 대부분 달성한다.

[0007] 본 발명에서 참고로 편입된 Gung 등에 의한 미국 특허 제6,610,184호는(이하 Gung이라 칭함), 도 1의 개략적인 단면도에 도시된 플라스마 스퍼터링 반응기(10)를 개시한다. 진공 챔버(12)가 일반적으로 실린더형 측벽(14)을 포함하는데, 이는 전기적으로 접지된다. 일반적으로, 도시되지 않은 접지된 교체 가능한 쉴드 및 때때로 추가적인 플로팅 쉴드(floating shield)가 측벽(14) 내에 위치하여 이들이 스퍼터링 코팅되는 것을 방지하지만, 이들은 진공을 유지하는 것을 제외하면 챔버 측벽으로서 작용한다. 스퍼터링될 금속으로 이루어진 표면층을 적어도 갖는 스퍼터링 타겟(16)은 전기 절연기(18)를 통해 챔버(12)에 밀봉된다. 받침대 전극(pedestal electrode)(22)은 타겟(16)에 평행하게 대향되어 스퍼터링 코팅될 웨이퍼(24)를 지지한다. 프로세싱 공간은 쉴드 내측의 웨이퍼(24)와 타겟(16) 사이에서 형성된다.

[0008] 바람직하게 아르곤인 스퍼터링 작용 가스는, 가스 공급원(26)으로부터 질량 유동 제어기(28)를 통해 챔버 내로 계측된다. 도시되지 않은 진공 펌핑 시스템은 챔버(12) 내측을 일반적으로  $10^{-8}$  Torr 또는 그 미만의 매우 낮은 베이스 압력으로 유지한다. 플라스마 점화 동안, 아르곤 압력은 약 5mTorr의 챔버 압력을 산출하는 양으로 공급되지만, 후술할 바와 같이 그 압력은 이후에 감소된다. DC 전력 공급원(34)은 타겟(16)을 약 -600VDC로 음으로 바이어싱(negative biasing)하여, 전자 및 아르곤 양이온을 포함한 플라스마로 아르곤 작용 가스를 여기시킨다. 아르곤 양이온은 음으로 바이어싱된 타겟(16)으로 이끌리고 타겟(16)으로부터 금속 원자를 스퍼터링한다.

[0009] 본 발명은, 특히 작은 네스티드(nested) 마그네트론(36)이 타겟(16) 뒷면에 도시되지 않은 백플레이트 상에서 지지되는 SIP(self-ionized plasma; 자체 이온화 플라스마) 스퍼터링에 유용하다. 챔버(12)와 타겟(16)은 일반

적으로 중심축(38) 둘레에서 원형 대칭이다. SIP 마그네트론(36)은 제 1 수직 자극의 내측 자석폴(magnet pole)(40)과 이에 반대인 제 2 수직 자극의 둘레의 외측 자석폴(42)을 포함한다. 두 개의 폴 모두 자기 요크(yoke)(44)에 의해 지지되고 이를 통해 자기적으로 커플링된다. 요크(44)는 중심축(38)을 따라 연장된 회전 샤프트(48) 상에 지지되는 회전암(46)에 고정된다. 샤프트(48)에 연결되는 모터(50)는 마그네트론(36)이 중심축(38) 둘레에서 회전하도록 한다.

[0010] 삭제

[0011] 불균형 마그네트론에서, 외측폴(42)은 내측폴(40)에 의해 제공되는 것보다 큰 영역에 걸쳐서 일체화된 총 자기 플럭스를 가지며, 바람직하게는 자기 세기의 비율이 150% 이상이다. 대향된 자석폴(40, 42)은 챔버(12) 내측에 자기장( $B_0$ )을 생성하며, 이는 타겟(16) 표면에 평행하게 인접한 강한 요소를 갖는 반-도넛형(semi-toroidal)인 것이 일반적이어서, 그 곳에 고밀도 플라스마를 생성하고, 이에 따라 스퍼터링 속도를 증가시키고 스퍼터링된 금속 원자의 이온화 분율을 증가시킨다. 외측폴(42)이 내측폴(40)보다 자기적으로 강하기 때문에, 외측폴(42)로부터의 자기장 분율은 자기 회로를 완성하기 위해 그것이 외측폴(42) 뒤로 다시 고리 모양을 만들기(loop) 전에 받침대(22)를 향해 멀리 돌출된다.

예를 들어, 13.56MHz의 주파수를 갖는 RF 전력 공급원(54)은 받침대 전극(22)에 연결되어 웨이퍼(24) 상에 음극 셀프-바이어스(negative self-bias)를 생성한다. 이러한 바이어스는 양으로 하전된 금속 원자를 인접한 플라스마의 덮개(sheath)를 가로질러 이끌며, 따라서 인터-레벨 비아들(inter-level vias)과 같이 웨이퍼 내의 높은 종횡비의 홀의 바닥부 및 측면을 코팅한다.

[0012] SIP 스퍼터링에서, 마그네트론은 작으며 높은 자기 강도를 갖고, 많은 양의 DC 전력이 타겟에 인가되어 플라스마 밀도가 타겟(16) 근처에서  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$  위로 상승되도록 한다. 이러한 플라스마 밀도의 존재에 있어서, 많은 수의 스퍼터링된 원자가 양으로 하전된 금속 이온으로 이온화된다. 금속 이온 밀도는, 그 중 많은 수가 타겟으로 다시 이끌려서 더 추가의 금속 이온을 스퍼터링할 만큼 충분히 높다. 그 결과, 금속 이온은 스퍼터링 프로세스에서 아르곤 이온을 효과적인 작용 종으로 적어도 부분적으로 대체할 수 있다. 즉, 아르곤 압력이 감소될 수 있다. 감소된 압력은 금속 이온의 탈이온화 및 스캐터링(scattering)을 감소시키는 장점을 갖는다. 구리 스퍼터링에서, 임의의 조건 하에서, 일단 플라스마가 점화되었다면, 지속 자체-스퍼터링(sustained self-sputtering; SSS)으로 불리는 프로세스에서 아르곤 작용 가스를 완전히 제거하는 것이 가능하다. 알루미늄 또는 텅스텐 스퍼터링에서, SSS가 불가능하지만, 아르곤 압력은 종래의 스퍼터링에서 사용되는 압력으로부터 예를 들어 1milliTorr 미만으로 실질적으로 감소될 수 있다.

[0013] 영구 자석(62)의 보조 어레이(60)는 챔버 측벽(14) 둘레에 위치되며, 일반적으로 웨이퍼(24)를 향하는 프로세싱 공간의 절반에 위치한다. 보조 자석(62)은 외측폴(42)로부터 자기장의 불균형 부분을 아래로 끌어당기도록 네스티드 마그네트론(36)의 외측폴(42)과 동일한 제 1 수직 자극을 갖는다. 상세히 후술되는 실시예에서, 8개의 영구 자석이 있으나, 중심축(38) 둘레에 분포된 4개 또는 그 이상의 임의의 개수가 유사하게 양호한 결과를 제공할 것이다. 챔버 측벽(14) 내측에 보조 자석(62)을 위치시키는 것이 가능하지만, 바람직하게는 프로세싱 영역에서 그 효과적 강도를 증진시키도록 얇은 측벽 쉴드 외측에 위치시킬 수 있다. 그러나 측벽(14) 외측의 배치가 전체적인 프로세싱 결과에서 바람직하다.

[0014] 보조 자석 어레이(62)는 일반적으로 중심축(38)의 둘레에 대칭으로 배치되어 원형 대칭 자기장을 제공한다. 한편으로 네스티드 마그네트론(36)은 중심축(38)의 둘레에 비대칭으로 배치되는 자기장 분포를 가지나, 회전 시간에 걸쳐 평균화될 때 대칭으로 된다. 네스티드 마그네트론(36)의 많은 형태가 있다. 덜(less) 바람직하지만 가장 간단한 형태는 원형인 고리형 외측 자석폴(42)에 의해 둘러싸인 버튼 중심 자석폴(40)을 가지는데, 그 결과 그 자기장은 챔버축(38)으로부터 변위된 축 둘레에서 대칭이고 네스티드 마그네트론축은 챔버축(38)의 둘레에서 회전한다. 그러한 일 네스티드 마그네트론은 중심축(38) 근처에서 꼭짓점을 갖고 타겟(16) 주변 근처에서 베이스를 갖는 삼각 형태를 갖는다. 이러한 형태는, 자기장 평균 시간이 원형의 네스티드 마그네트론의 경우에 비해 보다 균등하기 때문에 특히 유용하다.

[0015] Gung은 그 자기 요소의 효과를 기술한다. 불균형 마그네트론(36)은, 타겟(16)의 스퍼터링 표면에 일반적으로 평행한 반-도넛형 자기장( $B_0$ )을 생성하여, 그 결과 전자를 트래핑(trap)하고, 플라스마 밀도를 증가시키고, 따라서 스퍼터링 속도를 증가시킨다. 불균형으로 인하여 실질적으로 매칭되지 않는 자기장이 외측폴(42)로부터 발산되어, 챔버 중심(38) 근처에서 챔버(12) 내로 돌출되지만 마그네트론(36)의 후방으로 돌아오는 회귀 자기장

(B<sub>A1</sub>)과, 챔버 측벽(14) 근처에서의 측벽장(sidewall field)(B<sub>A2</sub>) 모두를 생성한다. 측벽장(B<sub>A2</sub>)은 마그네트론(42)의 후방으로 돌아오기 전에 유사한 극성의 보조 어레이(62)를 향해 끌어 당겨진다. Gung은 웨이퍼(24)를 향해 이온화된 스퍼터링 입자를 가이드하고 플라스마를 연장하는 것과 같은 이러한 배열의 유익한 효과를 기술한다. 더욱이 그는 구리 필름 증착의 방사상 균등성이 증진되는 것을 기술한다.

[0016] Gung의 구성은 구리 증착에 유익하게 적용되었으며, 상업적으로 중요한 듀얼-대머신(dual-damascene) 구조체에서 수평 상호 연결 및 수직 상호 연결을 형성하도록 인터-레벨 유전체를 통해 형성된 좁은 비아 홀(via hole) 내로의 얇은 구리 시드층(seed layer)에 특히 유익하게 적용되었다. 구리 시드층은 전기화학적 도금(ECP; electrochemical plating)에 의해서 비아 홀을 후속적으로 채우도록 시드 및 전기 도금층으로서 사용된다. 이러한 적용에서, 오버행은 중요한 문제점이 있다. 한편으로는, Gung 구성은 비아 홀의 벽과 구리 시드층 사이에서 탄탈 배리어층을 스퍼터링하는데 적용되는 경우, 결과적인 균등성이 완전히 만족스럽지 않았다. 이러한 배리어 적용에 있어서, 비아 홀 내 깊은 곳에서의 측벽 커버리지(coverage) 및 균등성이 보다 중요하다.

## [0017] 발명의 요약

[0018] 보조 자석 어셈블리는 플라스마 스퍼터링 반응기의 프로세싱 영역 둘레에 위치하며, 바람직하게는 챔버 벽 밖에 위치한다. 그것은, 동일한 자극의 적어도 2개의 자석 링을 포함하며 이 2개의 자석 링은 비자성 또는 감소된 자성 물질 또는 공간의 간격만큼 분리되며, 이는 바람직하게는 적어도 링들 중 어느 하나 만큼 길고 더욱 바람직하게는 두 배 이상 긴 축 방향 길이를 가진다.

[0019] 2개의 자석링은, 편리하게는 챔버 외측 상에서 함께 고정 가능한 투-피스 비자성 칼라(collar)로 이루어진다. 칼라는 자석을 위한 리세스를 구비하는 2개의 내측으로 면하는 림(ribs)을 가진다. 링형 자석의 2개의 쌍은 리세스 내에 자석을 포획하고 자기 요크(magnetic yoke)로서 작동한다.

[0020] 탄탈, 티타늄, 또는 텅스텐과 같은 내화 금속과 같은 금속을 위한 스퍼터링 방법은 스플릿 자석링(split magnet ring)을 사용할 수 있으며, 내측링 간격은 프로세스를 위해 최적화될 수 있다.

## [0021] 도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은, 단일 보조 자석링을 포함하는 종래 기술의 마그네트론 스퍼터링 반응기의 단면도이다.

[0023] 도 2는, 도 1의 단일 자석링에 의해 생성된 자기장의 개략적 도면이다.

[0024] 도 3은, 본 발명의 일 실시예의 스플릿 자석링에 의해 생성된 자기장의 개략적 도면이다.

[0025] 도 4는, 도 3의 스플릿 자석링을 포함하는 본 발명의 마그네트론 스퍼터링 반응기의 단면도이다.

[0026] 도 5는, 본 발명의 스플릿 자석링을 결합하는 투-피스 칼라의 정사영도이다.

[0027] 도 6은, 본 발명에 따라 이를 수 있는 증진된 균등성을 도시한 그래프이다.

## [0028] 바람직한 실시예의 상세한 설명

[0029] Gung에 의해 이루어진 증진된 균등성은, 부분적으로는 회전 마그네트론(36)으로부터 떨어진 챔버의 측면 상의 쉴드 또는 챔버 측벽(14)에 인접한 쌍극장(dipole field)과 비슷하지만 또한 회전 마그네트론(36)에 일시적으로 정렬되는 챔버(12) 측면 상에 존재하는 일반적인 반-도넛형 자기장(64)을 생성하는 자석링(62)에 의해 이루어지는 것으로 여겨진다. 도 2의 개략적인 정면도에서 보다 상세히 도시되는 바와 같이, 자석링(62)에 의해 생성된 자기장(64)은 자석링(62)의 고리형 형태로 인한 중요하지 않은 부가적인 효과를 제외한 자기 쌍극장이다. 챔버 측벽(14) 내에서, 쌍극장(64)은 접지된 챔버 측벽(14)에 플라스마, 특히 그의 전자의 확산을 방지하는 자기 배리어를 생성한다. 그 결과, 마그네트론(46) 근처에서 타겟(16)으로부터 확산되는 스퍼터링된 금속 이온을 포함하는 플라스마가 접지된 벽(14)으로 확산되는 것이 방지된다. 이러한 확산 플라스마는 그 에지의 더 근처에서 보다 챔버 중심(38)에서 더 강한 플라스마를 야기한다. 이러한 불균등 플라스마는 스퍼터링 증착된 웨이퍼(24) 및 그렇지 않으면 프로세싱된 플라스마에 접근할 때, 웨이퍼(24) 상에 강한 방사상 불균등성을 야기한다. 감소된 측벽 확산으로, 플라스마는 방사상 방향으로 보다 균등해지며, 이는 보다 균등한 웨이퍼 프로세싱을 야기한다.



다.

- [0030] 그러나 쌍극장(64)은 몇 가지 단점을 갖는다. 도시된 바와 같이, 이는 자석링(60) 중앙선 근처에서 챔버 안으로 내측으로 볼록하다. 즉, 쌍극장(64)은 챔버 중심축(38)을 향해 볼록하여 상당히 오목한 배리어를 형성한다. 그 결과, 플라스마는 내측으로 오목한 배리어 내에 가두어지고 이온화된 스퍼터링 입자는 웨이퍼(24) 중심을 향해 다소 집중되며, 따라서 불균등한 스퍼터링 증착, 그러나 더욱 상세하게는 웨이퍼(24)의 스퍼터링 에칭을 야기한다.
- [0031] 웨이퍼(24)의 스퍼터링 에칭은 특히 높은 종횡비의 좁고 깊은 비아의 측벽을 코팅하는데 중요하다. 티타늄, 몰리브덴, 탄탈, 텅스텐, 코발트, 크롬 및 루테튬을 포함하는 내화 금속과 같은 배리어 금속은 감소하였지만 상당한 전기적 전도성을 가지며, 반응성 스퍼터링에 의해 마그네트론 스퍼터링 반응기 내에 스퍼터링 증착될 수 있는 이들의 질화물은 저급한 전도체이다. 스퍼터링 플럭스가 높은 이온화 분율을 갖고 웨이퍼가 강하게 바이어싱되었다면, 이온은 비아 내로 깊이 끌려 당겨져 바닥부 비아 측벽을 코팅한다. 충돌하여 비아의 바닥부 상에 증착되는 플럭스의 어떠한 부분은 동시에 또는 후속적으로 재스퍼터링되고 바닥부 비아 측벽 상에 증착될 가능성이 있다. 따라서, 프로세스는 아래 놓인 금속 레벨에 대해 요구되지 않는 바닥부에서의 배리어층을 감소시키거나 제거하며, 측벽 커버리지를 증가시킨다.
- [0032] 볼록한 자기 배리어의 영향은, 구리 스퍼터링의 현재의 생성에 있어서 중요하지 않은 것으로 보이지 않는다(향후의 생성에서 중요하지 않을 수 있지만). 그러나 도 1의 구성을 이용한 탄탈의 스퍼터링은 재-스퍼터링, 바닥부 증착 및 측벽 비대칭의 낮은 방사상 균등성을 제공한다. 구리 및 탄탈은 분명히 상이한 물질이다. 타겟 재-스퍼터링 수율은 둘 사이에서 크게 다르며, SSS가 구리로는 가능하지만 탄탈로는 가능하지 않은 범위로 구리에 대해 매우 더 높은 이온화 분율을 야기한다. 즉, 구리 스퍼터링에서 플라스마 점화 이후, 아르곤 스퍼터링 가스가 멈출 수 있으며, 스퍼터링된 구리 이온은 스퍼터링 가스로서 작용하여 플라스마를 지원할 것이다. 또한, 매우 상이한 구리와 탄탈의 질량은 비아들 내의 스퍼터링 에칭의 크게 상이한 속도를 제공할 것이다.
- [0033] 플라스마는, 챔버 측벽(14) 또는 관련 쉘드에 인접한 자기장을 평평하게함으로써, 보다 양호하게 가두어질 수 있으며 보다 균등한 스퍼터링 증착 및 에칭을 제공할 수 있다. 평평하게 하는 것은 자석링을 공간 또는 다른 유전체에 의해 분리되는 2개 또는 그 이상의 자석링으로 나눔(split)으로써 이루어질 수 있다. 도 3의 정면도에 개략적으로 도시된 바와 같이, 스플릿 자석링(70)은 동일 극성의 2개의 자석 서브링(magnet sub-ring)(72, 74)을 포함하며, 이는 비자성이거나 2개의 자석 서브링(72, 74)의 투자율로부터 적어도 실질적으로 감소된 투자율의 분리부 또는 축방향 간격(76)을 포함한다. 각각의 서브링(72, 74)은 각각 실질적으로 쌍극 자기장을 제공한다. 그러나, 결과적으로 조합된 스플릿 링 자기장(78)은, 실질적으로 평평하며, 특히 비자성 간격(76)으로 인하여 측벽(14) 내측에서 실질적으로 평평하다. 그 결과, 조합된 자기장(78)은 챔버 측벽(14)에 인접하여 효과적인 배리어로서 작용하여서 플라스마가 접지된 측벽(14) 또는 쉘드로 확산되는 것을 방지하지만, 챔버(12) 중심(38)을 향해 플라스마가 집중되는 것을 상당히 감소시킨다.
- [0034] 이러한 구성은, 자석링(72, 74)의 자기적 포화를 감소시킨다는 추가 장점을 갖는다. 그 결과, 스플릿 자석링(76)에 의해 생성된 평균 자기장 밀도는, 동일 자석을 사용한 자석링(72, 74)이 연속적으로 되었거나 그 사이에 간격(76) 없이 상호 인접하여 배치되었던 경우 생성되는 것을 초과하여 증가한다.
- [0035] 본 발명의 스퍼터링 반응기(80)는 스플릿 자석링(76)을 포함하는 도 4의 개략적인 단면도에 도시된다. 불균형 루프 마그네트론(36) 아래 놓인 예상되는 자기장 분포(82)는 스플릿 자석링(72)과 마그네트론(36)으로부터의 불균형 장을 조합한다.
- [0036] 마그네트론(36)은 우선적으로 호(arc) 형태의 폐쇄형 플라스마 루프를 갖는 불균형 LDR 마그네트론이며, 이는 Gung 등에 의해 2004년 9월 23일 출원된 미국 특허 출원 제10/949,735호에 개시되고, 본 발명에 참조로서 편입되며 현재 미국 특허출원공보 제2005/0211548호로 공개되었다. 그 스퍼터링 위치에서, 호 형태의 볼록한 측면은 타겟(16)의 주변에 근접되어 그 자기장이 타겟 주변 근처에 집중되도록 한다. 마그네트론(36)은 원심 메커니즘에 의해 스위칭될 수 있어서, 호 형태가 타겟 반지름에 보다 가까이 정렬되고 이에 따라 증착물 사이의 타겟(16) 중심 부분을 세정한다(clean).
- [0037] 도 5에 정사영도로서 도시된 스플릿 자석링 어셈블리(90)는 2개의 절반형 칼라(92, 94)를 포함하며, 이는 알루미늄과 같은 비자성 물질로 이루어진다. 2개의 절반형 칼라(92, 94)는 챔버 측벽(14) 외측 둘레에 정렬된(96)과 나사(98)에 의해 서로 연결될 수 있으며, 수직 통공(100)을 통해 측벽(14) 상의 지지부에 나사 조립된다. 각각의 절반형 칼라(92, 94)는 2개의 고리형 내측으로 면하는 림(102)을 포함하며, 이는 리세스를 가져서 복수



의, 예를 들어 8개의 수직 극성 막대 자석(104)을 수용한다. 각각의 자석(104)은 약 15cm의 예시적인 길이를 갖고 6mm의 예시적인 지름을 가지며, NdBFe로 구성될 수 있다. 즉, 300mm 웨이퍼를 위해 구성된 챔버에 대해 16개의 자석(104)의 2개의 세트(2개의 절반형 칼라(92, 94) 사이에서 분배됨)가 존재하며, 이는 중심축 둘레에 배열된다. 자석(104)들 사이의 수직 간격은 증착 균등성을 최적화하도록 다양화될 수 있다. 일반적인 범위는 25 내지 44mm이며, 즉 각각의 자석의 길이보다 크고 바람직하게는 적어도 자석 길이의 2배이지만, 관련된 폴 표면의 두께를 더하여, 자석 길이의 4배보다 작다. 나사는, 두 쌍의 워셔-형 홀더(washer-shaped holder)(106)를 통해 자석(104)을 립(102) 상에 포획하며, 홀더는, 예를 들어 SS410 스테인레스 스틸과 같은 자성 물질로 이루어지며, 립(102)의 대향하는 수직 이격 측면 상에 배치되어 홀더로서 작용할 뿐만 아니라 자석폴 표면으로서도 작용한다.

[0038] 일반적으로, 측벽 자석은 비아 바닥부 상에 증착된 탄탈을 하부 비아 측벽 상으로 재스퍼터링하도록, 예를 들어 300mm 웨이퍼를 위한 800W RF 전력의 큰 웨이퍼 바이어싱의 존재 시에만 효과적이다. 바이어싱은 또한 보조 측벽 자석에 의해 영향을 받은 이온화된 스퍼터링 이온을 끌어 당기는 한편, 중성의 스퍼터링 원자는 웨이퍼 바이어싱 또는 측벽 자석에 의해 본질적으로 영향을 받지 않는다. 스퍼터링 균등성 테스트는 탄탈 스퍼터링을 위한 다양한 링 자석을 사용하여 실행되었다. 시트 저항( $R_s$ )은 웨이퍼 반지름을 가로지르는 증착 균등성을 결정하도록 증착된 탄탈 필름에 대해 측정되었다. 도 6의 그래프에 의해 도시된 바와 같이, Gung에 의한 개념에서와 같은 단일 측벽 자석링 또는 2개의 링 사이의 간격이 없는 스플릿 자석링은 거의 동일하게 높은 불균등성을 제공하는데, 이는 일반적으로 만족스럽지 않은 것으로 생각된다. 25mm 및 44mm의 간격을 갖는 스플릿 자석링은 불균등성을 크게 감소시킨다. 다른 실험들은 스플릿 자석링이, 일반적으로 보다 높은 웨이퍼 중심에서의 재스퍼터링에 비하여 웨이퍼 에지 근처에서의 재스퍼터링을 증가시키는데 효과적임을 증명한다.

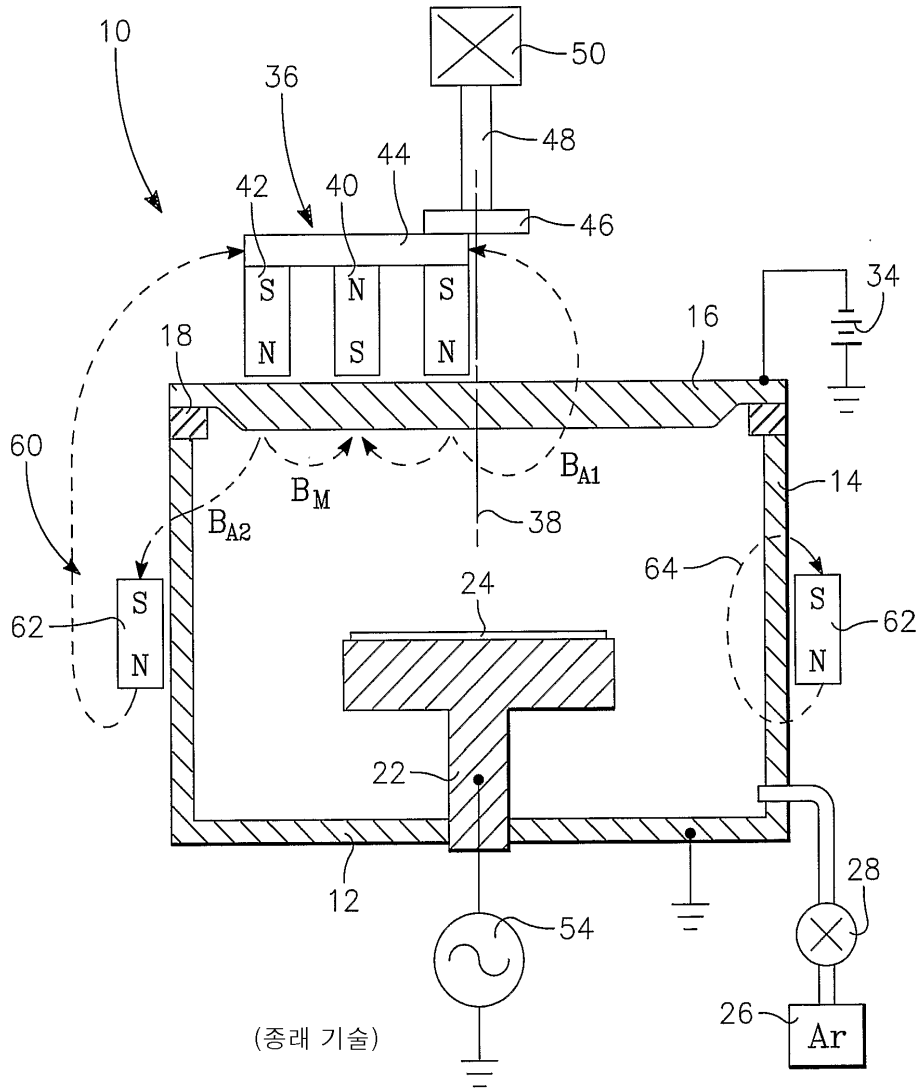
[0039] 또한, 스플릿 자석링은 티타늄 스퍼터링에도 적용되었다. 이 경우, 2개의 자석링 사이의 간격은 2mm 만큼 감소하여 성능을 최적화하였다. 상이한 적용에서 간격을 변화시킬 수 있는 설계 자유도는 스플릿 자석링의 하나의 장점이다.

[0040] 그 사이에 비자성 간격을 갖는 3개 또는 그 이상의 자석 서브링을 갖는 것이 가능하다.

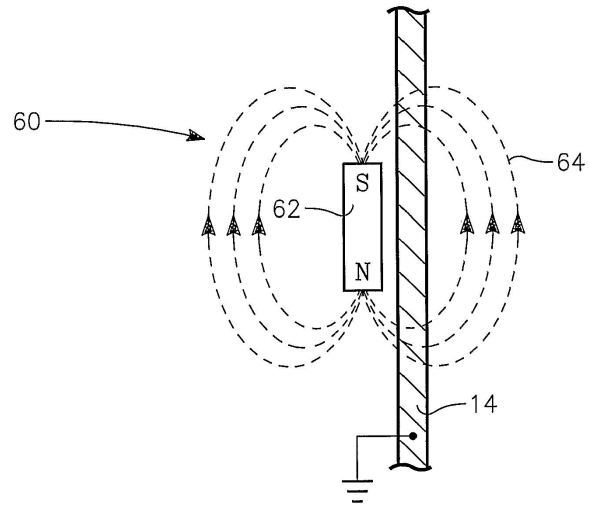
[0041] 본 발명은 탄탈 및 티타늄 스퍼터링에 관련되어 기술되었으나, 특히 배리어 금속과 같은 다른 물질의 스퍼터링에도 적용 가능하다. 실험들은 텅스텐 스퍼터링에서도 본 발명의 효용성을 보여주었다.

도면

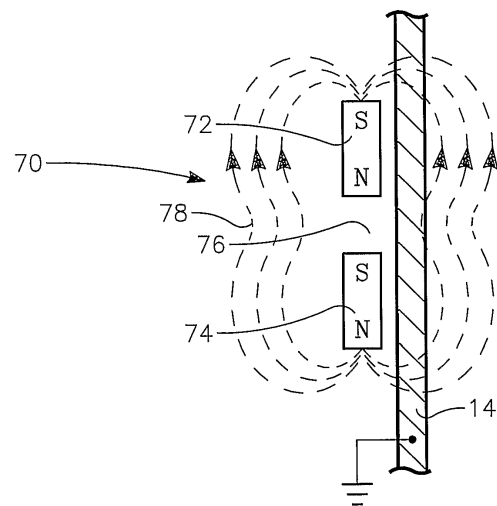
도면1



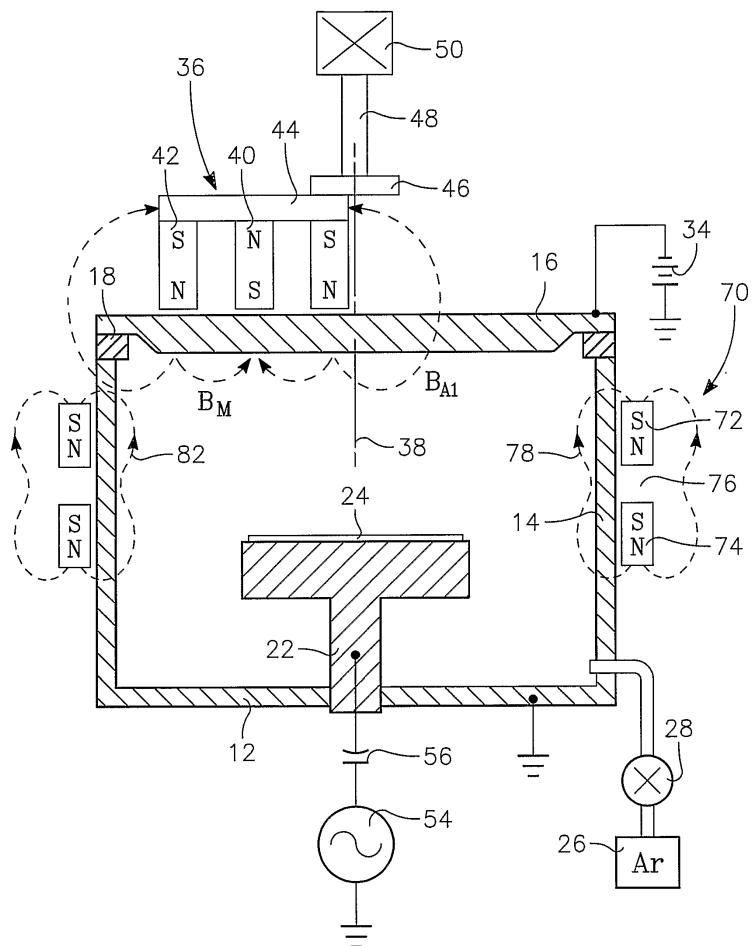
도면2



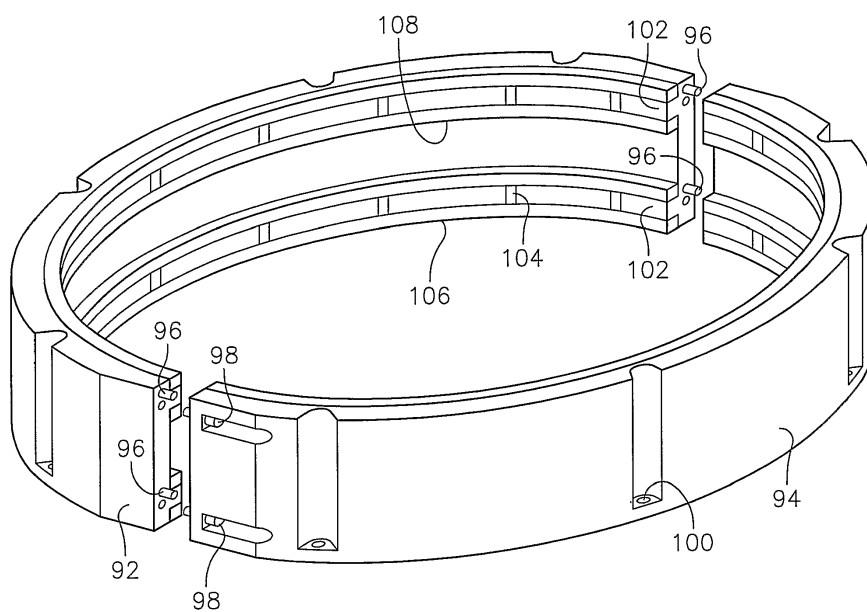
도면3



도면4



도면5



도면6

