



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년11월19일
(11) 등록번호 10-2046752
(24) 등록일자 2019년11월13일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C25D 17/00 (2006.01) C25D 17/06 (2006.01)
C25D 21/10 (2006.01) C25D 21/12 (2006.01)
C25D 5/02 (2006.01) C25D 5/04 (2006.01)
C25D 7/12 (2006.01) H01L 21/288 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C25D 17/001 (2013.01)
C25D 17/002 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-0068724(분할)
- (22) 출원일자 2019년06월11일
심사청구일자 2019년06월11일
- (65) 공개번호 10-2019-0068514
- (43) 공개일자 2019년06월18일
- (62) 원출원 특허 10-2019-0006064
원출원일자 2019년01월17일
심사청구일자 2019년01월17일
- (30) 우선권주장
61/471,624 2011년04월04일 미국(US)
61/598,054 2012년02월13일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP07197299 X2
JP2003510456 A
KR1020070027753 A
KR1020100051843 A

- (73) 특허권자
노벨러스 시스템즈, 인코포레이티드
미국, 94538 캘리포니아주, 프레몬트, 쿠싱 파크
웨이 4650
- (72) 발명자
메이어, 스티븐 티.
미국, 오레곤 97034, 레이크 오스웨고, 선다운 코
트 17867
포터, 데이빗 더블유.
미국, 오레곤 97140, 셔우드, 에스더블유 그린 헤
론 드라이브 17231
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인인벤싱크

전체 청구항 수 : 총 22 항

심사관 : 김재중

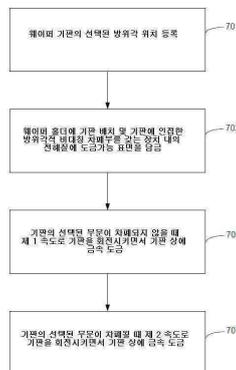
(54) 발명의 명칭 **맞춤형 균일도 프로파일을 위한 전기도금 장치**

(57) 요약

방위각 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, 일 형태에서, (a) 전기도금 중 기관을 회전 시키도록 구성되는 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계와, (b) 차폐부에 대해 기관을 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 크기 및 동일한 반

(뒷면에 계속)

대표도 - 도7



경 방향 위치를 갖는, 그리고, 서로 다른 방위각 위치에 놓이는, 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 차폐 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 반도체 웨이퍼 기관은, 기관의 선택된 부분이 차폐 영역을 통과할 때, 전기도금 중 느리거나 빠르게 회전할 수 있다.

(52) CPC특허분류

C25D 17/008 (2013.01)

C25D 17/06 (2013.01)

C25D 21/10 (2013.01)

C25D 21/12 (2013.01)

C25D 5/02 (2013.01)

C25D 5/022 (2013.01)

C25D 5/04 (2013.01)

C25D 7/12 (2013.01)

H01L 21/2885 (2013.01)

(72) 발명자

버칼루, 브라이언 엘.

미국, 오레곤 97062, 투알라틴, 에스더블유 헤지스
코트 10170

라시, 로버트

미국, 오레곤 97220, 포틀랜드, 엔이 스테이션 스트
릿 12014

명세서

청구범위

청구항 1

방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법에 있어서,

(a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성되는 전기도금 장치 내로 상기 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환하도록 그리고/또는 도네이팅하도록 구성된 방위각적 비대칭 보조 전극을 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계; 및

(b) 선택된 방위각 위치의 상기 기관의 선택된 부분이 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치 (average radial position) 를 갖고, 그리고, 서로 다른 방위각적 각도 위치에 놓이는, 상기 기관의 제 2 부분과 서로 다른 크기의 시간 동안 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접한 영역에 체류하도록, 상기 기관을 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 대해 회전시키는 동안 상기 기관 상에 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함하는, 금속 전기도금 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 C-형상인, 금속 전기도금 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 방위각적 전류 흐름 한정 구조 내에 있는, 금속 전기도금 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 분리된 챔버에 하우징되고 상기 보조 전극으로부터 도금 전류의 노출은 120도 미만의 아크 각도에 걸쳐 상기 기관의 주변부 근처의 셀의 영역 내로 전류를 전달하는 적어도 하나의 채널을 통해 이루어지는, 금속 전기도금 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 캐소드인, 금속 전기도금 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 애노드인, 금속 전기도금 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 전기도금 중 양극 및 음극으로 모두 바이어스되는, 금속 전기도금 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극과 상기 기관 사이의 거리는 상기 기관의 반경의 20% 이하인, 금속 전기도금 방

법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 단계 (b) 는 상기 기관의 상기 선택된 부분이 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접할 때 제 1 속도로 상기 기관을 회전시키고 상기 기관의 상기 선택된 부분이 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접하지 않을 때 제 2 속도로 상기 기관을 회전시키는 단계를 포함하며, 상기 기관의 한 번의 풀 회전은 상기 제 1 속도에서의 제 1 회전 주기와 상기 제 2 속도에서의 제 2 회전 주기를 포함하는, 금속 전기도금 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 2 속도는 상기 제 1 속도보다 느린, 금속 전기도금 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 단계 (b) 는 상기 기관을 양방향으로 회전시키는 단계를 포함하는, 금속 전기도금 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 기관의 상기 선택된 부분은 웨이퍼 노치에 인접한 영역, 웨이퍼 플랫 (wafer flat), 또는 한 세트의 방위각적 미싱 특징부들 (a set of azimuthally missing features) 을 포함하는, 금속 전기도금 방법.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 단계 (a) 이전에 상기 기관의 상기 선택된 부분의 상기 위치를 등록하는 단계를 더 포함하는, 금속 전기도금 방법.

청구항 14

기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 전기도금 장치에 있어서,

(a) 전해질, 애노드 및 방위각적 비대칭 보조 전극을 포함하도록 구성된 도금 챔버;

(b) 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더; 및

(c) 선택된 방위각 위치의 상기 기관의 선택된 부분이 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 갖는, 그리고, 서로 다른 방위각적 각도 위치에 놓이는, 상기 기관의 제 2 부분과 서로 다른 크기의 시간 동안 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접한 영역에 체류하도록, 상기 기관을 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 대해 회전시키는 동안 상기 기관 상에 상기 금속의 전기도금을 위한 프로그램 명령들을 포함하는 제어기를 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 C-형상인, 전기도금 장치.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 캐소드인, 전기도금 장치.

청구항 17

제 14 항에 있어서,
상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 애노드인, 전기도금 장치.

청구항 18

제 14 항에 있어서,
상기 방위각적 비대칭 보조 전극은 전기도금 중 양극 및 음극으로 모두 바이어스되는, 전기도금 장치.

청구항 19

제 14 항에 있어서,
상기 방위각적 비대칭 보조 전극과 상기 기관 사이의 거리는 상기 기관의 반경의 20% 이하인, 전기도금 장치.

청구항 20

제 14 항에 있어서,
상기 제어기는 상기 기관의 상기 선택된 부분이 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접할 때 제 1 속도로 상기 기관을 회전시키고 상기 기관의 상기 선택된 부분이 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접하지 않을 때 제 2 속도로 상기 기관을 회전시키기 위한 프로그램 명령을 포함하며, 상기 기관의 한 번의 풀 회전은 상기 제 1 속도에서의 제 1 회전 주기와 상기 제 2 속도에서의 제 2 회전 주기를 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 21

제 20 항에 있어서,
상기 제 2 속도는 상기 제 1 속도보다 느린, 전기도금 장치.

청구항 22

제 14 항에 있어서,
상기 제어기는 상기 선택된 방위각 위치의 상기 기관의 상기 선택된 부분이 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 갖는, 그리고, 서로 다른 방위각적 각도 위치에 놓이는, 상기 기관의 상기 제 2 부분과 서로 다른 크기의 시간 동안 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접한 상기 영역에 체류하도록, 상기 기관을 양 방향으로 회전시키기 위한 프로그램 명령들을 포함하는, 전기도금 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 웨이퍼 상에 금속층을 전기도금하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다. 특히, 여기서 개시되는 방법 및 장치는 도금 균일도를 제어하는 데 유용하다.

배경 기술

[0002] 집적 회로 제작에서 알루미늄으로부터 구리로의 전환은 (다마신 및 듀얼-다마신으로의) 프로세스 "구조"의 변화와, 완전히 새로운 프로세스 기술 세트를 요구하였다. 구리 다마신 회로를 생성하는 데 사용되는 한가지 공정 단계는 "시드-"(seed-) 또는 "스트라이크-"(strike-) 층의 형성으로서, 이는 그 후 구리의 전기도금("전계층진")을 위한 베이스층으로 사용된다. 시드층은 (전기적 접촉이 이루어지는) 웨이퍼의 에지 영역으로부터 웨이퍼 표면 간에 위치하는 모든 트렌치 및 비아 구조까지 전기도금 전류를 운반한다. 시드 필름은 얇은 전도성 구리층인 것이 일반적이다. 시드 필름은 장벽층에 의해 절연성 실리콘 다이옥사이드로부터 또는 다른 유전체로부터 분리된다. 시드층 증착 프로세스는, 전체 접착도가 우수하고 스텝 커버리지가 양호하며(특히, 매립된 구조의 측벽 상에 등각(conformal)/연속 양의 금속 증착) 매립된 특징부 위의 단협 또는 "네킹"이 최소한으로 유지되는 층을 도출하여야 한다.

[0003] 점차 작은 특징부 및 대안의 시딩 프로세스를 추구하는 시장 경향은 점점 얇게 시딩된 웨이퍼 상에 고도의 균일도로 도금하는 기능에 대한 필요성을 유도한다. 미래에는 시드 필름이 단순히 알루미늄과 같은 도금가능한 장벽

필름으로 구성되거나, 매우 얇은 장벽층 및 구리(예를 들어, 원자층 증착(ALD) 또는 유사 프로세스에 의해 증착됨)의 양층(bilayer)으로 구성될 것으로 예상된다. 이러한 필름은 작업자에게 극도의 단자 효과 상황을 제시한다. 예를 들어, 3암페어 총 전류를 균일하게 단위 면적당 30오옴 루테늄 시드층(30-50 옴스트롬 필름에 대한 근사 값)에 유도할 때, 금속 내 결과적인 중심-에지(반경 방향) 전압 강하는 2볼트가 넘을 것이다. 넓은 표면적을 효과적으로 도금하기 위해, 도금 틀은 웨이퍼 기관의 에지 영역에 있는 전도성 시드에만 전기적 접촉을 이룰 것이다. 기관의 중앙 영역에는 어떤 직접적 접촉도 존재하지 않는다. 따라서, 고-저항 시드층의 경우에, 층 에지의 전위는 층 중앙 영역보다 훨씬 높을 것이다. 적절한 저항 및 전압 보상 수단없이, 이와 같이 큰 에지-중앙 전압 강하는 매우 불균일한 도금 속도와 불균일한 도금 두께 분포를 야기할 수 있고, 특히, 웨이퍼 에지에서 두꺼운 도금으로 나타날 수 있다. 이렇나 도금 불균일성은 반경 방향 불균일성으로서, 원형 웨이퍼의 반경을 따라 균일도 변화를 나타낸다.

[0004] 완화되어야 할 다른 타입의 불균일성은 방위각 불균일성이다. 명료한 설명을 위해, 우리는 극좌표를 이용하여 방위각 불균일성을, 웨이퍼 중심으로부터 고정된 반경 위치에서 워크피스 상의 서로 다른 각도에 나타나는 두께 변화(즉, 주어진 원을 따른, 또는 웨이퍼 주변부 내의 원의 일부분을 따른 불균일성)로 규정한다. 이러한 타입의 불균일성은 반경 방향 불균일성에 관계없이 전기도금 응용 분야에 나타날 수 있고, 일부 응용분야에서는, 제어되어야 할 지배적 타입의 불균일성일 수 있다. 이는 관통 레지스트 도금에서 자주 나타나는 데, 웨이퍼의 주된 부분이 포토레지스트 코팅 또는 유사 도금 방지 층으로 마스킹되고, 특징부 또는 특징부 밀도의 마스킹된 패턴이 웨이퍼 에지 근처에서 방위각적으로 균일하지 않다. 예를 들어, 일부 경우에, 웨이퍼 넘버링(wafer numbering) 또는 조작(handling)을 가능하게 하도록 웨이퍼 노치 근처에서 미싱(missing) 패턴 특징부의 기술적으로 요구되는 코드-영역(chord-region)이 존재할 수 있다. 미싱 영역에서 반경 방향으로 그리고 방위각적으로 가변적인 도금 속도는 칩 다이가 기능하지 못하게 만들 수 있고, 따라서, 이러한 상황을 회피하기 위한 방법 및 장치가 필요하다.

[0005] 웨이퍼 레벨 패키징(WLP) 및 관통 실리콘 비아(TSV) 전기적 연결 기술로 일반적으로 알려져 있는 정교한 패키징 및 멀티칩 인터커넥션 기술에 대한 상업적 필요성을 충족시키기 위해 전기화학적 증착이 이제 제시된다.

[0006] 이러한 기술은 다마신 응용 분야보다 훨씬 큰 규모의 전기도금을 요한다. 패키징 특징부의 타입 및 응용 분야에 따라, 도금된 특징부는 일반적으로, 현재 기술에서, 직경이 약 2 마이크로미터보다 크고, 일반적으로는 직경이 5 내지 100 마이크로미터 범위 내에 있다(예를 들어, 필라(pillar)가 약 50 마이크로미터일 수 있다). 파워 버스와 같은 일부 온-칩 구조의 경우, 도금될 특징부는 100마이크로미터보다 클 수 있다. WLP 특징부의 종횡비는 일반적으로 약 2:1(높이:폭) 또는 그 미만이며, 더욱 일반적으로는 1:1 또는 그 미만이며, 반면에 TSV 구조는 매우 높은 종횡비(예를 들어, 약 10:1 또는 20:1 인근)를 가질 수 있다.

[0007] 비교적 많은 양의 물질이 증착되어야 할 때, 특징부 크기만이 아니라 도금 속도 역시 WLP 및 TSV 응용 분야를 다마신 응용 분야로부터 차별화시킨다. 여러 WLP 응용 분야의 경우, 도금은 적어도 약 2 마이크로미터/분의 속도로, 일반적으로는 적어도 약 4 마이크로미터/분의 속도로, 그리고 일부 응용 분야의 경우 적어도 약 7 마이크로미터/분의 속도로 특징부를 충전하여야 한다. 실제 속도는 증착되는 특정 물질에 따라 다를 것이다. 그러나 이와 같이 높은 도금 속도 영역에서, 도금 표면으로 전해질 내 금속 이온의 효율적 매스 이동은 매우 중요하다. 높은 도금 속도는 전계증착되는 층의 균일도와 관련하여 문제점을 제시한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 도금 균일도, 특히 방위각적 불균일성, 반경 방향 불균일성, 또는 두가지 모두를 제어하기 위한 방법 및 장치가 설명된다. 여기서 설명되는 장치 및 방법은 TSV 또는 WLP 요홈 특징부를 갖는 반도체 웨이퍼 기관을 포함한, 다양한 기관 상에서 전기도금에 사용될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 일부 실시예에서, 비대칭 도금 워크피스(방위각적으로 불균일한 패턴처리를 갖는 웨이퍼와 같이, 도금될 노출 영역이 비대칭인 기하학적으로 대칭인 워크피스 기관을 포함)를 전기도금하기 위한 방법이 제공된다. 비대칭성은 기관의 순수한 기하학적 비대칭성(가령, 노치의 존재, 또는, 코드를 따른 플랫 영역 절단부)만을 언급하는 것이 아니라, 기관 상의 특징부 내의 비대칭성까지도 의미하며, 이는 도금 중 원하지 않는 이온 전류 밀집을 야기할 수 있고, 웨이퍼의 소정의 방위각 영역에서 도금을 증가시킬 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 전기

도금은 미싱 다이(missing die)를 갖는 기관 상에서 수행된다. 이러한 기관 상에서의 전기도금은 미싱 특징부 및 미싱 다이를 갖는 영역과 같이, 주변부에서 방위각적 가변 패턴처리 불연속부에 인접하여 놓인 영역에서 전류 밀집을 이끌게 되고, 따라서, 이 영역에서 도금 불균일성이 나타나게 된다.

- [0010] 일부 실시예에서, 제공되는 방법 및 장치는 적어도 반경 방향 위치 중 하나에서, 다른 방위각 위치에 비해 일부 방위각 위치에서 더 큰 각도로 도금 전류로부터 차폐를 제공하는 차폐부, 즉, 방위각적 비대칭 차폐부를 이용한다.
- [0011] 일부 실시예에서, 제공되는 방법 및 장치는 방위각적 비대칭 보조 전극, 즉, 도금 전류를 전환시키거나(보조 캐소드 또는 시브), 도금 전류를 도네이팅시키거나(보조 애노드), 또는 서로 다른 시점에서 도금 전류를 도네이팅 및 전환(애노드/캐소드라 불림)시키도록 구성되는 전극을 이용하며, 전극들은 다른 위치에 비해 일부 방위각 위치에서 더 큰 정도로 전류를 지배적으로 수정하는 등과 같이 성형되거나 한정된다.
- [0012] 방위각적 비대칭 전극의 일례는 C-형상 전극(캐소드, 애노드, 또는 애노드/캐소드)다. C-형상 전극은 일부 실시예에서, 웨이퍼 기관에 비교적 가까이 위치하고(가령, 웨이퍼 반경의 0.2배 이하의 거리 내에), 전력 공급원 및 컨트롤러에 전기적으로 연결되며, 상기 컨트롤러는 일부 실시예에서, 웨이퍼의 회전과 상관하여 여기되는 전극을 제공한다. 일부 실시예에서, C-형상 전극의 본체는 약 120도 미만의 길이, 가령, 약 90도 미만의 길이를 갖는 것이 바람직하다.
- [0013] 일 형태에서, 제공되는 방법 및 장치는 방위각적 비대칭 차폐부 및/또는 방위각적 비대칭 보조 전극 및/또는 멀티-세그먼트된 보조 전극을 이용하며, 웨이퍼의 회전은, 웨이퍼의 서로 다른 각도(방위각) 위치가 보조 전극 또는 그 세그먼트에 인접한 영역에서 또는 차폐 영역에서 서로 다른 체류 시간을 갖도록, 조정된다.
- [0014] 따라서, 예를 들어, 미싱 다이 영역이 평균적으로, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 갖는 서로 다른 방위각 위치에서 웨이퍼의 대응부보다 비교적 더 차폐된 영역에서 평균적으로 더 많은 시간을 보낸다.
- [0015] 다른 형태에서, 제공되는 방법 및 장치는 방위각적 비대칭 보조 전극 및/또는 멀티-세그먼트된 보조 전극을 이용하며, 전극은 웨이퍼의 회전과 상관하여 여기되어, 웨이퍼의 서로 다른 각도 위치가 보조 전극(또는 전극 세그먼트)에 의해 도네이팅되거나 및/또는 전환되는 서로 다른 양의 도금 전류에 노출되게 된다.
- [0016] 예를 들어, C-형상 보조 전극은 회전하는 웨이퍼와 상관하여 여기될 수 있고, 예를 들어, 웨이퍼의 미싱 다이 영역이 C-형상 전극의 인근을 통과할 때 전극이 제 1 레벨에서 여기될 수 있고, 웨이퍼의 다른 방위각(각도) 위치가 웨이퍼 회전 중 그 근접 영역을 통과할 때 반대 극성을 갖도록 여기되거나 여기되지 않거나 서로 다른 레벨로 연기된다. "각도 위치" 및 "방위각 위치"는 동의어이며 상호교환가능하게 사용될 수 있다.
- [0017] 여기서 설명되는 모든 2차 또는 보조 전극은 애노드, 또는 캐소드, 또는 애노드 및 캐소드 모두일 수 있다. 애노드는 산소 가스를 발생시키는 비활성 애노드 또는 치수적으로 안정한 애노드일 수도 있고, 또는, 금속 이온을 생성하는 금속 애노드일 수도 있다. 캐소드는 그 표면 상에 금속 도금을 가질 수 있고, 또는, 수소 방출과 같은 또 다른 음극 반응을 진행할 수 있다(가령, 도금가능 금속 이온이 전극 표면으로부터 배제될 경우). 전극은, 일부 실시예에서, 프로세스들 중 2개 이상을 조합하여, 웨이퍼 도금 사이클(애노드/캐소드) 중 시간 상으로 변화한다. 따라서, 여기서 설명되는 일부 실시예가 시프 캐소드(thief cathode)에 의해 예시되지만, 모든 이러한 실시예들이 시프 캐소드에만 이용되는 것이 아니라, 애노드(도금 전류를 도네이팅하도록 구성된 양으로 바이어스된 전극)와 애노드/캐소드(서로 다른 시점에 음으로 그리고 양으로 모두 바이어스될 수 있는 전극)를 포함하는 다른 타입의 보조 전극에도 이용될 수 있다. 보조 전극은 웨이퍼의 회전의 일부분동안 또는 연속적으로 여기될 수 있다.
- [0018] 더욱이, 설명되는 각각의 방법과 함께 언급되지는 않았으나, 각각의 방법은 전기도금 이전에 기관의 요망 방위각 위치가 등록되는 작업을 포함하며, 이에 따라 그 위치가 알려지고, 장치가 전기도금의 경로 중 이러한 구체적 위치에 적절한 도금 전류 교정을 제공하도록 프로그래밍될 수 있다. 선택된 각도 위치의 등록은 전기도금 장치에서, 또는 전기도금의 해당 시점까지 레코딩된 위치가 알려진 상태로 유지되는 한, 다른 장치에서 수행될 수 있다.
- [0019] 일 형태에서, 방위각 균일도를 제어하면서 음극으로 바이어스된 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성되는 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 장치는 애노드와, 고정된 방위각적 비대칭 보조 전극을 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 기관을 회전시키면서, 그리고, 기관의 회전과 상관하여 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 전력을 제공하면서, 기관 상에 금속

을 전기도금하는 단계로서, 상기 방위각적 비대칭 보조 전극은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 갖는, 그리고, 서로 다른 방위각적 각도 위치에 놓이는, 기관의 제 2 부분으로와는 다르게 기관의 선택된 방위각 위치에서 기관의 제 1 부분으로 도금 전류를, 전환, 또는, 도네이팅(donating), 또는 전환 및 도네이팅하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0020] 보조 전극에 요망 전력을 제공하는 단계는 보조 전극에 전기적으로 연결된 전력 공급원으로부터 전류, 전압, 또는 이들의 조합을 제어함으로써 달성될 수 있다. 보조 전극은 선택된 방위각 위치가 그 근접 부분을 통과할 때 서로 다른 전류가 인가되도록 여기될 수 있고, 웨이퍼의 다른 각도 위치가 근접 부분을 통과할 때 보조 전극이 다른 레벨의 전류에 의해 여기되거나 아예 여기되지 않거나 다른 극성으로 여기될 수 있다. 일반적으로, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 보조 전극은 적어도 2개의 개별적 상태를 통과한다(가령, 서로 다른 레벨의 전류에 의해 여기되거나, 서로 다른 극성으로 여기되거나, 또는 여기/비-여기 상태를 갖는다).

[0021] 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 전극은 C-형상이다. 일부 실시예에서, 전극은 방위각적 전류 한정 구조 내에 위치할 수 있다. 한정 구조가 C-형상에 근사하는 도금 전류의 노출을 제공할 경우, 보조 전극 자체는, 보조 전극에 의해 도금 전류의 수정이 한정 구조에 의해 생성되는 노출에 의해 통제될 것이기 때문에 다양한 형상을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 보조 전극은 별도의 챔버에 하우징되고, 보조 전극으로부터 도금 전류의 노출은 약 120도 미만의 아크 각도에 걸쳐 기관의 주변부 근처에서 셀의 영역 내로 전류를 전달하는 적어도 하나의 채널을 통해 이루어진다.

[0022] 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 보조 전극은 음극으로 바이어스되고, 전기도금 중 기관의 서로 다른 방위각 위치로부터 서로 다른 양의 도금 전류를 전환하도록 구성된다. 예를 들어, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극은 (웨이퍼 회전의 선택된 각도 위치가 근접 부분을 통과할 때) 제 1 레벨의 음극 전류를 수용하고, 그 후 (다른 각도 위치가 그 근접 부분을 통과할 때) 제 2 레벨의 전류를 수용할 수 있다. 다른 예로서, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극이 (회전 웨이퍼의 선택된 각도 위치가 근접 부분을 통과할 때) 제 1 레벨의 음극 전류를 수용할 수 있고, 그 후 (다른 각도 위치가 그 근접 부분을 통과할 때) 비-여기 상태로 유지될 수 있다.

[0023] 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 보조 전극은 양극으로 바이어스되어, 전기도금 중 기관의 서로 다른 방위각 위치에 서로 다른 양의 도금 전류를 도네이팅하도록 구성된다. 예를 들어, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극은 (회전 웨이퍼의 선택된 각도 위치가 그 근접 부분을 통과할 때) 제 1 레벨의 양극 전류를 수용할 수 있고, 그 후 (다른 각도 위치가 그 근접 부분을 통과할 때) 제 2 레벨의 전류(높거나 낮은)를 수용할 수 있다. 다른 예에서, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극은 제 1 레벨의 양극 전류를 수용할 수 있고, 그 후, 비-여기 상태로 유지될 수 있다.

[0024] 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 보조 전극은 전기도금 중 양극 및 음극으로 모두 바이어스되어, 기관 상에서 제 1 방위각 위치로부터 도금 전류를 전환하도록, 그리고, 기관 상의 제 2 방위각 위치로 도금 전류를 도네이팅하도록 구성된다. 예를 들어, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극은 제 1 레벨의 양극 전류를 수용할 수 있고, 그 후 소정 레벨의 음극 전류를 수용할 수 있다. 이러한 애노드/캐소드가, 필요에 따라 보조 전극의 극성을 변화시키도록 구성되는 쌍극성 전력 공급원에 전기적으로 연결되는 것이 일반적이다.

[0025] 일부 실시예에서, 전기도금 장치는 모든 방위각 위치에서 기관의 주변부를 차폐하는 차폐부를 포함하고, 방위각적 비대칭 보조 전극은 기관의 한번의 풀 회전의 적어도 일부 시간동안 양극으로 바이어스되어, 기관 상의 선택된 방위각 위치로 전류를 도네이팅하도록 구성된다. 방위각적 대칭 차폐부를 이용함으로써, 웨이퍼의 전체 주변부는 도금 전류가 결여될 수 있고, 이는 보조 애노드에 의해, 서로 다른 각도 위치로 서로 다른 레벨로 도금 전류를 도네이팅함으로써 교정될 수 있다.

[0026] 다른 형태에서, 음극으로 바이어스된 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성되는 전기도금 장치에 기관을 제공하는 단계로서, 상기 장치는 기관에 인접한 위치에서 방위각적 비대칭 보조 애노드 또는 멀티-세그먼트된 애노드를 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 기관을 회전시키면서, 그리고, 기관에 전류를 도네이팅하도록 실질적으로 일정한 레벨로 상기 방위각적 비대칭 보조 애노드에 전력을 제공하면서, 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0027] 다른 형태에서, 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 전기도금 장치가 제공되며, 상기 장치는, (a) 전해질, 애노드, 및 방위각적 비대칭 보조 전극을 구비하도록 구성된 도금 챔버와, (b) 상기 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더와, (c) 기관을 회전시키면서, 그리고, 기관의 회전과 상관하여 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 전력을 제공하면서, 상기 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컨트롤러로서, 상기 방위

각적 비대칭 보조 전극은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분으로와는 다르게 기관의 선택된 방위각 위치에서 기관의 제 1 부분으로 도금 전류를 전환, 또는 도네이팅, 또는 전환 및 도네이팅하게 되는, 상기 컨트롤러를 포함한다. 일부 실시예에서, 이 장치는 스테퍼를 추가로 포함하는 포토리소그래피 공정용으로 구성된 시스템에 일체화된다.

[0028] 다른 형태에서, 전기도금 장치의 제어를 위한 프로그램 명령을 포함하는 비-일시적 컴퓨터 기계-판독형 매체가 제공되며, 상기 프로그램 명령은, 기관을 회전시키면서, 그리고, 기관의 회전과 상관하여 방위각적 비대칭 보조 전극에 전력을 제공하면서, 상기 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 코드를 포함하며, 상기 방위각적 비대칭 보조 전극은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분으로와는 다르게 기관의 선택된 방위각 위치에서 기관의 제 1 부분으로 도금 전류를 전환, 또는 도네이팅, 또는 전환 및 도네이팅하게 된다.

[0029] 일부 실시예에서, 여기서 제공되는 방법은 포토리소그래픽 공정을 포함하는 일반 공정 기법 내에 통합되며, 기관에 포토레지스트를 도포하는 단계, 포토레지스트를 노광시키는 단계, 포토레지스트를 패턴처리하여 패턴을 워크피스에 전이하는 단계, 그리고, 워크피스로부터 포토레지스트를 선택적으로 제거하는 단계를 더 포함한다. 일부 실시예에서, 포토레지스트는 전기도금 이전에 도포되고 패턴처리되며, 전기도금 이후 제거된다.

[0030] 다른 형태에서, 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 전기도금 장치가 제공되며, 상기 장치는, (a) 전해질을 함유하도록 구성된 도금 챔버와, (b) 전기도금 중 기관을 홀딩 및 회전시키도록 구성된 기관 홀더와, (c) 애노드와, (d) 전기도금 중 양극으로 그리고 음극으로 바이어스되도록 구성된 방위각적 비대칭 보조 전극을 포함한다.

[0031] 다른 형태에서, 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 전기도금 장치가 제공되며, 상기 장치는, (a) 전해질을 함유하도록 구성된 도금 챔버와, (b) 전기도금 중 기관을 홀딩 및 회전시키도록 구성된 기관 홀더와, (c) 애노드와, (d) 상기 기관의 주변부에서 전류를 차폐하도록 구성된 차폐부와, (e) 상기 기관 상의 선택된 방위각 위치에서 상기 기관의 차폐된 주변부에 전류를 도네이팅하도록 구성된 방위각적 비대칭 보조 애노드를 포함한다.

[0032] 다른 형태에서, 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 전기도금 장치가 제공되며, 상기 장치는, (a) 전해질을 함유하도록 구성된 도금 챔버와, (b) 전기도금 중 기관을 홀딩 및 회전시키도록 구성된 기관 홀더와, (c) 애노드와, (d) 전기도금 중 양극 및 음극으로 모두 바이어스되도록 구성된 멀티-세그먼트된 보조 전극을 포함한다.

[0033] 다른 형태에서, 방위각적 균일도를 유지하면서 음극으로 바이어스된 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내에 기관을 제공하는 단계로서, 상기 장치는 제 1 애노드와, 보조 애노드 및 보조 캐소드로 모두 기능하도록 구성된 멀티-세그먼트된 보조 전극 또는 멀티-세그먼트된 보조 애노드를 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와,

[0034] (b) 기관을 회전시키면서, 그리고, 기관의 회전과 상관하여 상기 멀티-세그먼트된 보조 전극 또는 멀티-세그먼트된 보조 애노드의 세그먼트에 전력을 제공하면서, 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 상기 애노드는, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분으로와는 다른 레벨로, 기관의 선택된 방위각 위치에서 기관의 제 1 부분에 도금 전류를 도네이팅하게 되고, 또는, 상기 보조 전극이 상기 제 1 부분에 전류를 도네이팅하게 되고 상기 제 2 부분으로부터 전류를 전환하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0035] 다른 형태에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계와, (b) 차폐부에 대해 기관을 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 상기 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분에 비해 서로 다른 크기의 시간동안 차폐 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0036] 예를 들어, 기관은 기관의 선택된 부분이 덜 차폐될 때 제 1 속도로 회전할 수 있고, 기관의 선택된 부분이 더 차폐될 때 제 2 속도로 회전할 수 있으며, 기관의 한번의 풀 회전은 제 1 속도에서의 제 1 회전 주기와, 제 2 속도에서의 제 2 회전 주기를 포함한다. 일부 실시예에서, 제 2 속도는 제 1 속도보다 느리며, 즉, 웨이퍼의 선택된 각도 위치가 더 차폐된 영역을 통과할 때 기관의 속도가 느려진다. 더욱 구체적인 예에서, 제 1 속도는 적어도 약 20rpm이고, 제 2 속도는 약 10rpm 미만이며, 기관은 전기도금 과정 중 적어도 약 5회의 가변 속도 풀 회전을 행한다.

[0037] 일부 실시예에서, 차폐 영역에서의 서로 다른 체류 시간은 일정 속도로 양방향으로 기관을 회전시킴으로써 달성된다. 양방향 회전은, 웨이퍼의 선택된 각도 위치가 다른 각도 위치에 비해 차폐된 영역에서 더(또는 덜) 많은

시간을 보내도록 구성된다.

- [0038] 바람직한 경우, 차폐부와 기관의 도금가능 표면 간의 거리는 기관 반경의 약 0.1 이하다. 일부 실시예에서, 차폐부와 기관의 도금가능 표면 간의 거리는 약 4mm 이하다.
- [0039] 일부 실시예에서, 상기 전기도금 장치는 평탄한 표면을 갖는 이온 저항성 이온 투과성 요소를 더 포함하며, 상기 평탄한 표면은 전기도금 중 상기 기관의 도금면에 실질적으로 평행하게 약 10mm 이하의 거리만큼 기관의 도금면으로부터 이격되며, 상기 요소는 복수의 비-연통 구멍을 갖는다. 일부 실시예에서, 상기 차폐부는 이온 저항성 이온 투과성 요소의 구멍 중 일부를 가리는 방위각적 비대칭 차폐부이고, 또는, 상기 차폐부는 방위각적 비대칭 구멍 분포를 갖는 이온 저항성 이온 투과성 요소다.
- [0040] 일 형태에서, 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 전기도금 장치가 제공되며, 상기 장치는, (a) 전해질 및 차폐부를 구비하도록 구성된 도금 챔버와, (b) 상기 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더와, (c) 상기 차폐부에 대해 기관을 회전시키면서 상기 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컨트롤러로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 차폐 영역에 체류하게 되는, 상기 컨트롤러를 포함한다. 다른 형태에서, 이러한 장치 및 스테퍼를 포함하는 시스템이 제공된다.
- [0041] 다른 형태에서, 전기도금 장치의 제어를 위한 프로그램 명령을 포함하는 비-일시적 컴퓨터 기계-판독형 매체에 있어서, 상기 프로그램 명령은, 차폐부에 대해 기관을 회전시키면서, 상기 기관 상에 금속을 전기도금하기 위한 코드를 포함하며, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 차폐 영역에 체류하게 된다.
- [0042] 다른 형태에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환, 또는 도네이팅, 또는, 전환 및 도네이팅하도록 구성된 멀티-세그먼트된 보조 전극을 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 고정된 멀티-세그먼트된 보조 전극에 대해 기관을 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 상기 보조 전극의 세그먼트에 인접한 영역에 체류하며, 상기 보조 전극의 적어도 하나의 세그먼트는 다른 세그먼트와는 다르게 도금 전류를 전환, 또는, 도네이팅, 또는, 전환 및 도네이팅하는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 세그먼트 중 하나는 다른 세그먼트와는 다른 레벨로 전류를 수용할 수 있고, 또는, 세그먼트 중 하나가 다른 세그먼트들과는 반대의 극성을 가질 수 있다.
- [0043] 다른 형태에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환, 또는 도네이팅, 또는, 전환 및 도네이팅하도록 구성된 방위각적 비대칭 보조 전극을 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 방위각적 비대칭 보조 전극에 대해 기관을 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 상기 방위각적 비대칭 보조 전극에 인접한 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.
- [0044] 다른 실시예에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환하도록 구성된 회전가능한 멀티-세그먼트된 시프 캐소드를 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 상기 기관과 상기 시프 캐소드를 동일 속도로 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 상기 시프 캐소드의 세그먼트에 인접한 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.
- [0045] 다른 실시예에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환하도록 구성된 회전가능한 방위각적 비대칭 시프 캐소드를 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 상기 기관과 상기 시프 캐소드를 동일 속도로 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택

된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 상기 시프 캐소드에 인접한 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0046] 다른 실시예에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환하도록 구성된 회전가능한 멀티-세그먼트된 보조 애노드, 또는, 애노드 및 캐소드 모두로 기능하도록 구성된 회전가능한 멀티-세그먼트된 보조 전극을 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 상기 기관과 상기 멀티-세그먼트된 보조 애노드 또는 멀티-세그먼트된 보조 전극을 동일 속도로 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 상기 전극 또는 상기 애노드의 세그먼트에 인접한 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0047] 다른 실시예에서, 방위각적 균일도를 제어하면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 방법은, (a) 전기도금 중 기관을 회전시키도록 구성된 전기도금 장치 내로 기관을 제공하는 단계로서, 상기 전기도금 장치는 전기도금 중 전류를 전환하도록 구성된 회전가능한 방위각적 비대칭 애노드, 또는, 전기도금 중 전류를 전환 및 도네이팅하도록 구성된 회전가능한 방위각적 비대칭 애노드/캐소드를 포함하는, 상기 기관을 제공하는 단계와, (b) 상기 기관과 상기 애노드 또는 상기 애노드/캐소드를 동일 속도로 회전시키면서 기관 상에 금속을 전기도금하는 단계로서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은, 동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가지면서 서로 다른 방위각 위치에 놓이는 기관의 제 2 부분과는 다른 크기의 시간 동안 상기 애노드 또는 상기 애노드/캐소드 인접한 영역에 체류하게 되는, 상기 금속을 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0048] 일부 실시예에서, 여기서 제시되는 모든 방법은 전기도금의 과정 중 제거된 세그먼트를 갖는 일반적으로 환형체를 가진 차폐부를 회전시키는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 차폐부는 상기 웨이퍼에 인접하여 위치한다. 이는 전해질이 차폐부의 개구부의 방향으로 웨이퍼 표면에서 횡방향으로 이동하는 경향을 갖기 때문에 웨이퍼 인 근에서 전해질의 흐름을 최적화시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 흐름 전환기는 웨이퍼 회전 속도와는 다른 속도로 회전하여, 흐름 패턴의 무작위화를 최대화시킬 수 있다.

[0049] 여기서 개시되는 모든 방법의 경우, 기관의 선택된 부분은 웨이퍼 노치에 인접한 영역, 웨이퍼 플랫폼(wafer flat), 또는 한 세트의 방위각적 미싱 특징부(a set of azimuthally missing features)를 포함하며, 이는 전기도금 이전에 (가령, 광학 정렬기에 의해) 등록된다. 일부 실시예에서, 전기도금은 TSV 또는 WLP 공정 중 요홈형 특징부를 충전하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0050] 도 1A-1B는 웨이퍼 회전과 상관하여 여기되는 다-분절 시프 캐소드(multi-segmented thief cathode)의 존재 하에 회전하는 비대칭 웨이퍼의 개략적 평면도를 도시한다.

도 2A-2B는 방위각적으로 비대칭인 차폐부로 기능하는 비-연통 구멍이 서로 다르게 분포된 비대칭 판의 평면도를 도시한다.

도 3A는 비-연통 구멍과 차폐부를 갖는 판의 도면을 도시한다.

도 3B는 웨이퍼 및 웨이퍼 홀더와 관련하여, 도 3A에 도시된 조립체의 단면도를 도시한다.

도 4A는 비-연통 구멍을 갖는 판 위에 위치하는 방위각적으로 비대칭인 다양한 차폐부의 평면도를 도시한다.

도 4B는 반경 방향 불균일성을 교정하도록 추가적으로 구성된 차폐부를 도시한다.

도 5A-5F는 여기서 제시되는 실시예에 따른 차폐부를 도시한다.

도 6은 방위각적으로 비대칭인 차폐부를 지닌 시스템에서 양방향으로 회전하는 웨이퍼의 평면도다.

도 7은 일 실시예에 따른 프로세스의 순서도다.

도 8은 일 실시예에 따른 프로세스의 순서도다.

도 9는 여기서 제시되는 실시예에 따른 전기도금 장치의 개략적 단면도다.

도 10A-10C는 웨이퍼 회전과 상관하여 여기되는, C-형상 보조 전극을 갖는 장치에서 비대칭 웨이퍼의 회전을 도시한다.

도 11은 한정 구조에 방위각적으로 비대칭인 보조 전극을 갖는 도금 셀의 개략적 평면도를 도시한다.

도 12는 여기서 제시되는 실시예에 따른 C-형상 보조 전극을 하우징하는 구조의 등각 투상도다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0051] 전기도금층의 균일도(가령, 방위각적 균일도, 및/또는 반경 방향 균일도)를 제어하면서 기판에 금속을 전기도금하기 위한 방법 및 장치가 제공된다.
- [0052] 기판이 반도체 웨이퍼인 실시예가 일반적으로 설명되지만, 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 제공되는 장치 및 방법은 TSV 및 WLP 응용 분야의 금속 전기도금에 유용하지만, 다마신 특징부의 구리 증착을 포함한, 다양한 다른 전기도금 프로세스에도 사용될 수 있다. 제공되는 방법을 이용하여 전기도금될 수 있는 금속의 예는 구리, 주석, 주석-납 조성물, 주석-은 조성물, 니켈, 코발트, 니켈 및/또는 코발트 합금(텅스텐 포함 가능), 주석-구리 조성물, 주석-은-구리 조성물, 금, 팔라듐, 및 이러한 금속 및 조성물을 포함하는 다양한 합금을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0053] 전형적인 전기도금 프로세스에서, 표면 상에 하나 이상의 요홈 특징부를 가질 수 있는 반도체 웨이퍼 기판이 웨이퍼 홀더 내로 배치되고, 그 도금가능한 표면은 전기도금 배스 내에 담긴 전해질 내로 잠긴다. 웨이퍼 기판은 음성으로 바이어스되어, 전기도금 중 캐소드로 기능하게 된다. 전해질에 담겨진 도금가능한 금속의 이온(가령, 상술한 금속의 이온)은 전기도금 중 음성으로 바이어스된 기판의 표면에서 환원되고, 따라서, 도금된 금속층을 형성한다. 전기도금 중 일반적으로 회전하는 웨이퍼는 웨이퍼 표면에 존재하는 방위각적 비대칭성을 포함한, 다양한 이유로 불균일할 수 있는 전기장(전해질의 이온 전류장)을 받게 된다. 이는 금속의 불균일 증착을 야기할 수 있다.
- [0054] 여기서 제공되는 전기도금 장치는 전기도금 중 기판을 홀딩 및 회전시키도록 구성된 기판 홀더와, 전해질 및 애노드를 홀딩하도록 구성된 도금 배스와, 웨이퍼 기판에 전기적으로 연결된 음극자 및 상기 애노드에 전기적으로 연결된 양극자를 갖는 전력 공급원을 일반적으로 포함한다. 장치는 차폐부와 같은 하나 이상의 요소와, 도금 중 균일한 프로파일을 재단하도록 구성된 보조 전극(캐소드, 애노드, 또는 애노드/캐소드)을 더 포함한다. 장치는, 일부 실시예에서, 도금 균일도를 제어할 수 있는 방식으로 기판의 회전 속도 및/또는 회전 방향을 변화시키는 등과 같이, 여기서 개시되는 방법을 수행하기 위한 프로그램 명령을 갖는 컨트롤러를 더 포함한다. 일부 실시예에서, 컨트롤러는 웨이퍼 회전과 상관하여 보조 전극을 여기시키기 위한 프로그램 명령을 더 포함한다.
- [0055] 본 발명은 도금 균일도를 제어하기 위한, 특히, 반경 방향 불균일성뿐 아니라, 방위각적 불균일성까지도 제어하기 위한, 방법 및 장치에 관련된다. 방위각적 불균일성은 다수의 방식으로 발생할 수 있다. 일례에서, 반도체 웨이퍼는 예를 들어, 프로세스 조작 중 등록 용도로, 코드(chord)(가령, JEDA 웨이퍼)를 따라 절단되고 노치를 갖는다. 이러한 코드 또는 노치는 웨이퍼에 방위각적 불균일성을 구성한다. 웨이퍼가 회전하여 도금 전계에 노출됨에 따라, 코드 또는 노치를 따르는 웨이퍼의 에지는 동일한 고리(즉, 동일한 반경 방향 위치)를 따라 웨이퍼의 다른 대응 영역과는 다른 전계 강도에 노출된다. 도금 중, 웨이퍼의 중심 영역을 향해 내향으로 진행되는 코드 또는 노치의 에지로부터 방위각적 불균일성이 존재할 것이다. 다른 예로서, 소자 특징부로 패터닝된 웨이퍼 상에 시드층이 일반적으로 증착되고, 또는, 소자 특징부들이, (각도 등록을 위한 노치를 예외로 할 때) 실질적으로 둥근 웨이퍼 상의 시드층 위에 놓이는 포토레지스트층에서 패터닝된다. 이러한 소자 특징부들은 일련의 장방형 다이(일레임)로 반복되는 것이 일반적이다. 웨이퍼 자체가 둥글기 때문에, 모든 다이 소자 특징부 또는 패터를 갖는 완전한 다이를 위한 공간이 충분치 못한(또는 전체적으로 보았을 때 토포그래피가 특징부의 토포그래피와 완전히 다른) 웨이퍼 에지 영역이 불가피하게 존재한다. 이 때문에, 특징부가 없는 영역(예를 들어, 노출되지 않고 패터닝되지 않은 레지스트)과 특징부가 있는 영역들 사이에 불가피하게 경계부가 존재한다. 따라서, 웨이퍼의 주변부 내에 주어진 고리를 따라, 일반적으로 웨이퍼의 주변부를 향해, 특징부 있는 표면 및 특징부없는 표면을 지닌 영역들과 같이 특징부 패터닝에 변화가 존재한다. 특징부 있는 영역과 특징부없는(또는 토포그래피가 다른) 영역 사이에 경계부가 존재하기 때문에, 전류 흐름의 라인 및 전기장이 특정 토포그래피 상에 소정의 방식으로 도금되도록 재단된다는 점으로 인해, 및/또는 이러한 경계부에서 도금 셀의 전계 및 전류 라인에 대한 과도한 노출 및 서로 다른 토포그래피가 존재하여 도금 전류가 이러한 천이 위치에서 조밀하거나 축적되기 때문에, 방위각적 도금 변화가 반드시 존재한다. 이러한 토포그래피 변화를 극복하기 위한 한가지 방식은, 다이가 통상적으로 끼워맞춰지지 않는 영역을 충전하기 위해 부분(기능하지 못하는) 특징부 및

다이를 인쇄하여, 예를 들어, 웨이퍼 주변부 주위로 줄곧, 웨이퍼 에지까지 패턴을 연장시키는 것이다. 그러나, 다이가 통상적으로 웨이퍼 상에서 개별적으로 리소그래피 처리되기 때문에, 이러한 "더미"(dummy) 특징부를 형성하기 위해서는 엄청난 비용이 발생된다. 이러한 기관들은 방위각적 비대칭 기관이라 불릴 것이다. 특히, 이러한 기관은 기하학적으로 비대칭일 수 있고(가령, 노치나 절단부를 갖고 기관 자체가 실질적으로 둥글지 않으며), 또는, 기관 상에 형성된 특징부의 분포(가령, 한 세트의 미싱 특징부 또는 다이)에 비대칭이 놓일 수 있으며, 또는 두가지 모두일 수 있다. 방위각적 비대칭 기관에서, 적어도 하나의 반경 위치에서 기관 토포그래피 또는 기관 기하 구조의 방위각적 변화가 존재한다.

[0056] 기관 상에서, 특히, 방위각적 비대칭 기관 상에서, 방위각 도금 불균일성은, 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 차폐부와 방위각적 비대칭 보조 전극을 이용함으로써, 및/또는 시프 캐소드(thief cathode) 인근의 영역 또는 차폐 영역과 기관의 선택된 방위각 위치를 정렬시키는 회전 기술을 이용함으로써, 처리된다.

[0057] 방위각적 비대칭 차폐부는 적어도 하나의 반경 방향 위치를 따라, 일부 방위각 위치에서, 동일 정도가 아니라, 모든 다른 방위각 위치도 아니라, 도금 전류로부터 기관을 차폐하는 차폐부다. 이는 웨지-형상 차폐부, 박쥐 날개(batwing)-형상 차폐부, 등을 포함한다. 순수한 환형 차폐부(고리 중심에 돌출부가 없음)는 웨이퍼와 같은 둥근 워크피스에 대해 방위각적으로 비대칭이 아니다. 차폐부는 통상적으로 주 도금 용액 매체에 대해 이온성 저항 물질로 만들어지며, 웨이퍼 기관 인근에 배치되어 기관의 선택된 위치에서 불필요한 과량의 전류가 집중되는 것을 방지한다. 일부 경우에 차폐부의 이온 저항은 절대적인 것이 아니며, 단지 도금 매체 장치의 저항보다 훨씬 클 뿐이다. 다른 경우에, 차폐부는 방위각적으로 가변적 형상을 가질 뿐 아니라, 한 조각의 플라스틱 또는 세라믹과 같은 저항성 판의 구멍들의 가변 패턴을 가짐으로써 생성되는(일례임) 방위각적으로 및/또는 반경 방향으로 가변적 이온 저항을 갖는다. 일반적으로, 차폐부는 전기적으로 비-전도성이고(전자의 이동에 의해 전류를 전도하지 않음), 따라서, 금속으로 만들어지지 않은, 플라스틱, 글래스, 세라믹, 등과 같은 유전 물질로 만들어진다. 차폐부는 차폐부의 최근접 표면과 웨이퍼의 도금가능한 표면 사이의 거리가 기관 반경의 약 0.1배 이하일 때(가령, 기관 반경의 약 0.2 이하) 방위각적 도금 균일도를 재단함에 있어 가장 효율적이다. 구체적 예에서, 300mm 직경 웨이퍼의 경우 본 발명에 따른 방위각 에지 교정 차폐부는 약 30mm보다 가까울 것이고, 일반적으로는 웨이퍼 기관으로부터 15mm 미만으로 이격될 것이며, 예를 들어, 웨이퍼 기관으로부터 약 7mm에 놓일 것이다. 많은 실시예에서, 차폐부는 기관의 도금가능 표면의 4mm 내에서와 같이, 기관에 매우 가깝게, 전해질에 잠겨, 도금 베스 내에 배치된다.

[0058] 방위각적 비대칭 시프 캐소드는 방위각적으로 비대칭인, 음성으로 바이어스된 부재(가령, 금속 스트립)이고, 이러한 부재는 도금 전해질과 이온 연통되도록 배치되며(가령, 도금 베스 내에서 직접, 또는 웨이퍼 및 웨이퍼 에지와 이온 연통하는 인접 챔버에서), 시프는 일반적으로 웨이퍼 아래에 그리고 웨이퍼와 정렬되는 메인 애노드로부터 발원하는 이온 도금 전류의 일부분을 기관으로부터 시프 캐소드로 전환시키도록 구성된다. 대안으로서, 전극은 메인 애노드로부터 공급되는 것보다 많은 추가 이온 도금 전류를 전달하도록 구성되는 보조 전극으로 작용할 수 있다. 일부 실시예에서, 전극은 보조 애노드로 작용하였다가 나중에 보조 캐소드로 작용(웨이퍼의 회전과 모두 동기화됨)하는 이 두 모드 사이에서 그 작동을 사이클링할 수 있어서, 회전 기관의 선택된 각도가 그 인근을 통과할 때 제 1 레벨 및/또는 제 1 극성에서 전극이 여기되고, 회전 웨이퍼의 다른 각도가 그 인근을 통과할 때 제 2 레벨 및/또는 제 2 극성에서 전극이 여기된다. 따라서, 웨이퍼의 완전한 1 회전 중, 방위각적 비대칭 전극은 (2 레벨의 전류를 인가함으로써 여기되거나, 여기/비-여기되거나, 또는 서로 다른 극성에서 여기됨으로써) 적어도 2개의 상태를 갖는다. 애노드/캐소드는 하드웨어적 변화없이 캐소드로부터 애노드 모드로 전환할 수 있도록, 쌍극성 전력 공급원에 의해 여기될 수 있다. 보조 전극은, 예를 들어, 기관에 전류를 제공하는 동일한 전력 공급원 상에 별도의 채널을 통해, 또는 별도의 전력 공급원이나 저항 제어 회로를 이용하여, 기관으로부터 별도로 바이어스되고 제어되는 것이 일반적이다. 시프 캐소드, 보조 애노드, 및 애노드/캐소드와 같은 방위각적 비대칭 전극은 적어도 하나의 반경 방향 위치 주위로 다른 방위각 위치에서와는 다른 정도로 웨이퍼의 소정의 방위각 위치에서 도금 전류를 수정한다. 방위각적 비대칭 시프, 애노드, 또는 애노드/캐소드의 예는 웨이퍼 원주의 일부분 위에서만 웨이퍼의 반경 너머로 웨이퍼 주변부를 둘러싸는 C-형 보조 전극(가령, 일부분이 제거된 환형 시프)이다. 일부 실시예에서, C-형 전극의 본체가 약 120도 미만(가령, 약 90도 미만)의 호 길이를 갖는다. 이와 달리, 환형 전극은 방위각적 대칭이고, 원주의 전체 부분에 완전히 걸쳐 웨이퍼를 둘러싼다. 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 전극은 웨이퍼 인근에 위치한다(예를 들어, 웨이퍼 반경의 0.2배 미만의 거리 내에 위치하는 것이 바람직하다). 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 전극은 C-형상 전극에 근사하는 전류 노출을(가령, 한정 구조 내의 슬롯 또는 일련의 개구를 통해) 제공하는 한정 구조 내에 위치한다. 이러한 경우에, 전극 자체는 한정 구조의 형상에 의해 그 기능이 결정되기 때문에 다양한 형상을 가질 수 있고, 이러한 한정 구조는 본질적으로 가상 전극을 형성한다. 일부 실시예에서, 보조 전극의 위치는 2010년 5월 13일 공개된 미국특허

출원공보 제2010/0116672호(발명의 명칭: "Method and Apparatus for Electroplating", 발명자: Mayer, 외)에 개시된 것과 같이 웨이퍼 주변부 주위로 임의의 위치를 포함할 수 있으며, 그 내용은 본 발명에 포함된다. 보조 전극용 한정 구조는 2011년 7월 1일자 미국특허가출원 제61/499,653호(발명의 명칭: "Purging Micro-containments During Electroplating", 발명자: Feng, 외)에 기술된 바와 같이 전극과 도금 셀을 연통시키는 복수의 관통-구멍을 포함할 수 있다.

[0059] 웨이퍼 기관의 선택된 방위각 위치와 방위각적 비대칭 전극 사이에서 시간 및 공간 상으로 전류의 부호 및 전류의 양을 정렬시키고 변화시키기 위한, 그리고, 시프 캐소드 인근에서 웨이퍼의 선택된 방위각 위치의 체류 시간을 조정하기 위한, 방법 및 장치가 제공된다.

[0060] 여기서 제시되는 실시예에서, 전기도금 이전에 기관 상에 선택된 방위각 영역(즉, 특정 처치의 대상이 되는 영역)의 위치를 아는 것이 중요하다. 따라서, 여기서 제시되는 실시예에서, 선택된 방위각 위치는 전기도금 이전에, 예를 들어, 광학적 정렬기를 이용하여, 등록된다. 예를 들어, 웨이퍼 상의 노치의 위치(선택된 방위각 위치)가 노치 정렬기에 의해 측정될 수 있다. 일부 위치 및 노치 정렬기는, 기관의 새도우 이미지를 획득할 수 있는, 포토다이오드 어레이를 포함하는, 광학적 측정 장치를 이용하며, 이를 메모리 파일에 가령, 디지털 선형 파일로, 저장한다. 노치 위치의 등록이 결정되고, 특정 처치를 위한 선택된 방위각 영역의, 노치에 대한 연산에 의해, 이를 알면, 도금 프로세스 중 이러한 방위각 위치의 배향을 제어할 수 있고, 차폐부 및/또는 보조 전극(위치 및/또는 인가 전력)과, 웨이퍼 상의 특정 방위각 영역과의 동기화를 요망하는 바에 따라 제어할 수 있다. 여기서 제공되는 전형적인 전기도금 프로세스에서, 기관의 선택된 방위각 부분의 위치는 전기도금 이전에, 그리고 전기도금 중에, 인텔싱 노치 위치에 대해 알려져, 도금 프로세스 전체를 통해 방위각 전류 교정의 조율을 가능하게 한다. 특정 예로서, 웨이퍼는 도금 틀에 배치되기 전에 FOUP(Front Opening Unified Pod) 내부에서 정렬되는 노치일 수 있다. 다른 예에서, 웨이퍼는 도금 진행 직전에 노치 정렬 장치를 거치게 된다. 세 번째 예에서, 노치 정렬은 후속 도금 및/또는 비-도금 작업(가령, 린싱 및 화학적 사전처리, 진공 사전처리, 표면 사전처리, 구리 도금, 니켈 도금, 납없는 뿔납 도금, 금 도금)의 시퀀스 중 최초 단계로 도금 틀 상에서 실행되며, 웨이퍼의 배향 변화는 각 챔버의 작업이 레지스트리 손실(가령, 웨이퍼 홀딩 척의 슬리핑(slipping))로 이어지지 않는 한 추적될 수 있다.

[0061] 일부 실시예에서, 여기서 제공되는 방법 및 장치는 반경 방향 및 방위각적 불균일성 모두에 대한 교정을 취급한다.

[0062] 일부 실시예에서, 반경 방향 도금 균일도 제어는, 전기장을 성형하고 전해질 흐름 특성을 제어하기 위해, 도금 중 작업 전극(웨이퍼 기관)과 카운터 전극(애노드) 사이에 위치하는 이온 저항성 이온 투과성 요소를 이용함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 전해질 투과성 1차원(즉, 비-연통) 관통 구멍을 갖는 이온 저항성 요소가 이러한 측면에서 매우 효과적인 것으로 판명되었으며, 이때, 상기 요소는 웨이퍼 기관 인근에 위치하여야 한다. 이러한 이온 저항성 요소의 한 가지 예가 2008년 11월 7일자 미국특허가출원 제12/291,356호(발명의 명칭: "Method and Apparatus for Electroplating", 발명자: Jonathan Reid, 외)에 기재되어 있고, 그 내용은 본 발명에 포함된다. 이 문헌에서 설명되는 이온 저항성 이온 투과성 요소는 얇은 저항성 시드층 상에서 반경 방향 도금 균일도를 실질적으로 개선시킨다. 웨이퍼의 에지-인근 영역으로부터 전류의 일부분을 전환하거나 공급하도록 구성된 제 2 (시프) 캐소드 또는 애노드와 조합하여 사용될 때 특히 유용하다. 이는 전위-제어 웨이퍼 삽입과 또한 호환가능하며, 이는 일부 실시예에서, 바람직한 웨이퍼 삽입 프로세스다. 이온 저항성 이온 투과성 요소는 웨이퍼(캐소드) 인근에서 거의 일정하고 균일한 전류 소스를 달성하도록 기능하고, 가상 애노드라 불린다. 이와 달리, 기관에 마찬가지로 인접한 애노드는 웨이퍼에 거의 일정한 전류를 공급하기 어렵고, 대신에, 애노드 금속 표면에서 일정한 전위를 지원하여, 전류를 커지게 하고, 애노드 평면으로부터 단자(가령, 웨이퍼 상의 주변 접촉점)까지 알짜 저항이 더 작게 된다. 따라서, 이온 저항성 이온 투과성 요소가 고-저항 가상 애노드(HRVA)로 불릴 때, 이는 2개가 전기화학적으로 상호교환가능함을 의미하지 않는다. HRVA를 확실히 "가상 전류 소스"로 볼 수 있을 때, 즉, 전류가 발원해 나오는 평면이어서 애노드 전류 흐름의 소스이기 때문에 "가상 애노드"로 간주될 수 있을 때, 동일한 물리적 위치에 위치한 금속 애노드를 갖는 경우에 비해 일반적으로 우수한 웨이퍼 균일도를 야기하는 요소의 비교적 고-이온-저항이 된다. 이러한 개시 내용에 특정한 관련도를 갖는 것 중에, 바람직한 실시예의 구성에 따르면, 반경 방향 및/또는 방위각 구멍 어레이 중 1차원 HRVA 구멍의 가변적 간격, 크기, 밀도는 주변부에서 고도로 제어가능한 불균일 전류 소스를 생성한다. 이는, 웨이퍼 각도 위치(노치) 및 각도 위치에 따른 체류/회전 속도의 등록과 조합하여, 웨이퍼 아래 애노드로부터 전류 소스를 차단하는 차폐물을 갖는 것과 유사한 방식으로 방위각적 불균일성을 교정하도록 작동한다.

[0063] HRVA의 2개의 특징은 특별한 중요성을 갖는다. 첫 번째는, 웨이퍼에 대해 근접한 HRVA의 배치이고, 두 번째는

HRVA의 관통 구멍이 서로로부터 공간적 및 이온적으로 분리되어 HRVA의 본체 내에 상호연결 채널을 형성하지 않는다는 점이다. 이러한 관통 구멍은 1차원적으로 연장되지만 (반드시는 아니지만) 웨이퍼의 도금 표면에 수직이기 때문에 1차원 관통 구멍으로 불릴 것이다. (일부 실시예에서, 1차원 구멍은 HRVA 전방 표면에 대해 일반적으로 평행한 웨이퍼에 대해 소정의 각도로 놓인다). 이러한 관통 구멍은 3차원 다공질 네트워크와는 구분되며, 이 경우 채널은 3차원적으로 연장되어 상호연결 포어(pore) 구조를 형성한다. HRVA의 일례는 약 6,000개 내지 약 12,000개의 1차원 관통 구멍을 갖는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리비닐이덴 디플로라이드(PVDF), 폴리테트라플로로에틸렌, 폴리설폰, 폴리비닐 클로라이드(PVC), 폴리카보네이트, 등과 같은 이온 저항성 물질로 제조된 디스크다. 많은 실시예에서, 디스크는 실질적으로 웨이퍼와 함께 연장되며(가령, 300mm 웨이퍼와 함께 사용될 때 약 300mm 직경을 가짐), 웨이퍼 인근에, 가령, 웨이퍼가 하향으로 면하는 전기도금 장치에서 웨이퍼 바로 아래에, 위치한다. 웨이퍼의 도금 표면이 가장 가까운 HRVA 표면의 약 10mm 내에, 바람직하게는 5mm 내에서 위치하는 것이 바람직하다.

[0064] 웨이퍼에 가까운 저항성의, 그러나 이온 투과성의 요소의 존재는 단자 효과를 실질적으로 감소시키고, 반경 방향 도금 균일도를 개선시킨다. 이 존재는, 이와 동시에, 흐름 확산 분기판으로 작용함으로써 웨이퍼 표면에서 상향으로 지향되는 전해질의 실질적으로 공간적으로 균일한 충돌류를 갖는 기능을 동시에 제공한다. 중요한 점이라면, 동일 요소가 웨이퍼로부터 더 멀리 위치할 경우, 이온 전류의 균일도 및 흐름 개선사항이 두드러지지 않거나 아예 나타나지 않는다는 것이다. 더욱이, 1차원 관통 구멍이 HRVA 내의 이온 전류나 유체 모션의 횡방향 이동을 허용하지 않기 때문에, 중심-에지 전류 및 흐름 움직임이 HRVA 내에서 차단되어 반경 방향 도금 균일도를 추가적으로 개선시킨다.

[0065] HRVA 구조의 다른 중요한 특징은 HRVA와 기관 사이의 거리에 대한 관련성 및 관통 구멍의 직경 또는 주요 치수에 있다. 각각의 관통 구멍의 직경(또는 주요 관통 구멍의 직경)은 도금 웨이퍼 표면으로부터 HRVA의 가장 가까운 표면 사이의 거리보다 작거나 같아야 한다. 따라서, 관통 구멍의 직경 또는 주요 치수는, HRVA가 도금 웨이퍼 표면의 약 5mm 내에 위치할 때 5mm를 넘어서는 안된다.

[0066] 따라서, 상술한 바와 같이 HRVA의 이용은 반경 방향 불균일성을 처리할 수 있다. 방위각 불균일성을 처리하기 위해, 추가적인 특징 및 방법이 필요하다. 여기서 설명되는 실시예는 도금 중 웨이퍼 표면 상의 방위각적 비대칭을 보상하는 도금 장치의 하나 이상의 구성요소를 포함한다. 특히, 도금 장치의 하나 이상의 구성요소는 웨이퍼 표면 상의 방위각적 비대칭성을 보상하도록 전기장을 성형하여, 고도로 균일한 반경 방향 도금에 추가하여 고도로 균일한 방위각 도금을 제공한다. "방위각적 비대칭성"은 토포그래피 측면의 방위각적 불균일성, 결과적인 도금 전류 불균일성, 이러한 국부적 토포그래피에 의해 생성되는 전계 변화, 또는 이들의 조합을 의미할 수 있다.

[0067] 일부 실시예에서, HRVA 플레이트는 반경 방향 증착 균일도를 재단하는지 여부에 관계없이, 주로 또는 배타적으로 전해질 흐름 성형 요소로 사용될 수 있다. 따라서, 예를 들어, TSV 및 WLP 전기도금에서, 금속이 초고속으로 증착되고 있을 때, 전해질 흐름의 균일한 분포가 매우 중요하며, 반경 방향 불균일성 제어는 덜 필요할 수 있다. 따라서, HRVA 플레이트는 이온 저항성 이온 투과성 요소로, 그리고, 흐름 성형 요소로 불릴 수 있고, 이온 전류의 흐름을 교번시키거나, 물질의 대류 흐름을 교번시키거나, 두가지 모두를 행하는 방식으로 증착 속도 교정 측면에서 기능할 수 있다.

[0068] 여기서 설명되는 실시예는 도금 중 웨이퍼 상의 방위각적 토포그래피 변화를 보상하도록 전계를 성형하는 도금 장치의 구성요소들을 이용하여 방위각적 불균일성을 처리한다. 특히, 웨이퍼 및 이러한 전계 성형 구성요소는 일부 실시예에서, 서로에 대해 이동하는 데, 이러한 구성요소에 의해 생성되는 전계 또는 국부적 전계가 보상하고자 하는 방위각적 비대칭 토포그래피 특징부의 인근에 위치하게 되고, 따라서 균일한 방위각 도금이 달성된다. 여기서 설명되는 실시예에서, 웨이퍼 회전 및/또는 차폐부 회전, 및/또는 HRVA 회전 및/또는 보조 전극 회전의 제어가 하나 이상의 회전 디지털 인코더를 이용하여 정확하게 동기화될 수 있다. 추가적으로, 여기서 설명되는 구성요소들에 의해 생성되는 국부화된 성형 전계가, 방위각적 비대칭 토포그래피를 갖는 웨이퍼 영역에 항상 인접할 필요는 없다(즉, 국부화된 전계는 방위각적으로 균일한 도금이 달성되도록 웨이퍼의 다른 부분에 비해 이러한 영역들 인근에서 불균형한 시간 양을 단지 보낼 수 있다("체류"라고 함)). 이는 "방위각적 평균화"라 불릴 수 있다.

[0069] 일부 실시예에서 여기서 설명되는 방법이 서로에 대해 웨이퍼 및/또는 차폐부 중 하나 이상을 포함하기 때문에, 이 방법들은 "회전적으로 가변적인 차폐"(RVS: Rotationally Variable Shielding)로 불릴 수 있고, 이 장치는 "회전적으로 가변적인 차폐부"를 지닌 장치로 불릴 수 있다. 여기서 사용되는 방위각적 비대칭 차폐부는 2005년

7월 19일자 미국특허공보 제6,919,010호(발명의 명칭: "Uniform Electroplating of Thin Metal Seeded Wafers Using Rotationally Asymmetric Variable Anode Correction", 발명자: Mayer, 외)와, 2010년 3월 23일자 미국 특허공보 제7,682,498호(발명의 명칭: "Rotationally Asymmetric Variable Electrode Correction", 발명자: Mayer, 외)와, 2000년 2월 22일자 미국특허공보 제6,027,631호(발명의 명칭: Electroplating System with Shields for Varying Thickness Profile of Deposited Layer", 발명자: Broadbent, 외)에 개시된 방위각적 비대칭 차폐부 중 임의의 것을 포함하며, 그 내용은 본 발명에 포함된다.

[0070] 아래는 RVS의 일부 작동 특성의 간단한 설명이다. 일반적으로, 여기서 기재된 바와 같이, RVS 차폐부는 웨이퍼의 특정 부분이 RVS 차폐부 "위에" 놓일 때 소정의 시간 주기동안 전류 라인이 애노드 위치 "아래"로부터(애노드가 웨이퍼 아래에 위치하는 경우) 웨이퍼에 도달하는 것을 방지하는 기능을 하도록 웨이퍼에 인접하여 위치하는 유전 요소다. 가장 좋은 효과를 위해, RVS 요소는 전류가 차폐물을 회피할 수 없도록 웨이퍼에 상대적으로 가까이 위치하여야 하며, 따라서, RFV 요소 예지 주위로 흘러 차폐 영역의 벌크 내로 흐르게 한다. 따라서, RVS의 영향은 이러한 요소의 "근접 포커싱"(proximity focusing)에 의해 제한된다. 요소 효과의 현저한 저하를 방지하기 위해, 회전 중심으로부터 특정 거리에서 (방위각 주위로) 요소의 호 길이는 RVS 차폐부와 웨이퍼 표면 사이의 거리의 수배(가령, 적어도 3배)가 되어야 할 것이다. 예를 들어, 웨이퍼와 RVS 차폐부 사이의 거리가 4mm일 경우, RVS 차폐부는 매우 효과적이기 위해 약 12mm의 호 길이를 가질 필요가 있다. 차폐부를 설계함에 있어서, 특히, 웨이퍼 중심 근처에서 균일도 교정을 설계하기 위해, 이러한 특성 비는 더이상 사용될 필요가 없고, 따라서, "차단 모델"에 의해 예측되는 바와 같이 RVS 형상의 수정예가, RVS 주위로 그리고 차폐부 아래의 영역 내로 현저하게 전류를 이동시키는 기능을 보상하기 위해, 요구될 수 있다.

[0071] 일부 실시예에서, RVS 차폐부는 HRVA 플레이트의 설계에 포함된다. "HRVA"는 이러한 특정 세트의 작동에 사용될 때, 다공질 판이 회전적으로 가변적인 차폐 요소로 기능하기 위해 총 셀 전해질 용액 저항에 대해 비교적 높은 저항을 반드시 나타낼 필요는 없기 때문에 편의상 사용되는 것이다. 상술한 바와 같이, HRVA가 흐름 성형 요소로 불릴 수도 있다. HRVA 플레이트는 여러 용도로 기능할 수 있고, 예를 들어, 웨이퍼 상에 전류 분포를 수정함으로써, 회전 웨이퍼와 플레이트 사이에 전단류를 생성하여 웨이퍼 표면에서 높은 상승 층돌류와 난류를 생성할 수 있다. 일부 실시예에서, HRVA 플레이트는 유전 물질의 고형 조각(가령, 폴리프로필렌과 같은 플라스틱의 0.5인치 두께 조각) 내로 다수의 구멍(가령, 대략 300mm 직경 영역에 걸쳐 0.5mm 직경의 6000개의 구멍)을 드릴링함으로써 생성된다. 여기서 설명되는 실시예와 관련하여, RVS 차폐부는 공간적으로 규칙적인 패턴으로 플레이트에 구멍을 드릴링하는 것이 아니라, 다른 영역은 제외하고 선택된 영역에만 구멍을 드릴링함으로써 생성되어, RVS에 의해 요구되는 바와 같이 여기서 설명되는 다양한 전류 차단 패턴을 생성할 수 있다(사전에 드릴링된 구멍을 선택적으로 차단하기 위한 다른 기술은 아래에서 설명된다). 일부 실시예에서, 특정 구멍 패턴을 갖도록 구성된 선택 HRVA를 이용하여 차폐 패턴을 생성할 수 있다. 다른 실시예에서, RVS 패턴만이 이러한 방식으로 생성되며, HRVA의 주변부 추가 구멍들이 다양한 크기, 각도, 등의 차폐부를 배치함으로써 차단되어, 웨이퍼-패턴과 웨이퍼-패턴 간에 또는 시간상 가끔씩 필요에 따라 차폐 성능을 수정할 수 있게 된다. 방위각적으로 비대칭인 구멍없는 영역들을 갖는 HRVA는 방위각적 비대칭 차폐물의 기능을 가정한다.

[0072] 단순화를 위해, 다음의 설명은 코드 또는 노치가 웨이퍼로부터 절단된 웨이퍼, 또는, 다이 및 비-다이 영역을 갖는 웨이퍼의 섹터와 같은, 방위각적 비대칭성을 갖는 웨이퍼의 단일 특징부나 영역이 존재한다고 가정한다. 여기서 설명되는 실시예는, 예를 들어, 웨이퍼 상의 적어도 2개의 영역에, 방위각적 토포그래피 변화가 존재하는 고도의 방위각 도금 균일도를 달성하기 위한 방법 및 장치를 또한 포함하며, 엘르 들어, 복수의 다이가 웨이퍼 표면 대부분 위에 리소그래피 처리되고, 웨이퍼 표면의 전체 주변부 주위로 그리고 그 근처에서 비-다이 아웃라인 영역이 존재한다. 이러한 예에서, 본 설명의 범주에서 당 업자에게 명백해지듯이, 이러한 방위각적 비대칭을 보상하도록 구성요소들이 구성되고 방법들이 실행된다.

[0073] **일방향 웨이퍼 회전**

[0074] 일 실시예에서, 웨이퍼는 단일 방향으로 회전하고(예를 들어, 웨이퍼의 표면에 수직인 축 주위로 시계 방향으로 회전함), 방위각적 비대칭 토포그래피 특징부에 인접한 국부 전계를 생성하도록 구성되는 구성요소들은 회전 웨이퍼에 대해 동기화되어 변화하여, 방위각적 비대칭성을 보상하고 균일한 방위각적 도금을 제공하게 된다. 본 실시예의 예들이 아래에 설명된다. 이와 같이 설명되는 실시예는 일방향 회전 웨이퍼와 연계하여 사용되지만, 전기도금 중 웨이퍼가 양방향으로 회전하는 경우(시계 방향 및 반시계 방향 모두 포함)와, 웨이퍼가 일정 속도 또는 가변 속도로 회전하는 경우(일방향 및 양방향 모두 포함)에도 사용될 수 있다.

[0075] **분절화된 보조 전극**

- [0076] 일부 실시예에서, 제 2 전극, (시프) 캐소드 또는 소스 (애노드) 또는 애노드/캐소드는 여러 개의 세그먼트를 포함하고, 각각의 세그먼트는 제 2 캐소드의 세그먼트에 독립적으로 전력을 공급하도록 구성되는 복수의 스위치 또는 채널을 갖는 하나의 전력 공급원을 이용하여, 또는 별도의 전력 공급원에 의해 별도로 전력을 공급받을 수 있다. 구체적으로, 일례에서, 제 2 캐소드의 세그먼트는 웨이퍼가 회전함에 따라 웨이퍼의 서로 다른 방위각 위치에서 도금 전류 교정을 제공하는데 사용된다. 임의의 시기에 개별 보조 전극 세그먼트에 인가되는 전류는 양 일 수도, 음일 수도, 0일 수도 있으며, 시간에 따라 변하는 전류의 부호 및 크기는 해당 시간에 웨이퍼 각도 위치와 상관 및 동기화된다. 상술한 바와 같이, 전극(또는 세그먼트)에 제공되는 전력을 웨이퍼 회전과 상관시키기 위해, 전류, 또는, 전압, 또는 전류 및 전압이 제어될 수 있다.
- [0077] 이러한 멀티-세그먼트링된 전극 실시예에서, 웨이퍼 기판이 먼저 등록되어 웨이퍼 상의 선택된 방위각부분의 위치가 알려지고, 전기 도금 장치의 기판 홀도에 웨이퍼 기판이 고정되어 도금가능 표면이 전해질 내로 잠기게 되며, 특정 전극의 위치 및 방위각 정도와 관련된 웨이퍼 주변부의 제한된 영역의 웨이퍼 에지로부터(또는 웨이퍼 에지로) 추가 전류를 전환시키거나 공급하도록 구성되는, 고정식 멀티-세그먼트링된 시프 캐소드 또는 애노드 소스 또는 애노드/캐소드를 갖는 전기도금 장치에서 웨이퍼 기판이 회전한다. 시프 캐소드 또는 보조 애노드 소스의 개별 세그먼트들은 서로 다른 방위각 위치 주위로 배치되고 개별적으로 전력을 공급받아, 시프 캐소드의 서로 다른 세그먼트에 서로 다른 레벨의 전류가 인가될 수 있게 된다. 세그먼트에 인가되는 전력은 기판의 회전과 동기화되는 데, 선택된 방위각 위치에서 기판의 선택된 부분은, 서로 다른 방위각 위치에서 기판의 유사부분(즉, 평균적으로 동일한 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치의 부분)보다, 시프에 의해 전환되는(또는 보조 애노드에 의해 도네이팅되는) 서로 다른 도금 전류의 크기를 갖게 될 것이다. 예를 들어, 높은(또는 낮은) 레벨의 시방 전류(thieving current)가 시프 캐소드의 세그먼트에 인가될 수 있고, 이러한 세그먼트는 선택된 방위각 위치에 인접하여 위치한다.
- [0078] 이 개념은 미싱 다이 영역(103)(선택된 방위각 위치)을 갖는 웨이퍼(101)의 개략도를 도시하는 도 1A 및 도 1B에 도시된다. 웨이퍼의 주변부에는 4개의 시프 캐소드 세그먼트(105, 107, 109, 111)가 위치하고, 각각의 세그먼트는 자체 전력 공급원(113, 115, 117, 119)에 전기적으로 연결된다. 당 업자라면 복수의 채널을 갖는 하나의 전력 공급원도 사용될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 스위치 및/또는 전류 변조기의 조합을 갖춘 단일 전력 공급원이 사용될 수 있다. 이러한 실시예에서, 애노드/캐소드가 사용되는 경우에, 세그먼트는 쌍극 전력 공급원에 연결된다. 시프 전극 세그먼트는 웨이퍼에 대해 서로 다른 방위각 위치에 위치한다. 세그먼트(105)는 미싱 다이 영역과 정렬되고 0도 방위각에 위치한다. 세그먼트(107, 109, 111)는 각각 90도, 180도, 270도 방위각 위치에 놓인다. 웨이퍼(101)가 시계 방향으로 회전함에 따라, 미싱 특징부 영역(103)은 차례로 세그먼트(107)와, 세그먼트(109)와, 세그먼트(111)와 정렬되고, 다시 세그먼트(105)와 정렬된다. 도 1B는 도 1A에 도시되는 것과 동일한 시스템을 도시하며, 웨이퍼가 90도 회전한 상태로서, 웨이퍼 플랫(wafer flat)(103)이 시프 세그먼트(107)와 정렬된 상태다.
- [0079] 미싱 다이 영역에서 전류 밀도가 웨이퍼의 다른 영역에서의 전류 밀도와는 다르기 때문에, 다른 부분에 비해 미싱 다이 부분으로부터 서로 다른 양의 전류가 전환될 필요가 있다. 따라서, 일 실시예에서, 시프 캐소드 세그먼트는 웨이퍼 회전과 함께 동력을 공급받아, 제 1 레벨의 전류가 미싱 다이 영역과 정렬된 세그먼트에 공급되고, 제 2 레벨의 전류가 웨이퍼의 다른 부분과 정렬된 시프 세그먼트에 공급된다.
- [0080] 예를 들어, 도 1A에 도시되는 위치에서, 제 1 레벨의 전류(X)는 웨이퍼 플랫(103)과 정렬된 세그먼트(105)에 공급되고, 제 1 레벨의 전류(X)와는 다른 제 2 레벨의 전류(Y)가 각각의 세그먼트(107, 109, 111)에 공급된다. 웨이퍼가 도 1B에 도시되는 위치로 90도 회전하면, 제 1 레벨의 전류(X)는, 이제 웨이퍼 플랫(103)과 정렬되는 세그먼트(107)에 공급될 것이고, 제 2 레벨의 전류(Y)는 세그먼트(109, 111, 105)에 공급된다. 웨이퍼 회전에 따라 보조 전극 세그먼트에 공급되는 전류를 교번함으로써, 웨이퍼의 원형 및 코드 영역에서 도금 불균일성에 대한 교정이 적절하게 이루어진다. 전력 공급원에 연결되고, 시프 세그먼트에 공급되는 전력 레벨을 웨이퍼 회전 속도와 상관시키기 위한 프로그램 명령을 구비한 컨트롤러가, 이 프로세스를 조율하는데 사용될 수 있다.
- [0081] 상술한 바와 같이, 본 실시예는 멀티-세그먼트링된 시프 캐소드의 이용에 제한되지 않으며, 멀티-세그먼트링된 애노드 또는 멀티-세그먼트링된 애노드/캐소드와 함께 또한 이용될 수 있다. 특히 선호되는 실시예에서, 각 요소의 전류는 웨이퍼 회전 주기 중 교번하는 전류 레벨 및 부호의 시퀀스를 갖는 최적으로 결정된 파형을 가질 수 있다. 예를 들어, 미싱 다이 또는 특징부가 없는 웨이퍼의 영역에 일반적으로 얇은 증착물을 생성할 HRVA 및/또는 에지 차폐부를 갖도록, 그리고, 미싱 다이/특징부 영역에 일반적으로 두꺼운 세트의 특징부들을 제시하도록, 도금 셀을 설계함으로써, 웨이퍼에 대한 펄스를 추가하고 제거하는 전류가 웨이퍼 회전에 따라 웨이퍼에 인가될 수 있다. 그 후 멀티 세그먼트 전극의 각 세그먼트의 부호가, 얇은 다수 에지에 인접할 때 양극성으로부터 소수의

두꺼운 영역(미싱 다이/특징부 영역)이 정렬되고 가까워질 때 음극성으로 변화할 것이다.

[0082] 도 1A 및 도 1B에 도시되는 도면은 개략적인 것에 불과하다. 보조 전극 세그먼트는 일반적으로, 웨이퍼 주변부 외부에서, 그 주위에 또는 바로 아래에 위치하며, 웨이퍼 외부에서 주위에 위치할 때, 웨이퍼와 동일한 도금 챔버에서, 또는, 주 도금 챔버와 이온 연통되는 서로 다른 도금 챔버에서, 웨이퍼 평면 아래에, 웨이퍼와 동일 레벨에, 또는 웨이퍼 평면 위에 놓일 수 있다. 세그먼트들이 웨이퍼 주위로 서로 다른 방위각 위치로 정렬되는 한, 임의의 적절한 세그먼트 배열이 사용될 수 있다. 세그먼트의 수는 프로세스의 필요에 따라 바뀔 수 있다. 일부 실시예에서, 약 2개 내지 10개의 세그먼트가 사용된다.

[0083] 멀티-세그먼트링 시프 캐소드가 웨이퍼 인근에 배치된 HRVA와 함께 특히 유용하지만, 이는 여기서 개시되는 다양한 도금 장치 특징부와 독립적으로 또는 조합하여 사용될 수 있는 별도의 실시예다. 도 10A-10C를 참조하여 후에 설명될, 다른 실시예에서, 제 2 전극(시프 캐소드 또는 소스 애노드 또는 애노드/캐소드)은 방위각적으로 비대칭이고 단위체를 갖는다. 예를 들어, 일 세그먼트가 제거된 단위체를 갖는 전극, 예를 들어, 일부만이 제거된 고리 형태의 전극(C-형상 전극이라고도 함)이 웨이퍼와 동기적으로 전력을 공급받을 수 있다. 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 전극(캐소드 또는 애노드)은 웨이퍼와 동기화되어 웨이퍼와 함께 동일 속도로 이동하여, 방위각적 불균일성을 보상하도록 구성된 적정 국부화 전계가, 전계 보상되도록 설계되었던 웨이퍼의 영역에 등록된 상태를 유지한다. 이러한 보조 전극은 세그먼트화되어, 2개 이상의 영역이 방위각적 도금 교정을 갖게 되며, 예를 들어, 도금 중 웨이퍼와 동기화되어 회전하는 지지부 상에 적절하게 세그먼트들이 배열된다. 이러한 장치 및 방법은 본 발명의 범위 내에 있으나, 더 복잡할 수 있고, 예를 들어, 동일 목표를 달성하는데 필요한 것보다 더 많은 이동 부분을 가질 수 있다. 본 실시예는 전기도금 이전에 선택된 방위각 위치의 위치를 등록하는 단계와, 방위각적 비대칭(가령, C-형상) 또는 멀티-세그먼트링된 전극(캐소드 및/또는 애노드)을 갖는 전기도금 장치에 웨이퍼 기관을 제공하는 단계와, 기관 및 보조 전극을 모두 회전시키는 단계를 포함하며, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분은 서로 다른 방위각 위치에서 유사 부분에 비해 서로 다른 시간동안 멀티-세그먼트링된 전극의 일 세그먼트에 인접하여 또는 방위각적 비대칭 전극에 인접하여 체류하게 된다. 일부 실시예에서, 보조 전극(방위각적 비대칭 또는 멀티 세그먼트 전극)이 웨이퍼 기관과 동일 속도로 회전하여, 웨이퍼의 선택된 방위각 위치가 비대칭 전극 또는 전극의 세그먼트와 정렬되게 되고, 서로 다른 방위각 위치에서 기관의 유사 부분보다 전극 또는 세그먼트에 가까이(또는 멀리) 놓이게 된다. 다른 실시예에서, 단일한 C-형상 전극이 고정되고 웨이퍼만 회전하여, C-형상 전극에 인가되는 전류는 웨이퍼 회전 사이클 중, 예를 들어, 양극성 전류로부터 음극성 전류로, 또는, 서로 다른 레벨의 양극성 전류로, 또는, 서로 다른 레벨의 음극성 전류로 변하게 된다. 전극이 기관의 선택된 부분에 더 가까이 위치할 때, 더 많은 양의 도금 전류가 시프를 향해 전환(또는 애노드에 의해 도네이팅)되고, 이는 선택된 영역에서 전류의 밀집과, 불필요하게 두꺼운 도금을 완화시킬 수 있다.

[0084] **1차원 관통 구멍의 불균일 분포를 갖는 HRVA의 회전**

[0085] 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 웨이퍼 상의 도금 균일도는 회전 비대칭 HRVA를 이용함으로써 조정될 수 있다. 비대칭 HRVA는 주 부분과는 다른 구멍 분포 패턴을 갖는 부분, 잘려진 부분, 또는 구멍이 없는 부분을 함께 가질 수 있다. 회전하는 HRVA는 회전하는 웨이퍼와 정렬되어, 웨이퍼의 개별적 부분이 HRVA의 개별적 부분과 정렬된다. 예를 들어, 웨이퍼 플랫폼 영역 또는 미싱 다이를 갖는 웨이퍼는 회전 HRVA와 동일 속도로 회전할 수 있어서, 불균일한 구멍 분포(가령, 저밀도의 구멍들)를 갖는 HRVA의 영역이 회전 중 웨이퍼 플랫폼 영역과 정렬되게 된다.

[0086] 도 2A 및 도 2B는 구멍의 분포가 나머지 HRVA와는 다른 영역(203)을 갖는 회전 HRVA(201)(따라서, "비대칭 HRVA")의 평면도를 도시한다. 일부 실시예에서, 영역(203)은 생략될 수 있고(코드로 잘려나갈 수 있고), 또는 구멍없이 고정될 수도 있다. 일부 실시예에서(도시되지 않음), 불균일한 구멍 분포를 갖는 영역은 웨지-형상이거나 그렇지 않을 경우 방위각적으로 비대칭이다. HRVA의 회전은 웨이퍼(도시되지 않음)의 회전과 정렬되어, 영역(203)이 웨이퍼 회전에 따라 웨이퍼 플랫폼 또는 미싱 다이 영역과 정렬되게 된다. 웨이퍼 회전 및 HRVA 회전을 동기화시키기 위한 프로그램 명령을 포함한 컨트롤러가 일부 실시예에서 HRVA 및 웨이퍼와 연결될 것이다. 일 실시예는 대칭 HRVA를 설명하는, 그러나, 본 장치 또는 방법에 추가적인 도금 프로파일 성형 요소를 부가하도록 비대칭 HRVA를 치환한, 여기서 설명되는 임의의 실시예다.

[0087] 본 실시예는 여기서 개시되는 보조 전극 및 다른 특징부와 별도로, 또는 조합하여 사용될 수 있다. 회전 비대칭 HRVA를 이용하는 일부 실시예에서, HRVA는 웨이퍼에 인접하여 위치할 필요가 없다.

[0088] **회전 차폐부를 갖는 고정식 HRVA**

[0089] 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 웨이퍼에 대한 도금 균일도 제어는 HRVA 위에 또는 아래에 위치하는 회전 차폐부를 이용함으로써 달성된다. 일부 실시예에서, 회전 차폐부는 기관에 인접하여 위치한다(예를 들어, 기관의 도금가능 표면까지의 거리가 기관 반경의 약 0.1배 이내, 가령, 기관 반경의 0.2 배 이내, 바람직하게는 약 4mm 이내). 차폐부는 HRVA 구멍을 가리도록 구성되고, 방위각적 비대칭 토포그래피 특징부를 갖는 웨이퍼 영역에서 전류 밀도 분포의 불균일성을 보상하도록 성형된다. 차폐부는 웨이퍼 플랫폼과 정렬되고 웨이퍼와 동일 속도로 회전하여, 방위각 표면 변화가 존재하는 영역에서 나타나는 전류 밀도에 대한 연속 조절을 제공한다. 차폐부는 웨지 형상, 은행잎 형상, 박쥐 날개 형상, 등과 같은 다양한 형상을 가질 수 있다. 차폐부 및 웨이퍼 회전 속도의 동기화는 동기화를 위한 프로그램 명령을 지닌 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있다. 더욱 일반적으로, HRVA가 일부 실시예에서는 필요치 않으며, 회전하는 방위각적 비대칭 차폐부는 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분과 정렬되고, 기관과 동일 속도로 회전하여, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분이 서로 다른 방위각 위치에서 유사 부분에 비해 서로 다른 시간동안 차폐 영역에서 체류하게 된다.

[0090] 상술한 실시예는 본 발명의 범위 내에 있으나, 방위각적 도금 균일도를 달성하는데 필요한 것보다 많은 이동부를 갖는 것으로 간주될 수 있다. 웨이퍼를 양방향으로 또는 가변 속도로 회전시킴으로써, 이동부와 관련된 구형상의 어려움들 중 상당수를 방지할 수 있다.

[0091] **양방향 웨이퍼 회전**

[0092] 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 토포그래피 특징부에 인접한 국부화된 전계를 생성하도록 구성되는 구성요소들이 고정되고, 웨이퍼는 웨이퍼 표면에 수직인 축 주위로 양방향으로(예를 들어, 시계 방향 및 반시계 방향으로) 회전하여, 웨이퍼와 전계 성형 구성요소 간의 동기화가 달성되고, 따라서, 웨이퍼 상의 방위각적 비대칭성이 보상되어 균일한 방위각 도금을 달성할 수 있다. 구성요소는 고정된 방위각적 비대칭 차폐부(방위각적 비대칭 구멍 분포를 갖는 고정 HRVA 포함)와, 다양한 방위각 위치에 분포된 세그먼트들을 갖는 멀티-세그먼트화된 보조 전극(시프 캐소드, 애노드, 및 애노드/캐소드)을 포함한다. 차폐 영역의, 또는 보조 전극(또는 보조 전극의 세그먼트)에 인접한 영역의, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분의 체류 시간을 조정하기 위해 양방향 회전이 이용될 수 있고, 이러한 체류 시간은 서로 다른 방위각 위치에서 기관의 유사 부분(동일한 평균 호 길이 및 동일한 평균 반경 방향 위치를 가짐)의 체류 시간과는 다르다. 예를 들어, 웨이퍼가 시계 방향 및 반시계 방향으로 서로 다른 정도로 회전할 경우, 웨이퍼는 소정의 방위각 위치에서 더 많은 시간을 보낼 것이다. 이러한 위치들은, 방위각적 비대칭 시프 또는 시프 세그먼트에 인접한 또는 차폐된 방위각 위치에 대응하도록 선택될 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼가 시계 방향으로 360도 회전하고 반시계 방향으로 90도 회전할 경우, 웨이퍼는 270도 내지 360도 사이의 섹터에서 많은 시간을 보낼 것이다. 더욱이, 양방향 회전은 특정 지향성 웨이퍼 흐름 전계 바이어스를 감소시키거나 제거하는 경향을 가질 수 있다.

[0093] **양방향 웨이퍼 움직임을 갖는 세그먼트화된 보조 전극(시프 캐소드/소스 애노드 또는 애노드/캐소드) 또는 방위각적 비대칭 보조 전극**

[0094] 상술한 바와 같이, 웨이퍼 에지로부터 전류의 일부분을 전환하도록 구성된 세그먼트화된 시프 캐소드 또는 방위각적 비대칭 시프 캐소드가 웨이퍼 상의 방위각적 불균일성 보상에 사용될 때, 그리고, 웨이퍼가 일방향으로 회전할 때, 방위각적 도금 균일도를 달성하기 위한 한가지 방안은 시프 캐소드를 웨이퍼와 동기적으로 이동시켜서, 방위각적 불균일성을 보상하도록 구성된 적절한 국부화 전계가, 보상을 위해 설계된 웨이퍼의 선택된 영역에 등록된 상태를 유지하게 하는 것이다. 이러한 시프 캐소드는 세그먼트화되어, 2개 이상의 영역이 방위각적 도금 교정을 갖게 되고, 예를 들어, 세그먼트들이 도금 중 웨이퍼와 동기화되어 회전하는 지지부 상에 적절하게 배열되게 된다.

[0095] 웨이퍼가 상술한 방식으로 양방향으로 이동할 경우, 웨이퍼의 선택된 방위각 위치, 가령, 미싱 다이 영역이, 웨이퍼의 서로 다른 방위각 위치에 비해 보조 전극 또는 그 세그먼트 인근에서 서로 다른 체류 시간을 가질 것이기 때문에, 보조 시프 캐소드는 고정적으로 유지될 수 있다. 이는 다수의 기계적 복잡도를 해소시킨다. 일 실시예는 웨이퍼의 양방향 움직임을 위해 구성된 도금 장치와, 도금 전류를 전환하도록 구성된 세그먼트화된 보조 시프 캐소드이며, 장치는 웨이퍼 상의 방위각적 불균일성을 보상하도록 전계를 조정하도록 구성된다. 양방향 회전의 본 실시예에서, 웨이퍼는 시계 방향 및 반시계 방향으로 서로 다른 각도로 회전하여(또는 동일 각도로 회전하지만 완전한 회전을 하지 않음, 가령, 선택된 호 길이에 걸쳐 회전), 선택된 방위각 위치에서 웨이퍼의 선택된 부분이, 서로 다른 방위각 위치에서 기관의 유사 부분에 비해 서로 다른 시간(가령, 긴 시간)동안 시프 캐소드 세그먼트 인근에 체류하게 된다. 일부 실시예에서, 캐소드의 선택된 세그먼트는 다른 세그먼트와는 다르게 전력을 공급받는다(가령, 다른 세그먼트와는 다른 극성을 갖거나 다른 레벨의 전류를 인가받는다). 다른 실시예

는 보조 세그먼트 시프 캐소드에 비해 웨이퍼를 양방향으로 회전하는 단계를 포함하는 도금 방법으로서, 도금 중 웨이퍼 상의 방위각적 불균일성을 보상하도록 실시된다. 본 실시예가 시프 캐소드 전환 전류를 이용하여 설명되지만, 본 실시예는 보조 멀티-세그먼트링된 애노드 또는 애노드/캐소드와 함께 이용될 수도 있다. 이러한 실시예에서, HRVA는 존재할 수도 있고 존재하지 않을 수도 있으며, 도금 중 회전할 수도 있고 회전하지 않을 수도 있다. 반드시는 아니지만 일반적으로, HRVA는 상술한 비대칭 HRVA에 반해 대칭 HRVA다. 2차 보조 전극은 여기서 설명되는 전계를 조작하도록 작동하지만 도금 중 움직이지 않는다.

[0096] 방위각적 비대칭 차폐부

[0097] 일부 실시예에서, 장치는 웨이퍼를 양방향으로 회전시키도록 구성되고, 상기 장치는 기관 인근에서 도금 전류를 제한하도록 구성되는, 하나 이상의 고정된 방위각적 비대칭 차폐부를 포함한다. 차폐부는 HRVA에 독립적으로 사용될 수 있고, HRVA 구멍을 차단하는 HRVA 플레이트 위에 또는 아래에 배치될 수 있으며, 또는, 차폐부 자체가 관통 구멍의 방위각적 비대칭 분포를 갖는 HRVA일 수 있다. 일부 실시예에서, 양방향 회전은 선택된 방위각 위치에서(가령, 노치 또는 미싱 다이에 인접한 위치) 기관의 선택된 부분이, 서로 다른 방위각 위치에서 기관의 유사 부분에 비해 서로 다른 시간동안 차폐 영역에 체류하도록, 조정된다. 이는, 예를 들어, 소정의 차폐 위치에서 웨이퍼의 선택된 방위각 부분의 긴 체류 시간을 생성하는 등과 같이, 시계 방향 및 반시계 방향 회전이 서로 다른 각도로 수행될 경우, 달성될 수 있다. 아래는 방위각적 비대칭 차폐의 다양한 구현의 비-제한적인 예다.

[0098] 세그먼트화된 또는 불규칙적인 환형 차폐부를 갖는 고정식 HRVA

[0099] 일 실시예에서, 방위각적 비대칭 웨이퍼에 대한 도금 균일도 제어는 방위각적 비대칭 차폐부를 부착한 고정식 HRVA를 이용함으로써 달성되며, 이 경우, 방위각적 비대칭 차폐부는 환형 차폐부에 방위각적 비대칭성을 부여하는 고리 주위로 방위각적으로 배치되는 하나 이상의 영역 및/또는 하나 이상의 세그먼트를 제거한 환형 차폐부다. 웨이퍼는 양방향으로 회전하고, 예를 들어, 시계 방향으로 한번 이상 회전을, 그 후 반시계 방향으로 한번 이상 회전을 하여, 방위각적 도금 보상이 필요한 웨이퍼 영역이 방위각적으로 평균화되어, 방위각적 균일한 도금이 발생하기 위한 전계 성형을 제공하도록 적절하게 상술한 영역 및/또는 적절한 세그먼트 위에 위치하게 된다. 웨이퍼 회전 속도 및/또는 방향의 조정을 통한 차폐부 위에서의 구체적 방위각 위치의 체류 시간 조정은 동기화를 위한 프로그램 명령을 지닌 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있다.

[0100] 일 실시예에서, 대칭 HRVA가 HRVA에 부착된 환형 차폐부와 조합하여 사용된다. 일 실시예에서, 환형 차폐부(또는 스페이서)가 HRVA에 고정되며, 환형 차폐부는 일부분이 제거되어, 고리에 비대칭성을 부여하는 특징부나 영역을 갖는다. 일반적으로, 양방향 웨이퍼 회전이 이용될 때, HRVA 및 부착된 차폐부가 이동하지 않는다. 일 실시예에서, 환형 차폐부는 도 3A에 도시되는 바와 같이 일부분이 제거되어 있다.

[0101] 도 3A를 참조하면, 굵은 하향 화살표로 표시되는 바와 같이, 환형 차폐부(300)가 대칭 HRVA(302)에 장착된다. 하부 조립체(306)는 HRVA와 접촉하는 세그먼트화된 차폐부를 도시한다. 소정의 실시예에서, HRVA로부터 웨이퍼 표면에 전해질의 충돌류가 존재하고 세그먼트화된 차폐부(300)가 반드시는 아니지만 일반적으로 웨이퍼 인근에 위치하기 때문에, 차폐부는 도금 중 웨이퍼의 도금면에, 특히 도금면 상의 회전 중심축에서, 횡방향 전단력을 부여하게 된다. 이러한 전단력은, 특히, 높은 도금 속도에서, 웨이퍼의 중심에서 관측되는 증착 속도의 불균일성을 감소시키거나 제거한다고 판단된다. 따라서, 세그먼트화된 환형 차폐부는 방위각적으로 불균일한 흐름 전환기(이는 웨이퍼 표면으로부터 세그먼트화된 영역을 통해 편향되는 다수의 전해질 흐름을 제한하는 흐름 제한기의 한 종류로 간주될 수 있음)로 불릴 수 있다. 일부 응용 분야에서, 이러한 타입의 흐름 전환기는 고속 도금이 요망되는 응용 분야(예를 들어, 웨이퍼 레벨 패키징(WLP) 응용 분야)에 사용된다. 이러한 응용분야의 일례가 2010년 8월 18일자 미국특허가출원 제61/374,911호(발명의 명칭: "High Flow Rate Processing for Wafer Level Packaging", 발명자: Steven T. Mayer, 외)에 기재되어 있고, 그 내용은 본 발명에 포함된다.

[0102] 환형 차폐부(300)는, 회전하는 워크피스를 향해 연장되면서 흐름 성형 플레이트의 원주에 부착되거나 그 인근에 부착될 수 있다. 일부 실시예에서, 차폐부의 에지 요소의 상측 표면은 에지 요소 위와 기관 홀더 주변부 사이의 영역의 대부분에 걸쳐 흐름 전환기와 웨이퍼 홀더 하부 사이에 매우 작은 갭(가령, 약 0.1 내지 0.5 mm)을 제공한다. 이 영역 바깥에서는(약 30 내지 120도의 호), 거의 닫힌 챔버로부터 전해질이 유동하기 위한 비교적 저저항 경로를 제공하는 에지 요소 내 갭이 존재한다. 다른 실시예에서, 환형 차폐부로부터 제거된 세그먼트가 없을 경우, 즉, 방위각 비대칭성을 부여하는 영역이 존재할 경우, 차폐부는 예를 들어, 요망하는 전해질 흐름의 양에 따라, 웨이퍼에 가까이 놓일 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다.

- [0103] 도 3A는 조립체(306) 형성을 위해 세그먼트화된 환형 차폐부(300)가 HRVA(302)와 어떻게 결합되는 지를 도시한다. 환형 차폐부(300)는 나사, 등을 이용하여 부착될 수 있고, 또는 조립체(306)가 예를 들어, 물질 블록으로부터 밀링 가공된 단위체일 수 있다. 조립체(306)는 도금될 기관에 인접하여 위치한다. 이러한 방식으로, 제한된 공간 또는 슈도 챔버가 웨이퍼와 흐름 성형판 사이에 형성되고, 웨이퍼 표면에 충돌하는 전해질 중 다수가(300)의 슬롯부를 통해 빠져나간다. 규정 반경의 링에 대한 선형 치수 또는 각도로 규정될 수 있는 치수(A)는 대략적인 전계 변화 영역을 구현하도록 변경될 수 있고, 치수(B)는 상술한 슈도 챔버 내 큰 볼륨 또는 작은 볼륨을 생성하도록 변경될 수 있다.
- [0104] 도 3B는 웨이퍼(345)를 홀딩하는, 그리고, 도면 위쪽에서 곡선형 화살표로 표시되는 바와 같이, 도금 중 양방향으로 웨이퍼를 회전시킬 수 있는, 웨이퍼 홀도 조립체(301)에 인접하여 위치하는 조립체(306)의 단면도다. 소정의 실시예에서, 조립체(301)의 하부와 스페이서(300)의 상부 간의 갭인 치수(C)는 약 0.1 내지 0.5 mm 수준이고, 다른 실시예에서는 약 0.2 내지 0.4 mm 수준이다.
- [0105] 도금 중, 차폐부가 절단 세그먼트에 의해 구획되는 섹터에서 전계를 서로 다르게 성형하기 때문에, 웨이퍼는 적절한 타이밍으로 차폐부와 동기화되어 전후로 회전하여, 방위각적 불균일성을 갖는 웨이퍼 상의 영역에 균일한 방위각적 도금을 달성하게 된다.
- [0106] 일부 실시예에서, 제거된 섹터를 갖는 환형 형상의 차폐부는 HRVA에 고정되지 않으나, 전기도금 중 회전하고, 웨이퍼 속도와는 다른 속도로 회전하는 것이 바람직하며, 이는 웨이퍼 인근에서 전해질의 유동을 최적화시키는 것을 돕는다.
- [0107] 상술한 바와 같이, 환형 차폐부가 세그먼트화될 필요가 없다. 예를 들어, 방위각적 비대칭성을 부여하는 부분을 포함할 수 있다(일 실시예에서, 차폐부는 방위각적 비대칭성을 부여하는 적어도 하나의 부분과 적어도 하나의 세그먼트화된 부분을 모두 포함한다). 도 4는 차폐부(300, 400-475)를 포함하는 다수의 예시적인 환형 차폐부를 도시한다. 도 4에서, 환형 차폐부는 대칭 HRVA 위에 부착되는 것으로 평면도로부터 도시된다. 차폐부(400-475)는 환형으로부터 벗어나는, 즉, 방위각적 비대칭 전계를 부여하는, 부분(영역)을 갖는 차폐부다. 즉, 규칙적인 환형으로부터 벗어나는 차폐부의 해당 부분을 포함하는 원 또는 고리를 따라, 전체 원 또는 고리 사이에서 균일한 도금 전계가 존재하지 않는다.
- [0108] 차폐부(300)가 균일한 두께(도 3A에 도시되는 치수(B))를 갖는 것으로 도시되지만 이것이 꼭 필요한 것은 아니다. 일 실시예에서, 차폐부 두께는 변한다. 예를 들어, 도 4A의 차폐부(400-475)의 두께가 가늘어질 수 있다. 예를 들어, 차폐부(405)와 관련하여, 일 실시예에서, 차폐부는 균일한 두께를 갖는다. 다른 실시예에서, 차폐부는 차폐부의 중심부로부터 외측부로 가늘어지고, 예를 들어, 중심부에서 얇고 반경(D)을 따라 외측 주변부를 향해 두꺼워진다. 이러한 두께는 예를 들어, 웨이퍼의 중심으로부터 외향으로, 효율적인 전해질 흐름을 위해 바람직할 수 있다. 이는 세그먼트화된 환형 차폐부(300)에 의해 부여되는 흐름과 유사하다. 이러한 가늘어짐은 내측 부분으로부터 외측부로 고리의 불규칙적 부분만이 아니라, 전체 고리를 따라 이루어질 수 있다.
- [0109] 환형 차폐부의 형상(또는 여기서 설명되는 독립적인 차폐부의 형상)은 방위각적 도금 불균일성뿐 아니라 반경 방향 불균일성도 수용하도록 재단될 수 있다. 도 4B를 참조하면, 예를 들어, 오탁한 반경 방향 도금 프로파일이 존재할 경우(도 4B의 좌상부의 그래프 표현 참조), 차폐부의 규칙적 고리 부분을 지나(내부로) 연장되는 차폐부 또는 환형 차폐부의 일부분이 성형되어, 오탁한 반경 방향 도금 프로파일을 보상할 수 있다. 본 예에서, 차폐부(480a)는 HRVA(302)의 중심을 향해 얇아서, 웨이퍼의 중심부가, 차폐부를 거칠 때, 적은 차폐를 받을 것이고 따라서, 많은 차폐 영역을 만나서, 따라서, 도금이 적게 이루어지는, 외측 영역에 비해 더 많은 도금을 얻을 것이다. 다른 예에서, 볼록한 도금 프로파일이 있는 경우, 차폐부(480b)(또는 환형 차폐부의 일부분)는 웨이퍼의 주변부를 향해 차폐가 적고 웨이퍼의 중심부를 향해 차폐가 많도록 성형된다. 예를 들어 도 4A에 도시되는 바와 같이, 환형으로부터 변화하는 차폐부의 해당 부분을 분기시키는 반경 주위로 대칭인 차폐부(400-435, 450-475)에 반해, 차폐부(440-445)의 비대칭 차폐 부분은, 도금 중 웨이퍼의 회전 시퀀스와 웨이퍼 상의 방위각적 불균일성에 따라 요망될 수 있다. 따라서, 차폐부(400-475)에 도시되는 바와 같이, 요망되는 도금과, 도금될 웨이퍼 상의 방위각적 비대칭성에 따라, 환형으로부터 벗어나는 환형 차폐부의 일부분의 해당 영역이 대칭일 수도 있고 비대칭일 수도 있다.
- [0110] 설명한 바와 같이, 여기서 설명되는 차폐 및 시빙(thieving)의 다양한 조합에 의해 생성되는 전계의 이러한 불균일성은 전계의 비대칭부와 동기화(또는 동기화없이) 및 도금 시간을 조합함으로써 이용되어, 웨이퍼 표면 상에서 방위각적 불균일성을 보상할 수 있고, 균일한 방위각적 도금을 달성할 수 있다. 본 문단에서 설명되는 실시예에서, 양방향 웨이퍼 회전이 앞서 설명한 차폐부들과 조합하여 사용된다. 타이밍 및 동기화는 다른 요인

들 중에서도, 웨이퍼 상의 방위각적 불균일성, 차폐부 구조, 요망되는 도금 정도, 도금 속도, 등에 따라 좌우될 것이다. 웨이퍼의 소정 영역, 웨이퍼 회전 속도, 및 회전 방향에 대한 차폐 특징부의 동기화는 동기화를 위한 프로그램 명령을 지닌 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있다. 방위각적 불균일성을 갖는 웨이퍼의 영역이 차폐부의 소정 특징부에 걸쳐(또는 소정 특징부와 동기화되어) 소정의 시간 주기를 소요하기 때문에, 방위각적 도금 균일도를 얻기 위한 상술한 방법들은 "체류 차폐" 방법으로 불리기도 한다. 차폐부에 걸쳐 특정 "체류"를 얻기 위해, 웨이퍼는 (비-차폐 영역에서의 속도 대비) 소정 회전 속도로 회전할 수 있고, 차폐가 넓을 수 있으며, 웨이퍼가 체류 시간 보장을 위해 소정 호까지 회전할 수 있고, 이들의 조합도 가능하다.

[0111] 세그먼트화된 또는 불규칙적인 환형 차폐부와 하나 이상의 추가적인 고정 차폐부를 갖는 고정 HRVA

[0112] 다른 실시예에서, 방위각적 비대칭 웨이퍼에 대한 도금 균일도 제어는, 환형 차폐부와 웨이퍼 사이에서의 하나 이상의 고정 차폐부에 추가하여, 대칭 HRVA에 부착되는, 세그먼트화된 차폐부와 같이, 앞선 단락에서 설명한 환형 차폐부를 이용함으로써 달성된다. 하나 이상의 고정 차폐부는 HRVA 구멍을 가리도록 구성되고, 방위각적으로 비대칭적인 토포그래피 특징부를 갖는 웨이퍼 영역에서 전류 밀도 분포의 불균일성을, 세그먼트화된 환형 차폐부와 웨이퍼의 양방향 회전과 함께 보상하도록(그리고, 반경 방향 불균일성을 보상하도록) 성형된다.

[0113] 도 5A는 상술한 바와 같이, 대칭 HRVA(302) 상에 세그먼트화된 환형 차폐부(300)를 도시한다. 각도(Ω)는, 본 예에서 90도로서, 도금 중 차폐부에 등록된 웨이퍼의 고리에 관한 전개 성형뿐 아니라, 웨이퍼 표면 주위의 전해질 흐름까지 규정하는 웨이퍼에 대한 인접도와 함께, 상술한 바와 같이, 절단된 세그먼트를 규정한다. 고정된 차폐부의 수 및 형상은 극복되어야 할 웨이퍼의 방위각적 불균일성, 반경방향 불균일성, 등에 따라 좌우된다.

[0114] 일 실시예에서, 차폐부(300)와 연계하여 사용되는 고정 차폐부의 수(N)는 수식 $N = 360^\circ / \Omega$ 로 규정된다. 예를 들어, Ω 가 도 5A에서와 같이 90도일 때, N은 4가 될 것이다. 도 5B는 HRVA(302) 주위로 규칙적 패턴으로 배열되는 4개의 고정 차폐부(500a-d)를 갖는 환형 차폐부(300)를 도시한다. 본 예에서, 차폐부(500a-d)는 옴직한 반경 방향 도금 프로파일이 될 사항(가령, 도 4B 및 관련 설명 참조)을 보상하도록 성형된다. 각 차폐부의 형상은 주어진 장치에서 독립적으로 변할 수 있고, 및/또는 차폐부가 HRVA 주위로 규칙적 패턴으로 배열될 필요가 없다. 일 실시예에서, 형상에 관계없이, 차폐부는 도 5B에 도시되는 바와 같이 규칙적 패턴으로 배열된다(즉, 환형 차폐부의 열린 부분의 중앙에 하나의 차폐부가 위치하고, 본 예에서 차폐부(500d)는 해당 위치를 점유한다). 도 5B에서 도시되는 바와 같이, 하나 이상의 추가적인 고정 차폐부를 갖는 세그먼트화된 환형 차폐부를 이용하여 설명되는 실시예는, 예를 들어, 도 5C를 참조하여 설명되는 바와 같이, 별도의 차폐부(500d)와 함께 차폐부(500a-c)와 동일 공간 내로 돌출하는 부분을 갖는 환형 차폐부를 갖도록 구현될 수 있다. 다른 예에서, 도 5D에 도시되는 바와 같이, 단일 차폐부(500f)가 사용된다. 차폐부(500f)는, 예를 들어, 고품 폴리머로부터 몰딩된 또는 가압 몰딩된, 단위체를 갖는다. 본 예에서, (E)로 표시되는 차폐부(500f)의 부분은 나머지 차폐부의 두께(B)보다 얇아서, 세그먼트화된 환형 차폐부와 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 전해질 흐름을 가능하게 한다. (도 5C에 도시되는 바와 같은) 차폐부(500d)를 분리시키는 것과 유사한 차폐부(500d)의 부분(E)의 일부는 예를 들어, 도 5D의 가장 아래쪽에 도시되는 바와 같이 나머지 차폐부와 동일한 두께(B)를 가질 수도 있다. 본 실시예에서, 웨이퍼가 도 2B와 관련하여 설명한 바와 같이 위치할 경우, 웨이퍼 홀더 조립체가 차폐부를 갖는 HRVA에 인접하여 놓일 때 형성되는 슈도-챔버를 전해질이 빠져나가도록 하는, 본질적으로 2개의 "고-유동" 유출구가 존재한다. 물론, 도 4A와 관련하여 설명한 바와 같이, 도 5B의 개별 차폐부(500a-d)에 대응하는 차폐부(400f)의 해당 부분은 가늘어질 수 있다(예를 들어, 차폐부의 주변부를 향해 두껍고 중심의 치수(B)를 따라 얇게 가늘어질 수 있다).

[0115] 도 4A 및 4B에 도시되는 바와 같이 별개의 차폐부를 갖고, 도 5D에 도시되는 바와 같이 단일 차폐부를 갖는 것에는 장점이 있다. 예를 들어, 도 5B와 관련하여 설명한 바와 같이 별개의 차폐부를 갖는 경우, 환형 차폐부(300)를 변화시킬 필요없이 차폐부(500a-d)를 스위칭할 수 있다. 또한, 차폐부(500a-d)가 환형 차폐부와 웨이퍼 사이에 장착되어, 이를 달성하기 위한 대응 지지 구조가 존재한다. 마찬가지로, 세그먼트 영역을 통한 최대 흐름이 요망될 때, 환형 차폐부 위에 별도의 차폐부를 갖는 경우 이러한 흐름을 도울 수 있다. 예를 들어 도 5D와 관련하여 기술된 바와 같은, 단일 차폐부는 별개의 차폐부(500a-d)에 대한 지지부와 같은 부분들이 적어서, 설치, 제작, 및 작동이 훨씬 간단할 수 있다.

[0116] HRVA와 관련하여 지금까지 설명한 차폐부는, HRVA와는 별도의, 추가적인 구성요소들의 측면에서 설명되었다. 반드시 그럴 필요는 없다. 예를 들어, 도 5E는 (도 2A 및 2B와 관련하여 설명한 것과 유사한) HRVA(550)를 도시하며, HRVA의 일부분들은 적은 수의 흐름 구멍, 또는, 본 예에서처럼 흐름 구멍이 아예 없는 영역(560)과, 본 예에서, 1차원 관통 구멍들을 갖는 단일 영역(570)을 갖는다. 본 실시예에서, 차폐는 HRVA의 중앙 영역에서 구멍

의 부재에 의해 이루어진다. 물론, 상술한 전해질 흐름 특성은 HRVA(550)에서와 같은 차폐 구성요소들이 어떤 수직 요소(즉, 두께 B)도 갖지 않을 때 다를 것이다. 다른 실시예에서, 도 5F에 도시되는 바와 같이, 유사 영역(560a)은 어떤 관통 구멍도 갖지 않을 뿐 아니라, 예를 들어, 구멍을 갖는 HRVA(570)의 표면 위의 높이(B)까지 상승한다. 도 4E 및 4F에 도시되는 예에서, 관통 구멍들은 HRVA 디스크에 선택적으로 형성되어, 도시되는 패턴을 형성하게 되고, 또는 다른 예에서, 관통 구멍은 전체 구조물을 통과하도록 형성되어 그 후, 예를 들어, 영역(560, 560a)에서, 선택적으로 차단된다. 후자의 실시예는 기존 드릴링된 물질을 이용하는 장점을 갖고, 예를 들어, 관심있는 구멍을 차단하기 위해 스크린 인쇄를 이용하는 장점을 갖는다. 다른 실시예에서, 밀봉될 구멍은 요망되는 패턴으로 성형되는 철을 이용하여 닫히도록 용융되고, 또는, 요망 구멍을 닫히도록 용융하기 위해 HRVA의 표면 주위로 이동하는 철을 이용하여 닫히도록 용융된다. 구멍은 전도열 소스, 대류열 소스, 유도열 소스, 및 복사열 소스의 이용을 포함한 임의의 개수의 방식으로 닫히도록 용융될 수 있다.

[0117] 도금 중, 웨이퍼는 HRVA와 차폐부에 걸쳐, 예를 들어, 양방향으로, 회전하여, 반경 방향으로 그리고 방위각적으로 균일한 도금을 얻을 수 있다. 예를 들어, 도 5B-F와 관련한 차폐부 배열을 참조하면, 웨이퍼는 약 270도의 호 주위로 양방향으로 회전한다. 예를 들어, 도 5F의 HRVA(580)를 도시하는 도 6을 참조하여, 도금 프로세스의 형태가 설명된다. 등록 노치(605)를 갖는 웨이퍼(600)가 HRVA(580) 위에 위치한다. 전해질 흐름은 HRVA(580)를 통과하여 웨이퍼(600)의 표면 상에 충돌한다. 편의를 위해, 웨이퍼(600)는 웨이퍼(600) 및 HRVA(580)의 상대적 배치를 확인할 수 있도록 윤곽 형태로만 도시되며, 웨이퍼(600)는 HRVA(580)보다 작은 직경을 갖는 것으로 도시된다. 등록 노치는 차폐 요소의 환형부에 의해 부여되는, 예지 차폐의 최소 양을 필요로 하는 영역에 인접하여 위치하고, 따라서, 도 6의 좌측부에 도시되는 바와 같이, 노치는 환형 차폐부의 개구부(세그먼트)의 선단 에지에서 시작되며, 웨이퍼는 시계 방향으로 270도 회전하여, 노치(605)가 차폐부의 열린 세그먼트의 다른 에지에서 종료되게 된다. 이러한 방식으로, 예지 차폐를 덜 요구하는, 노치에 인접한 웨이퍼 상의 영역은, 전체에 대해 더 많은 노출을 얻게 되어 더 많은 도금을 얻게 된다. 웨이퍼가 270도 회전함에 따라, 웨이퍼 상의 각각의 포인트는 도 5B에 차폐부(500a-d)로 표시되는, 3개의 내부 차폐 영역을 지나친다. 일 실시예에서, 웨이퍼는 요망 도금을 얻을 때까지 이러한 방식으로, 양방향으로, 각각의 방향에 대해 한번 이상씩 회전한다. 상술한 바와 같이, 환형 차폐부(두께, 폭, 높이, 세그먼트화 여부)와 추가적인 "내부" 차폐 요소, 예를 들어, 차폐부(500a-d)(두께, 폭, 형상이 필요에 따라 바뀔 수 있음)의 임의의 개수의 조합을 이용하여, 반경 방향 및 방위각적으로 도금 균일도를 재단할 수 있다.

[0118] **가변 회전 웨이퍼 속도를 이용한 도금**

[0119] 상술한 실시예들은 360도 회전의 일부분에 해당하는 일방향 또는 양방향 웨이퍼 회전에 관한 것이었지만, 방위각적 교정은 가변 속도 웨이퍼 회전을 이용함으로써 수행될 수도 있다. 즉, 웨이퍼가 주어진 영역, 예를 들어, HRVA의 구멍 영역 위에서 소정 각속도(R1)로 회전한 후, 다른 영역, 예를 들어, 차폐 영역 위에서 앞서와는 다른 각속도(R2)로 회전할 경우, 유사한 결과를 얻을 수 있다. 즉, 임의의 개별 풀 회전 중 회전 속도를 변화시키는 것은, 웨이퍼가 노출되는, 방위각적으로 가변적인 양의 시간-평균 차폐를 조정 및 획득하는 한가지 방법이다. 일 실시예에서는 각각의 회전 중 웨이퍼 속도가 변화하며, 또는 대안으로서, 단일 회전 중 또는 속도가 변할 수 있고, 또는, 일부 회전에서는 속도가 변하다가 나머지 부분에서는 속도가 변하지 않을 수 있다. 또한, 웨이퍼 속도가 일방향 회전(가령, 시계 방향 회전) 중에만 변화하고 다른 방향 회전(가령, 반시계 방향 회전)에서는 변하지 않을 수 있으며, 또는, 두 회전 방향 모두 속도가 변할 수 있다. 일 실시예는 양방향 웨이퍼 회전과 관련되는 데, 하나 이상의 단일 회전 중 회전 속도가 변하는 일방향 회전이나, 회전 속도가 변하는 양방향 회전을 이용한다.

[0120] 이러한 프로세스는 도 7 및 도 8에 도시되는 프로세스 순서도에 의해 도시된다. 제 1 프로세스는 기관 인근에 하나 이상의 방위각적 비대칭 차폐부를 갖는 장치에서 구현된다. 차폐부의 예는, HRVA 위에, 또는 HRVA 아래에 위치한, 또는 HRVA 없는 차폐부를 포함한다. 일부 실시예에서, 방위각적 비대칭 차폐부는 방위각적 비대칭 구멍 분포를 갖는 HRVA다. 이 프로세스는 웨이퍼 상에 선택된 방위각 위치를 등록함으로써 단계(701)에서 시작된다. 예를 들어, 노치의 방위각 위치는 광학 정렬기에 의해 등록되어 메모리에 레코딩될 수 있다. 단계(703)에서, 기관은 기관 홀더 내로 제공되고, 전해질 내로 잠긴다. 단계(705)에서, 기관의 선택된 부분이 차폐 영역 내에 있지 않을 때 기관이 제 1 속도로 회전하면서 도금된다. 단계(707)에서, 기관의 선택된 부분이 차폐 영역을 통과할 때 기관은 제 1 속도와는 다른 속도로 회전한다. 따라서, 웨이퍼의 한번의 풀 회전은 제 1 속도에서의 회전 주기와 제 1 속도와는 다른 속도(제 2 속도)에서의 회전 주기를 포함하며, 제 2 속도의 회전 주기는 기관의 선택된 부분이 차폐 영역을 통과할 때 적어도 부분적으로 발생한다. 앞서 언급한 바와 같이, 차폐부는 기관에 인접하게 배치되는 것이 바람직하며, 예를 들어, 도금가능 표면의 약 4mm 내에서, 또는, 기관 반경의 0.1 배 이하

의 거리 내에서 배치된다. 가변 속도 회전은 그 후 필요에 따라 반복될 수 있다. 예를 들어, 한번의 풀 회전은 20 rpm 이상 속도에서의 회전 주기에 이어, 10 rpm 이하의 속도에서의 회전 주기로 구성되며, 도금은 적어도 5 번의 풀 가변 속도 회전을 포함한다. 일례에서, 웨이퍼의 한번의 풀 회전은 웨이퍼의 선택된 부분이 차폐되지 않을 때 약 40 rpm 속도의 회전 주기에 이어, 웨이퍼의 선택된 부분이 차폐 영역을 통과할 때 약 10-15도동안 약 1 rpm 속도의 회전 주기로 구성된다. 도금은 적어도 약 10번, 가령, 적어도 약 20번의 가변 속도 회전을 포함한다. 전기도금의 모든 회전이 반드시 가변 속도여야 하는 것은 아니다. 예를 들어, 도금 프로세스가 일정 속도 풀 회전과 가변 속도 풀 회전을 모두 포함할 수 있다. 더욱이, 가변 속도 회전은 전기도금 프로세스에서 일방향 회전 및 양방향 회전 중 모두 구현될 수 있다.

[0121] 도 8은 방위각적 비대칭 시프(가령, C-형 시프) 또는 멀티-세그먼트된 시프 캐소드를 갖춘 장치에서 도금을 위한 프로세스 순서도를 도시한다. 이 프로세스는 광학 정렬기로 요망 방위각 위치를 등록함으로써 단계(801)에서 시작된다. 단계(803)에서, 기관은 웨이퍼 홀더 내로 배치되고 전해질 내에 잠긴다. 단계(805)에서, 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분이 방위각적 비대칭 시프 캐소드 인근에, 또는 멀티-세그먼트된 캐소드의 세그먼트 인근에 위치할 때 웨이퍼가 제 1 속도로 회전하면서 도금이 수행된다. 단계(807)에서, 선택된 영역이 시프 인근에 없을 경우 회전 속도가 변한다(웨이퍼가 느려지거나 가속된다). 따라서, 한번의 풀 회전에, 선택된 영역이 시프 또는 시프 세그먼트의 인근에 있을 때 제 1 속도로 제 1 시간 주기동안 웨이퍼가 회전하고, 선택된 영역이 시프로부터 멀리 떨어질 때 제 1 속도와는 다른 제 2 속도로 소정의 시간 주기동안 웨이퍼가 회전한다. 가변 속도 회전은 필요에 따라 여러 사이클(가령, 적어도 10회 이상) 반복될 수 있다.

[0122] 일부 실시예에서, 복수의 차폐부 및/또는 복수의 시프 세그먼트가 장치에 포함되며, 및/또는 방위각적 균일도를 교정할 필요가 있는 복수의 선택 영역을 웨이퍼가 지니며, 웨이퍼의 한번의 풀 회전은 느린 회전과 빠른 회전이 교번되는 복수의 주기를 포함할 수 있어서, 가령, 필요한 모든 선택된 방위각 부분을 이용하여 요구되는 차폐부 및/또는 시프를 등록할 수 있다.

[0123] 양방향 회전 및 가변 속도 회전 균일도 교정 방법은 서로 다른 방위각 위치에서 기관의 유사 부분의 체류 시간에 비해 선택된 방위각 위치에서 기관의 선택된 부분에 대해 서로 다른 체류 시간을 제공하는 능력을 특징으로 하며, 체류 시간은 시프 캐소드(또는 시프 캐소드의 세그먼트) 인근에서 차폐 영역 내 선택된 부분의 체류를 의미한다. 상술한 바와 같이, 이러한 실시예는 다른 타입의 보조 전극(가령, 방위각적으로 비대칭인 보조 애노드와, 애노드/캐소드와, 멀티-세그먼트된 애노드 및 애노드/캐소드)과 함께 사용될 수도 있다.

[0124] **패턴처리 방법/장치**

[0126] *

[0127] *여기서 제시되는 일례의 실시예에 따른, 전기도금 장치의 개략적 단면도가 도 9에 도시된다. 이러한 비제한적인 예는 HRVA 위에 위치한 방위각적 비대칭 차폐부와 방위각적 비대칭 시프 캐소드(다른 실시예에서는 애노드 또는 애노드/캐소드일 수 있음)를 모두 갖는 장치를 도시한다. 다른 실시예에서, 도금 셀은 이와는 다른 구성요소를 가질 수 있고, 또는, 일부 구성요소(예를 들어, HRVA)가 빠질 수 있으며, 및/또는 장치가 시프없이 차폐부를 가질 수 있고 또는 차폐부없이 시프를 가질 수 있다. 도 9에 도시되는 바와 같이, 도금 장치(901)는 애노드(905)를하우징하는 도금 셀(903)을 포함한다. 애노드는 액티브 애노드(가령, 구리나 주석과 같이, 도금되는 금속을 포함하는 애노드)일 수도 있고 비활성 애노드일 수도 있다. 본 예에서, 도금가능 금속의 이온을 포함하는 전해질(907)과, 산이 애노드(905)를 통해 셀(903) 내로 유입되고, 전해질은 수직 배향(비-교차) 관통 구멍을 갖는 (HRVA 또는 이온 저항성 이온 투과성 요소로 알려진) 흐름 성형 요소(909)를 통과한 후, 웨이퍼 홀더(913)에 의해 홀딩되고 위치하며 이동하는 웨이퍼(911) 상에 충돌한다. 도시되는 예에서, 웨이퍼 홀더는 웨이퍼를 양방향으로 회전시키도록 구성되고, 가변 속도로 웨이퍼를 회전시키도록 또한 구성될 수 있다. 전해질의 충돌류는 수직 화살표로 도시되며, 이는 웨이퍼(911) 상향으로 흐름 성형 요소(909)의 채널을 통해 흐르는 전해질을 나타낸다. 방위각적 비대칭 시프 캐소드(915)(가령, 웨이퍼 주변부의 일부분 주위에 위치하는 C-형 시프)는 흐름 성형 요소(909) 위에 위치한다. 더욱 일반적으로, 시프는 전해질과 이온 연통되는 임의의 위치(가령, 도금 배스 또는 별도의 챔버 내)에 놓일 수 있다. 시프 캐소드(915)는 전력 공급원(도시되지 않음)의 음단자에 연결되고, 웨이퍼 기관으로부터 이온 전류를 전환시키도록 구성된다. 추가적으로, 방위각적 비대칭 차폐부(917)(가령, 웨지-형 차폐부)가 웨이퍼 기관 인근에서 흐름 성형 요소(909) 위에 위치한다.

[0128] 균일도를 최적으로 제어하기 위해, 흐름 성형 요소와 차폐부 모두가 기관에 인접하여 위치하는 것이 바람직하다. 일부 실시예에서, 흐름 요소의 상부 표면과 전기도금 중 기관 홀더의 하부 표면으로부터 거리는 약 1 내지 5mm 사이다. 차폐부(917)는 기관 홀더의 하부 표면의 약 4mm 이내에 위치하는 것이 바람직하다.

- [0129] 일부 실시예에서, 흐름 성형 요소는 약 5mm 내지 약 10mm 사이의 두께를 갖고, 흐름 성형 요소의 기관에 면하는 표면은 전기도금 중 기관의 도금면으로부터 약 10mm 이하의 거리만큼 이격되며, 약 5mm 이하의 거리만큼 이격되는 것이 더욱 바람직하다. 일부 실시예에서, 흐름 성형 요소는 약 6,000개 내지 12,000개 사이의 채널을 갖는 디스크다.
- [0130] 웨이퍼(911)는 웨이퍼의 주변부에 대한 복수의 전기 접촉부를 갖는 것이 일반적이며, 전력 공급원의 음단자에 전기적으로 연결되어, 전도성 층을 위쪽에 갖는 웨이퍼가 전기도금 중 캐소드로 기능하게 된다. 전력 공급원의 양단자는 애노드(905)에 전기적으로 연결된다. 전위차가 인가되면, 도금가능 금속의 이온과 양성자를 웨이퍼 표면으로 이동시키는 이온 전류가 나타난다. 금속의 이온은 웨이퍼 표면에서 환원되어, 기관의 표면 상에 전기도금된 금속층을 형성한다. 도금된 층의 균일도는 기관 인근에서 도금 전계의 분포에 따라 좌우되며, 이는 여기서 제공되는 방법을 이용하여, 방위각적 비대칭 시프(915)를 이용한 전류 전환과, 방위각적 비대칭 차폐부(917)를 이용한 차폐에 의해 조정될 수 있다.
- [0131] 전기도금 장치(901)의 구성요소에 전기적으로 연결되는 컨트롤러(919)는 웨이퍼 및 시프에 인가되는 전류의 레벨, 도금 베스에 대한 전해질의 전달에 관련된 파라미터, 그리고, 기관의 회전 속도 및 회전 방향과 같은, 전기도금에 필요한 파라미터를 명시하는 프로그램 명령을 포함한다. 컨트롤러(919)는 웨이퍼의 선택된 방위각적 위치를 등록하는 등의, 여기서 설명되는 모든 방법을 실행하기 위한 프로그램 명령들을 포함하며, 이러한 등록을 통해, 웨이퍼의 선택된 방위각 위치가, 서로 다른 방위각 위치에서 웨이퍼의 유사 부분에 비해 차폐 영역에서 또는 시프에 근접한 영역에서 서로 다르게 체류하게 된다. 컨트롤러는 하나 이상의 메모리 소자와 하나 이상의 프로세서를 일반적으로 포함할 것이다. 프로세서는 CPU나 컴퓨터, 아날로그 및/또는 디지털 입력/출력 연결부, 스테퍼 모터 컨트롤러 보드, 등을 포함할 수 있다.
- [0132] 소정의 실시예에서, 컨트롤러는 증착 장치의 모든 활동을 제어한다. 시스템 컨트롤러는 웨이퍼 회전 속도, 방위각 위치 등록, 등을 제어하기 위한 프로그램 명령 세트를 포함하는 시스템 제어 소프트웨어를 실행한다.
- [0133] 일반적으로 컨트롤러와 상관된 사용자 인터페이스가 존재할 것이다. 사용자 인터페이스는 디스플레이 스크린, 장치 및/또는 프로세스 조건의 그래픽 소프트웨어 디스플레이, 그리고 사용자 입력 장치(가령, 포인팅 장치, 키보드, 터치 스크린, 마이크로폰, 등)을 포함할 수 있다.
- [0134] 증착 프로세스를 제어하기 위한 컴퓨터 프로그램은 예를 들어, 어셈블리어, C, C++, 등과 같은 종래의 임의의 컴퓨터 판독형 프로그래밍 언어로 기록될 수 있다. 컴파일된 객체 코드 또는 스크립트는 프로그램에서 식별되는 작업을 수행하기 위해 프로세서에 의해 실행된다.
- [0135] 도 9에 도시되는 모습이 일 실시예의 단순화된 기법이며, 이는 여기서 설명된 전기도금 장치의 모든 세부사항을 보여주지 않는다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 비대칭 차폐부는 비대칭 HRVA이고, 일부 실시예에서, 시프, 차폐부, 또는 HRVA와 같은 도금 셀의 구성요소는 회전하도록 구성된다.
- [0136] 여기서 설명되는 장치 및 방법은 예를 들어, 반도체 소자, 디스플레이, LED, 광기전판, 등의 제조 또는 제작을 위한 리소그래피 패턴처리 툴이나 프로세스와 연계하여 사용될 수 있다. 반드시는 아니지만 일반적으로, 이러한 툴/프로세스는 공통 제조 설비에서 함께 사용되거나 수행될 수 있다. 필름의 리소그래피 패턴처리는 일반적으로 다음의 단계들 중 일부 또는 전부를 포함하고, 각각의 단계는 다수의 가능한 툴을 이용하여 구현된다 - (1) 스핀-온 또는 스프레이-온 툴을 이용하여 워크피스 상에, 즉, 기관 상에, 포토레지스트를 도포하는 단계와, (2) 핫 플레이트 또는 노, 또는 자외선 경화 툴을 이용하여 포토레지스트를 경화시키는 단계와, (3) 웨이퍼 스테퍼와 같은 툴을 이용하여 가시광 또는 자외선 또는 X-선에 포토레지스트를 노광시키는 단계와, (4) 레지스트를 현상하여 레지스트를 선택적으로 제거하고 습식 벤치와 같은 툴을 이용하여 레지스트를 패턴처리하는 단계와, (5) 건식 또는 플라즈마-보조 식각 툴을 이용하여 레지스트 패턴을 아래 필름 또는 워크피스로 전이하는 단계와, (6) RF 또는 마이크로파 플라즈마 레지스트 스트리퍼와 같은 툴을 이용하여 레지스트를 제거하는 단계. 일 실시예의 방법은, 반경 방향 및 방위각적 균일도 모두를 위해 전기도금 후 웨이퍼에 포토레지스트를 도포하는 단계와, 에너지 소스에 포토레지스트를 노광시키는 단계와, 레지스트를 패턴처리하고 패턴을 웨이퍼로 전이시키는 단계와, 웨이퍼로부터 포토레지스트를 선택적으로 제거하는 단계를 포함한다. 일 실시예는 스테퍼를 또한 포함하는 장치를 포함하는 시스템이다. 일부 실시예에서, TSV 및 WLP 공정에 사용될 때, 포토레지스트가 도포되고 패턴처리되어, 전기도금 이전에 하나 이상의 요홈 특징부를 갖는 표면을 제공하게 되고, 특징부들은 전기도금 중 금속으로 충전되며, 포토레지스트는 전기도금 후 제거된다.
- [0137] 애노드 및 캐소드로 모두 기능하도록 구성되는 방위각적 비대칭 및 멀티-세그먼트된 전극과, 방위각적 비대칭

및 멀티-세그먼트된 애노드

- [0138] 앞서의 문단들에서, 방위각적 비대칭 및 멀티-세그먼트된 전극과 같은 보조 전극은 시프 캐소드(이온 (도금) 전류를 전환시키도록 구성되는 음성 바이어스 전극)로 주로 예시화되었고, 여기서는, 보조 방위각적 비대칭 및 보조 멀티-세그먼트된 애노드에 관한 다른 실시예에서, 도금 전류를 도네이팅하도록 구성되는 양성 바이어스 전극을 이용하여, 시프 대신에 방위각적 교정을 행한다. 또 다른 실시예에서, 애노드 및 캐소드 모두(애노드/캐소드라고도 표현함)로 기능하도록 구성되는 방위각적 비대칭 및 멀티-세그먼트된 전극이 시프 대신에 사용된다. 애노드/캐소드는 소정 시간동안 양으로 바이어스되도록 구성되어, 전류를 도네이팅할 수 있게 되고, 전류를 전환하도록 구성되어 전류 시프로 기능할 때, 전기도금 중 또 다른 시간 주기동안 음으로 바이어스되도록 구성된다. 여기서 제공되는 실시예는 상술한 실시예 중 임의의 실시예를 포함하며, 시프 캐소드 대신에, 보조 애노드, 또는 보조 애노드/캐소드가 사용된다.
- [0139] 일반적으로, 시프 캐소드, 보조 애노드, 및 보조 애노드/캐소드는 보조 전극이라 불린다. 이들은 방위각적 비대칭 전극(가령, C-형상 전극) 및 멀티-세그먼트된 보조 전극을 포함한다.
- [0140] 보조 애노드는 예를 들어 산소 가스를 발생시키는 비활성 애노드 또는 치수적으로 안정한 애노드일 수도 있으며, 또는, 도금 금속의 금속 이온을 생성하는 금속 애노드일 수도 있다. 보조 캐소드는 사용 중 금속 도금을 진행할 수 있고, 또는, 수소 방출과 같이 또 다른 음극 반응을 진행할 수 있다. 금속 도금에 비해 수소 방출은 도금가능한 금속 이온이 전극 표면으로부터 배제될 경우 구현될 수 있으며, 예를 들어, 산 또는 도금불가능 염만을 함유한 용액과 같이 금속없는 용액에 보조 전극을 노출시킴으로써, 또는, 도금 물질을 함유한 물질들의 혼합을 방지하도록 주 챔버로부터 보조 전극을 물리적으로 분리시키되, 유체 전달에 저항성을 갖는 이온 전도성 매체(가령, 음이온 막)를 통해 주 도금 챔버와 이온 연통 상태를 유지시킴으로써, 구현될 수 있다.
- [0141] 보조 애노드 또는 애노드/캐소드 이용은, 여러 실시예에서 전기도금 중, 산란 입자의 형성, 금속의 박편화, 및 도금 베스의 오염을 일으킬 수 있는, 금속이 시프 캐소드 상에 증착되기 때문에 가끔 선호된다. 이와 달리, 보조 애노드는 양으로 바이어스되고, 그 표면에서의 금속 증착이 방지된다. 더욱이 일부 실시예에서, 음으로 바이어스되는 것보다 양으로 바이어스되는 경우에 더 많은 시간을 소요하는 애노드/캐소드 역시 동일한 이유로 선호된다(즉, 알짜 양전류가 존재하며, 따라서, 완전한 공정 사이클동안 전극 상에 금속의 알짜 축적이 전혀 없다. "알짜" 애노드 기능을 갖는 이러한 애노드/캐소드는, 음극 단계 중 그 표면 상에 증착되는 금속이 양극 단계 중 재용해될 것이기 때문에, 그 표면 상에 금속 증착물을 축적하지 않을 것이다.
- [0142] 보조 애노드 및 애노드/캐소드는, 웨이퍼 주변부를 균일하게 차폐하기 위해 웨이퍼 아래에 배치되는 대칭 환형 차폐부와 같은 차폐부가 웨이퍼의 표면(가령, 그 주변부)에 도금 전류를 일반적으로 부족하게 할 수 있기 때문에(요망 도금보다 얇게 나타나는 "콜드" 영역), 차폐부와 연계하여 사용되는 것이 가장 바람직하다. 웨이퍼의 비교적 중앙에 위치한 영역에 비해 에지-영역-부족 도금을 야기하는 영향의 영역 범위와 대칭 환형 차폐부의 유효성의 크기에 영향을 미치는 주 파라미터는 차폐부의 크기다(전류 차단 차폐부 최대측 직경이다). 웨이퍼의 비대칭성은 웨이퍼의 나머지에 비해 전류가 대략 부족한 하나 이상의 방위각 위치에서 하나 이상의 영역을 삽입할 것이다. 적절히 선택된 차폐부 크기를 이용함으로써, 미싱 다이 또는 특징부 근처의 웨이퍼의 방위각 영역은 평균 특징부보다 약간 두껍게 나타나도록 조정될 수 있고, 이와 동시에, 미싱 다이/특징부가 없는 웨이퍼의 방위각 영역은 전류 및 두께가 부족한 경향을 나타낼 것이다. 에지쪽에서 더 차단되는(내경이 작은) 차폐부를 이용할 경우, 미싱 다이 영역과 일반적인 에지 영역 모두 결핍되는 상황이 나타날 것이나, 미싱 다이 영역은 일반적으로 에지보다 결핍이 적을 것이다. 또는, 앞선 2개의 예보다 큰 내경을 갖는 차폐부가 선택될 수 있고, 이 경우 일반적인 에지와 미싱 다이 영역이 웨이퍼 중심보다 두껍지만, 미싱 다이 영역 특징부는 웨이퍼 상에서 가장 두껍다. 보조 C-형상 전극은 그 후, 서로 다른 방위각 위치에서로 다른 각도로 및/또는 서로 다른 부호로(양극 대 음극)에지 도금 전류를 도네이팅함으로써, 임의의 다른 경우(즉, 과도한 경우 및 부족한 경우 모두)를 교정할 수 있다. 보조 애노드/캐소드는, (애노드/캐소드가 양으로 바이어스되는 시간 동안) 웨이퍼의 선택된 방위각 위치로 전류를 도네이팅함으로써, 그리고, (애노드/캐소드가 음으로 바이어스되는 시간 동안) 웨이퍼의 서로 다른 방위각 위치로부터 전류를 전환함으로써 이러한 문제를 교정할 수 있다.
- [0143] 도 10A는 미싱 특징부를 갖는 웨이퍼 내 방위각적 균일도를 교정하기 위한 C-형상 애노드/캐소드의 이용을 위한 모습을 제공한다. 도 10A는 웨이퍼 회전에 따른 4개의 모습을 도시하며, 미싱 다이/특징부 영역이 약간 두껍고 나머지 웨이퍼 에지가 약간 얇도록 하는 크기로 형성되는 적당한 양의 에지 연장부를 차폐부가 갖는다. 모습 (1001, 1003, 1005, 1007)은 웨이퍼가 중심축 주위로 회전함에 따라 서로 다른 시점에서 얻은 것이다. 회전 속도는 일정할 수 있고(본 실시예의 경우 가장 흔한 구성임), 하지만 회전 중 변할 수도 있다. 아래의 그래프는

회전 주기에 걸쳐, 그리고 4개의 시점과 웨이퍼 각도 위치 중에, C-형상 보조 전극에 공급되는 양극 및 음극 전류의 레벨을 도시한다. 모습(1001)에서, 미싱 다이 영역(1009)은 C-형상 보조 전극(1011)에 인접하여 위치한다. 차폐부(1020)는 미싱 다이 영역에서 약간 두꺼운 영역을 생성하고 일반적인 에지 영역에서 약간 얇은 영역을 형성하는 사이에 중심을 잡으며, "적당한" 크기를 갖는다. 따라서, 교정된 음극 전류를 인가하지 않으면서, C-형상 보조 전극에 면하는 영역이 두꺼운 상태로 종료될 것이다. 미싱 다이 영역에서 넘치는 전류를 완화시키기 위해, C-형상 전극은 이 시점에서 캐소드로 기능하게 되고 음으로 바이어스되어, 예를 들어, 미싱 다이 영역으로부터 전류를 전환하게 된다. 이러한 모습(1003, 1005, 1007)에서, 웨이퍼는 회전하여, 미싱 다이 영역(1009)이 C-형상 보조 전극(1011)으로부터 멀리 이동한다. 이러한 3개의 시점에서, 전극은 양으로 바이어스되어, 근처에 있는 웨이퍼의 주변부에 전류를 도네이팅할 수 있게 된다. 따라서, 웨이퍼의 한번의 완전한 회전 중, 전극은 캐소드로 바이어스된 상태로 시간 부분을 소요할 것이고, 애노드로 바이어스된 상태로 소정의 시간 부분을 소요할 것이며, 인가되는 전류 레벨(크기) 및 바이어스 타입(부호)은 웨이퍼의 회전과 상관되어, 웨이퍼의 선택된 방위각 위치(이 경우에 미싱 다이 영역)에 대한 구체적 교정을 제공하게 된다. 도 10A에 도시되는 도해가 통상의 차폐와 연계하여 사용될 수 있고, 웨이퍼의 대부분은 "콜드"이며(보조 전극으로부터 도네이션을 요구하는 충분치 않은 전류를 경험), 미싱 다이 부분은 "핫"이다(전환될 필요가 있는 전류 밀집을 경험).

[0144] 일부 실시예에서, 예를 들어, 웨이퍼 주변부의 강한 차폐를 갖는 경우에, 웨이퍼 주변부는 매우 "콜드"할 수 있고, 미싱 다이 지역(missing die region)은 덜 "콜드"하여, 모든 방위각적 위치가 보조 애노드에 의해 현재의 도네이션을, 서로 다른 정도로, 요구하게 된다. 이는 강한 차폐부(1021)를 갖는 도 10B에 도시되며, C-형상 전극에 제공되는 전류는, 미싱 다이 영역(선택된 방위각 위치)이 전극 인근에 있을 때, 항상 양성이지만, 낮은 레벨로 제공된다. 미싱 다이 영역이 전극으로부터 멀리 회전하여 더 많은 전류를 웨이퍼 주변부의 콜드 영역으로 도네이팅하게 될 때, 양극 전류는 증가한다. 따라서, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극은 제 1 전력 레벨(또는 전류 레벨)에서 애노드로 바이어스되는 소정의 시간 구간과, 제 1 전력 레벨보다 높은 제 2 전력 레벨에서 애노드로 바이어스되는 소정의 시간 구간을 보내게 되며, 이러한 전류 레벨들은 웨이퍼의 선택된 방위각 위치에 특정 교정을 제공하도록 하는 방식으로 웨이퍼의 회전과 상관된다.

[0145] 일부 실시예에서, 예를 들어, 차폐가 약할 때, 애노드/캐소드에 제공되는 음극 전류 레벨은 음극 전류 레벨보다 실질적으로 클 수 있다. 이는, 예를 들어, 도 10C에 도시된다. 동일한 타입의 웨이퍼의 경우, 약한 차폐부(1022)는 미싱 다이 영역에 대한 음극 전류의 레벨이 2개의 선행 예 중 어느 경우보다 클 것이며, C-형상 전극에 대한 일반적 에지 노출 중 공급되는 양극 전류가 훨씬 작을 것이다(또는 웨이퍼, 차폐부, 및 셀 설계의 세부 사항에 따라 음극성일 수도 있다).

[0146] 또 다른 실시예에서, 가령, 일반적인 대칭 차폐가 거의 없거나 전혀 없는 경우, 보조 C-형상 전극이 캐소드로만 기능한다. 즉, 전극이 선택된 방위각 위치 인근에 존재할 때 음극 전류의 제 1 레벨이 전극에 공급되고, 선택된 위치가 C-형상 보조 캐소드로부터 멀리 회전할 때 캐소드 전류의 제 1 레벨과는 다른 제 2 레벨이 공급된다. 따라서, 웨이퍼의 한번의 풀 회전 중, 전극은 제 1 전력 레벨(또는 제 2 전류 레벨)에서 캐소드로 바이어스되는 소정의 시간 구간과, 제 2 전력 레벨(또는 제 2 전류 레벨)에서 캐소드로 바이어스되는 소정의 시간 구간을 보내며, 이러한 전력 레벨들은 웨이퍼의 선택된 방위각 위치에 대해 구체적 교정을 제공하도록 하는 방식으로 웨이퍼의 회전과 상관된다.

[0147] 미싱 다이나 특정부 영역이 없는 경우에도, (양극 또는 음극) 전류 인가를 이용하여 일반적인 에지 두께 분포를 조정할 수 있고, 따라서, 장치의 이용은 방위각적 불균일 패턴을 갖는 웨이퍼의 작동만으로 제한되지 않는다. 대신에, 이러한 설계는 방위각적 불균일 패턴을 갖는 경우와 안갖는 경우 모두 에지 교정에 유용하다.

[0148] 도 10A-10C에 도시되는 실시예는 비대칭 보조 전극에 제공되는 전력이 웨이퍼 회전과 상관되는 방법에 관련되어, 서로 다른 방위각 위치에 대해 웨이퍼 상의 선택된 방위각 위치에 서로 다른 레벨의 도금 전류를 제공할 수 있고, 따라서, 선택된 방위각 위치에 대해 서로 다르게 도금 전류를 전환하거나 및/또는 도네이팅할 수 있다. 이러한 전기도금 방법을 수행하도록 구성된 장치는 보조 전극의 전력 레벨 및/또는 극성을 웨이퍼의 선택된 방위각 부분(가령, 미싱 다이)의 위치와 상관시키도록 프로그래밍된 컨트롤러 및 관련 인코더를 포함한다.

[0149] 대안의 실시예에서, 방위각적 비대칭 전극(가령, C-형상 애노드, 캐소드, 또는 애노드/캐소드) 또는 멀티-세그먼트된 전극은 도금 전류의 일반적 교정을 위해 일정 전력 레벨이 인가될 때에도 유용한 것으로 판명되었다.

[0150] 웨이퍼 에지에 대한 전극의 위치 및/또는 전류의 보조 전극 라인의 한정은 상당한 중요성을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 보조 전극(가령, C-형상 애노드, 캐소드, 또는 애노드/캐소드)이 웨이퍼 기관 인근에 위치하는 것이 바람직하다. 바람직하게는 기관과 전극 간의 거리가 원형 기관 반경의 0.2배 이하여야 한다. 이 거리에서,

전극은 기판 표면에서 이온 전류 환경을 교정하는데 특히 효과적이다. 이보다 긴 거리에서, 보조 전극은, 이온 전류 전환/도네이션이 전극 면 바로 앞에서 덜 선호되며, 많은 방위각 위치를 포함하는 웨이퍼의 넓은 면적에 걸쳐 확산되기 때문에 덜 알려져서, 프로세스 제어를 조금 더 어렵게 만든다. 그러나, 근접 환경에서, 전극에 의한 전류의 전환 및/또는 도네이션이, 교정될 필요가 있는 구체적 방위각 영역 상에 집중(포커싱)될 수 있다. 여기서 제공되는 보조 애노드는 웨이퍼로부터 긴 거리에 위치한 방위각적 비대칭 애노드와는 구분된다.

[0151] 대안으로서, 또는 상술한 근접 포커싱에 추가하여, 보조 전극은 한정 구조 내에 하우징될 수 있어서, 도네이팅 된/전환된 전류가 x-y 방향으로 실질적으로 분포되는 것을 방지할 수 있다. 방위각적 전류 흐름 한정 구조(1101)에 C-형상 보조 전극(1103)을 갖는 장치의 평면도가 도 11에 도시되고, 이러한 한정 구조는 웨이퍼(101) 인근에 작은 영역까지 보조 전극으로부터 전류의 노출을 한정한다. 유사한 그러나 동일하지 않은 구조의 등각 투상도가 도 12에 도시된다. 보조 전극은 완전히 분리된 챔버에 하우징될 수도 있으며, 전해질-함유 채널 또는 이를 요망 위치 및 각도로 주 도금 챔버에 연결하는 유사 한정 및 각도-영향-형성 영역을 갖는다. 이는 종종 "가상 보조 전극"의 구조로 불리며, 가상 전극의 배치/위치는 주 도금 챔버에 대한 보조 챔버의 연결형 채널 개구부와 일치한다.

[0152] 한정 또는 가상 챔버를 이용할 경우, 전환되는 및/또는 도네이팅되는 전류의 형상이 전극 또는 그 개구부를 하우징하는 한정 구조의 형상에 의해 형성될 것이기 때문에, 물리적 전극 자체의 형상은 덜 중요해지며, 한정 구조는 본질적으로 가상 보조 전극으로 기능한다.

[0153] 도 12는 도금 셀 상측 챔버(1200)의 예시적인 실시예의 등각 투상도로서, 웨이퍼 및 웨이퍼 홀더가 위에 위치하고 근접한 상태에서 회전한다(그러나 웨이퍼 및 홀더는 도시되지 않음). 셀의 외측 원형 유체 함유체(1201)는 대부분의 원주 주위로 상측 유체 한정 벽체(1206)를 갖는다. 도시되는 실시예에서, 셀의 중심은 HRVA 플레이트 또는 흐름 디퓨저(1203)다(단순화를 위해 플레이트 내 다수의 소구멍들이 도시되지 않음). HRVA의 에지 주위로 대칭 환형 차폐부(1202)가 웨이퍼 에지 아래에 위치한다. 상측 챔버의 원주의 일부분 위에 C-형상 보조 전극(1204)이 위치한다. 바람직한 실시예에서, 보조 전극(1204) 위의 영역에 놓이는(셀의 중심으로부터 약간 더 제거된) 영역에서는 상측 챔버(1200)의 벽체(1206)가 약간 낮은 레벨로 절단되어, 고품 또는 다공질(가령, 스크린) 보조 전극 주위로 그 사이에서의 유체 흐름의 선호적인 채널링을 구현하게 되고, 따라서, 적절한 대류를 공급할 수 있고 셀로부터 임의의 입자나 버블을 제거할 수 있다.

[0154] **설명되는 방법은 전기도금에 제한되지 않음**

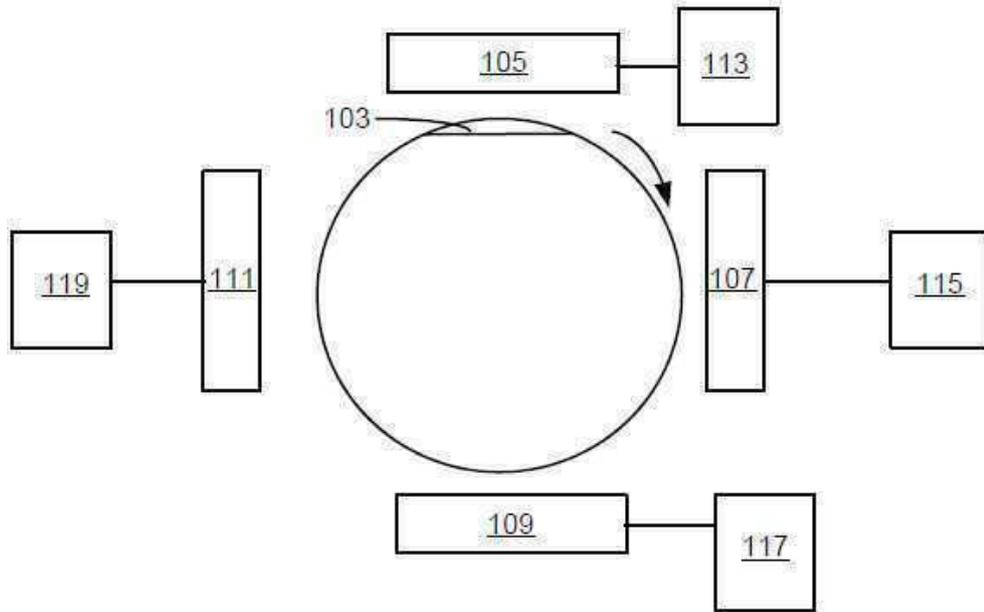
[0155] 여기서 설명되는 방위각적 교정에 관한 발명의 일부 형태는 전계증착을 넘어 여러 다른 필름 증착 및 제거 응용 분야에 적용될 수 있고, 다른 증착 및 제거 기술의 작동 방법과 물리적 메커니즘의 잘 알려진 차이점을 고려하여 적절히 적용할 수 있다. 예를 들어, C-형상 또는 말굽-형상 보조 표적은 회전 기판 상의 방위각적 가변 증착 속도를 구현하기에 적합할 것이며, 또는, 플라즈마 에칭 장치 내부의 회전하는 웨이퍼 앞에, 여기서 설명되는 것과 유사하게 배치되는 비대칭 물리적 마스크는 에칭에서, 그리고, 웨이퍼 에지 상의 특정 각도 위치에서, 각도별로 제어가능한 에칭 속도를 이끌 수 있다.

[0156] **시스템 컨트롤러**

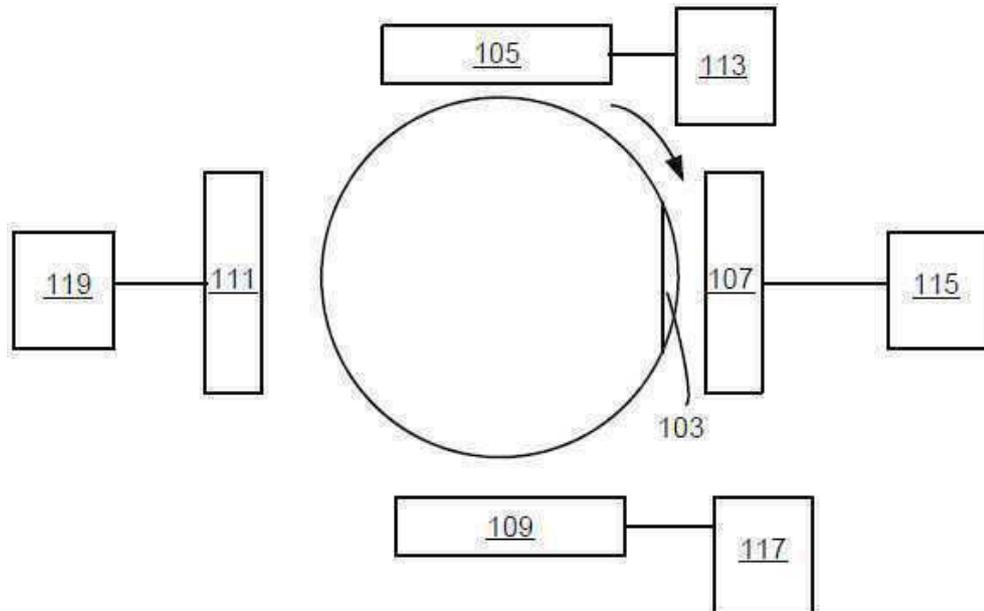
[0157] 여기서 설명되는 전기도금 장치는 본 발명에 따른 프로세스 작동을 제어하기 위한 명령들을 구비한 시스템 컨트롤러와 프로세스 작동을 구현하기 위한 하드웨어를 포함한다. 예를 들어, 회전 디지털 인코더, 웨이퍼를 회전시키는 웨이퍼 홀더, 임의의 이동 차폐 요소, HRVA, 보조 비대칭 또는 멀티-세그먼트된 전극, 등에 인가되는 전력 레벨, 등이 시스템 컨트롤러에 의해 제어되고 동기화된다. 시스템 컨트롤러는 일반적으로, 장치가 본 발명에 따른 방법을 수행할 수 있도록 하는 명령을 실행하도록 구성되는 하나 이상의 메모리 소자 및 하나 이상의 프로세스를 포함한다. 본 발명에 따른 프로세스 작동을 제어하기 위한 명령들을 지닌 기계-판독형 매체가 시스템 컨트롤러에 연결될 수 있다.

도면

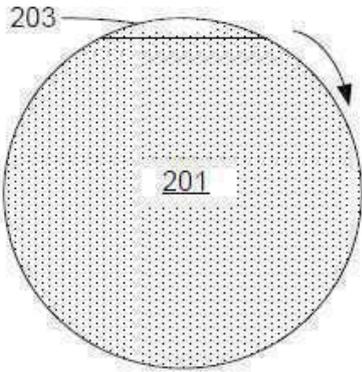
도면1a



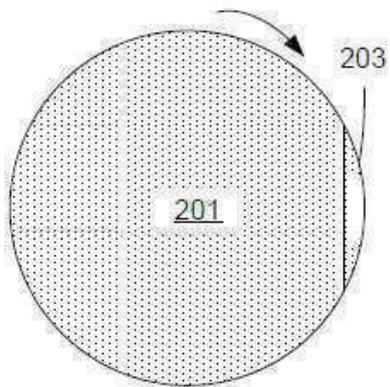
도면1b



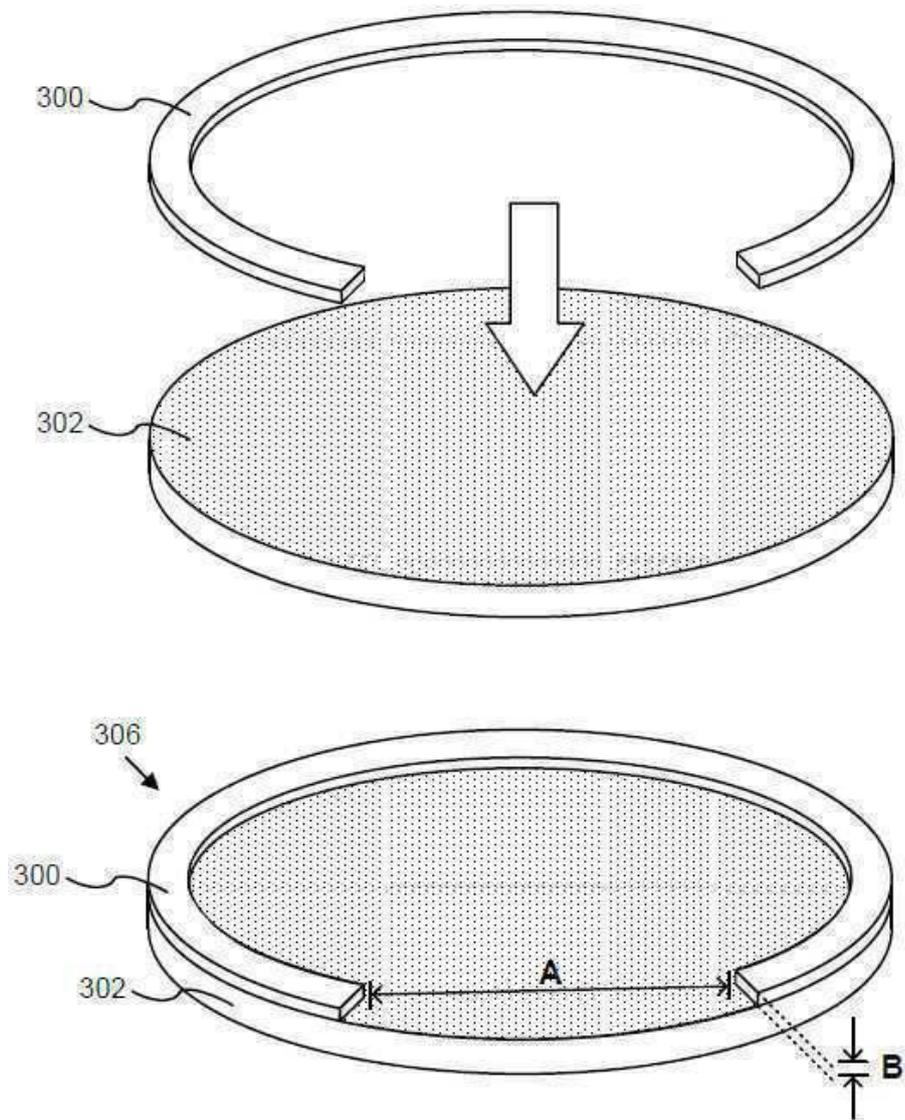
도면2a



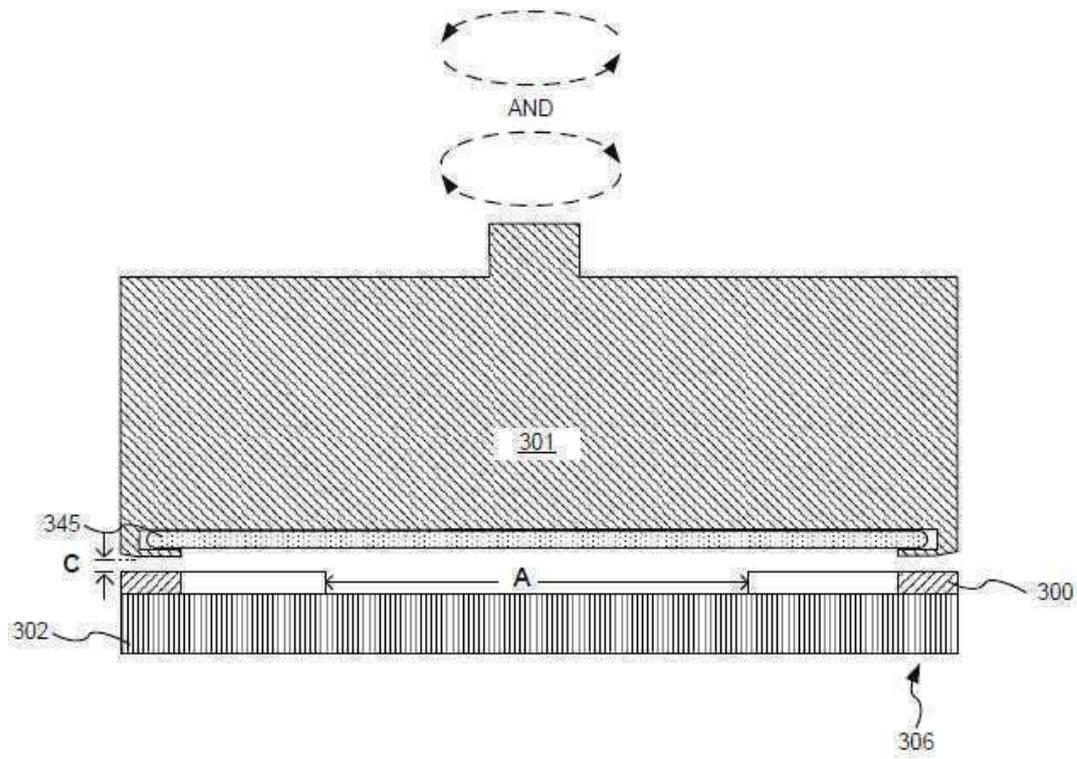
도면2b



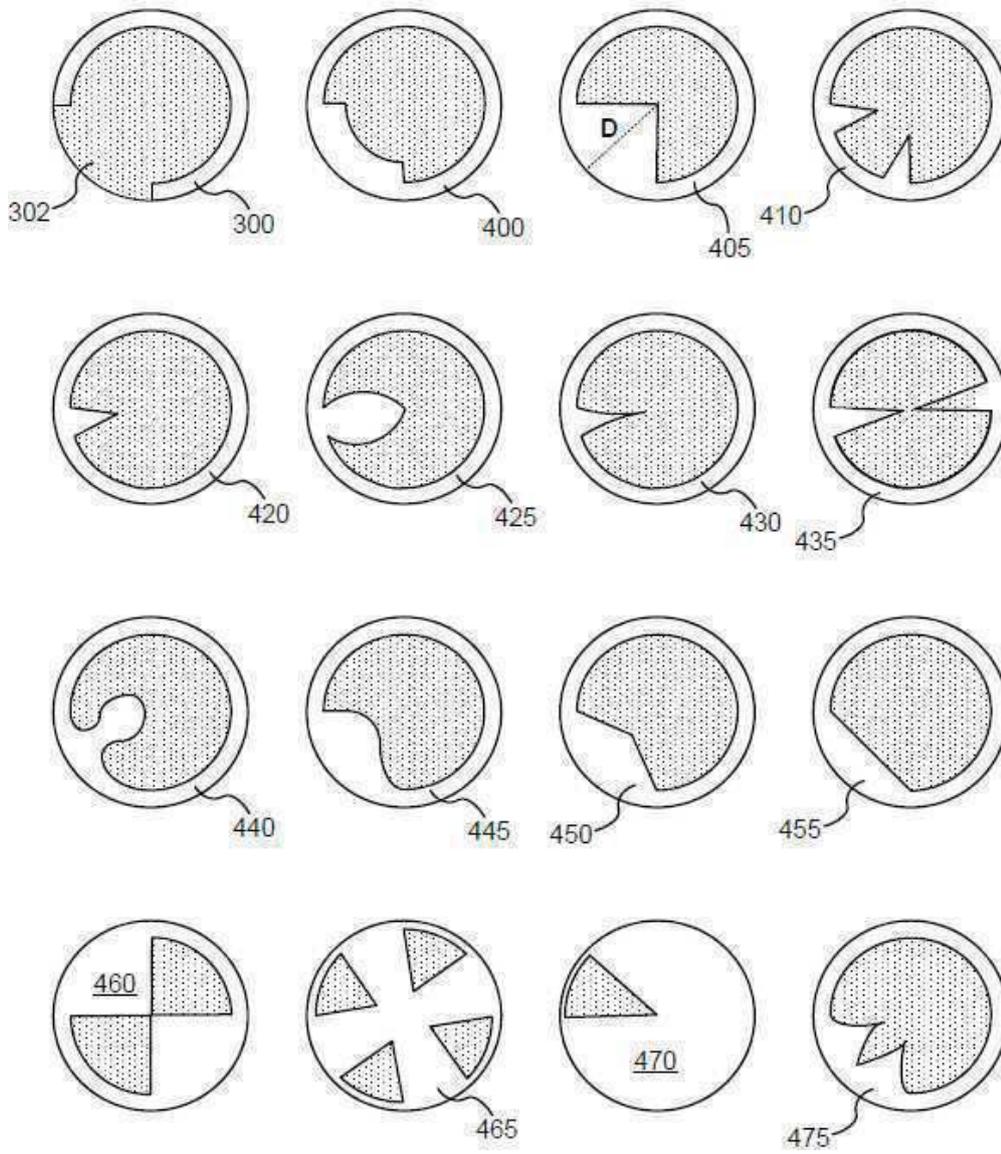
도면3a



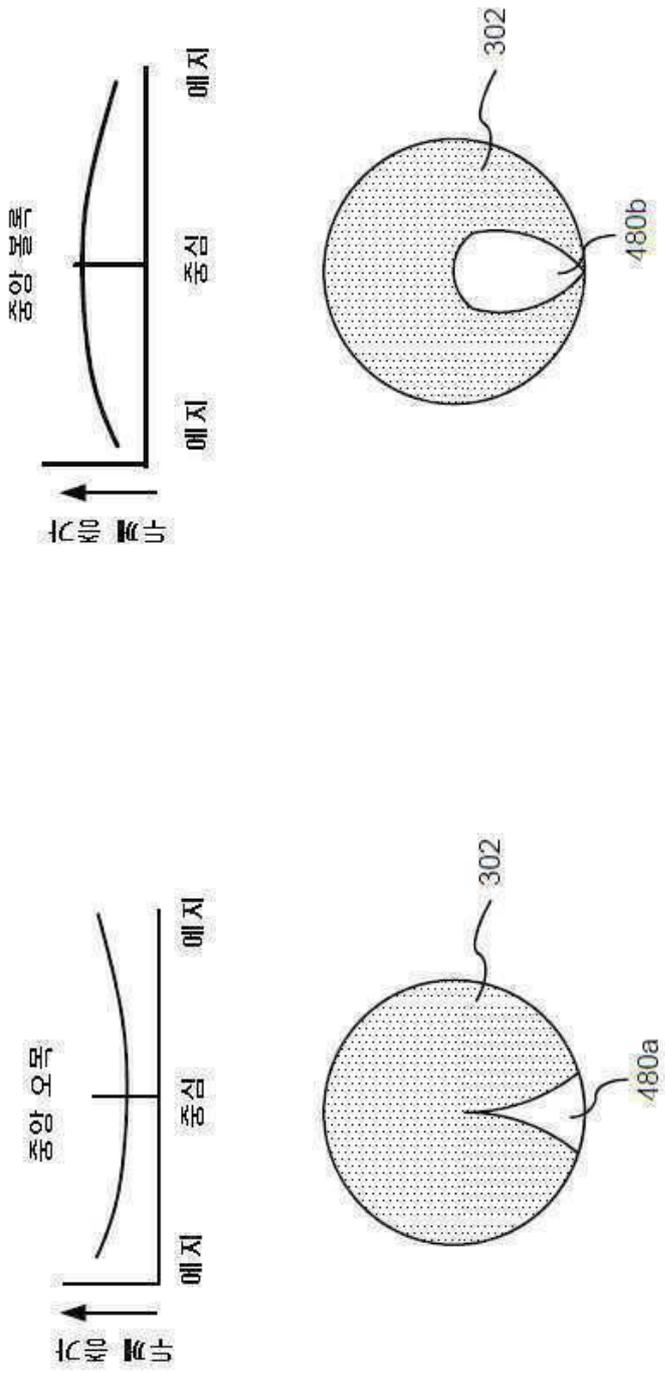
도면3b



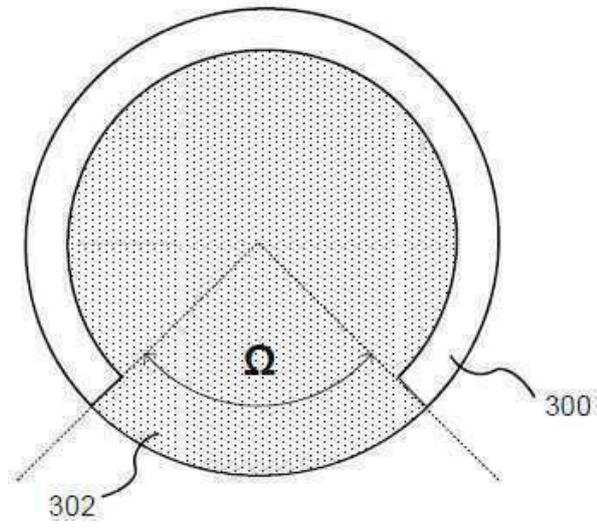
도면4a



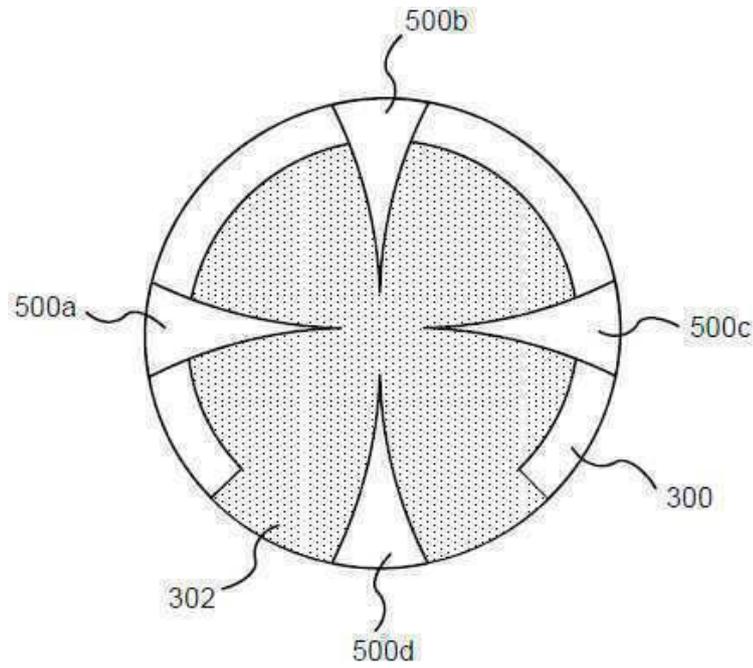
도면4b



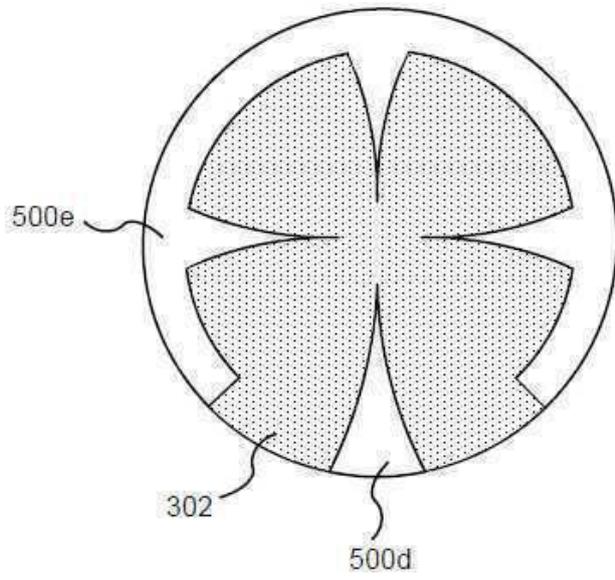
도면5a



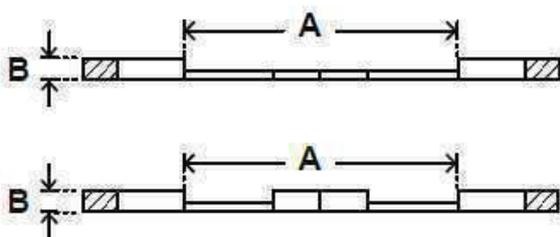
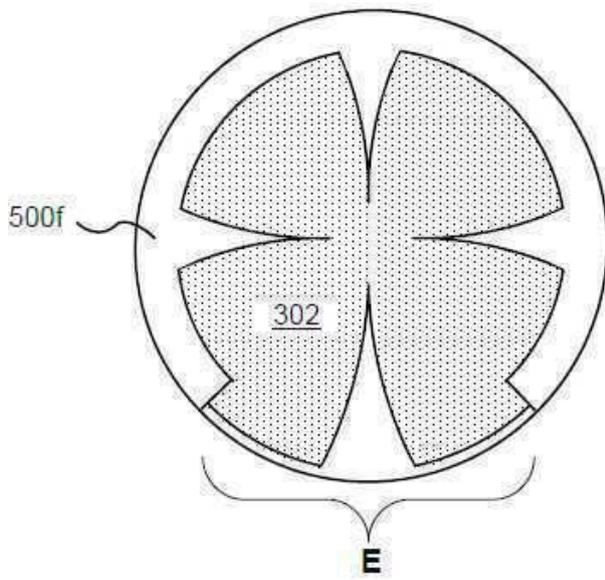
도면5b



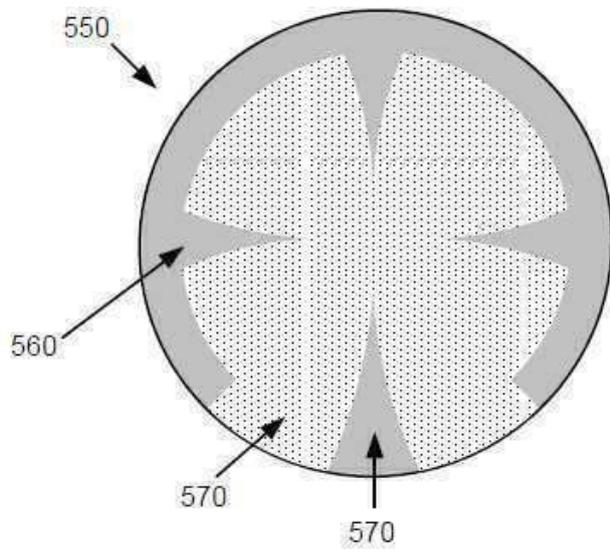
도면5c



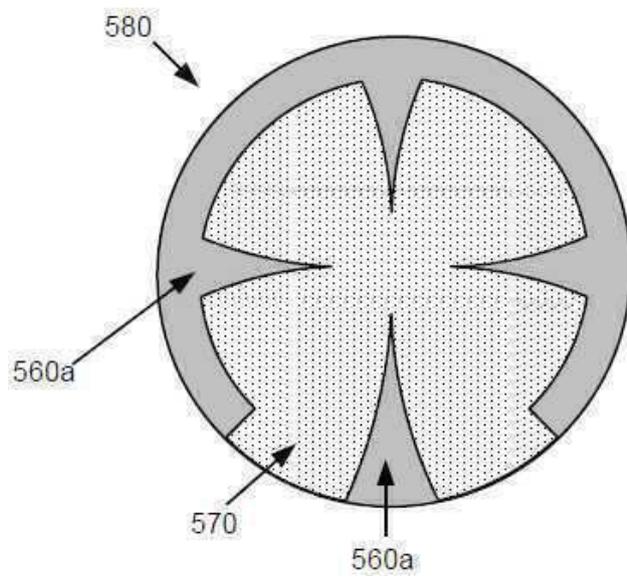
도면5d



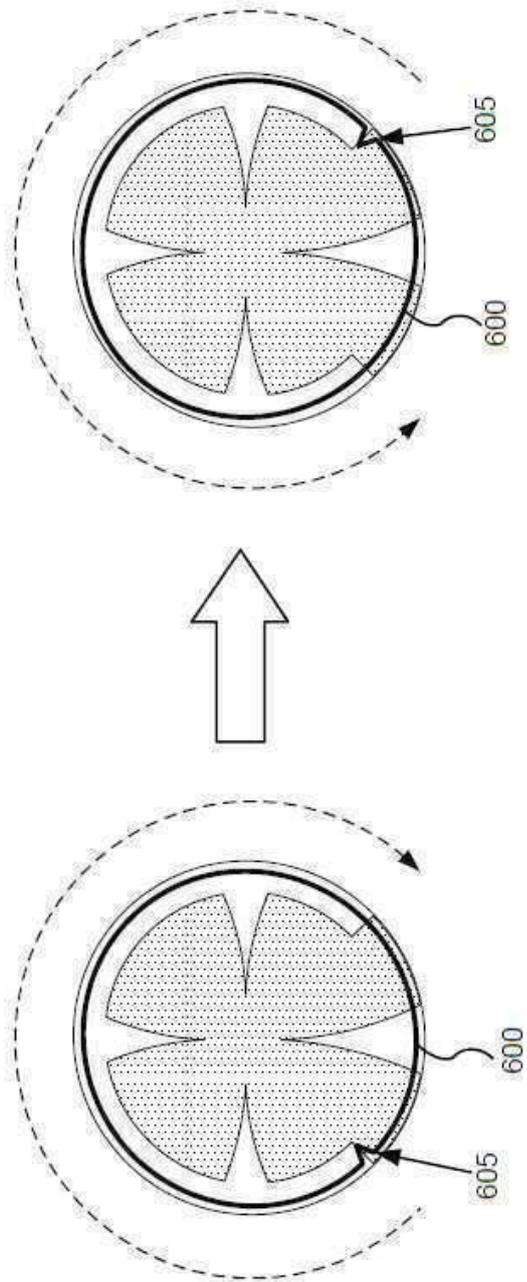
도면5e



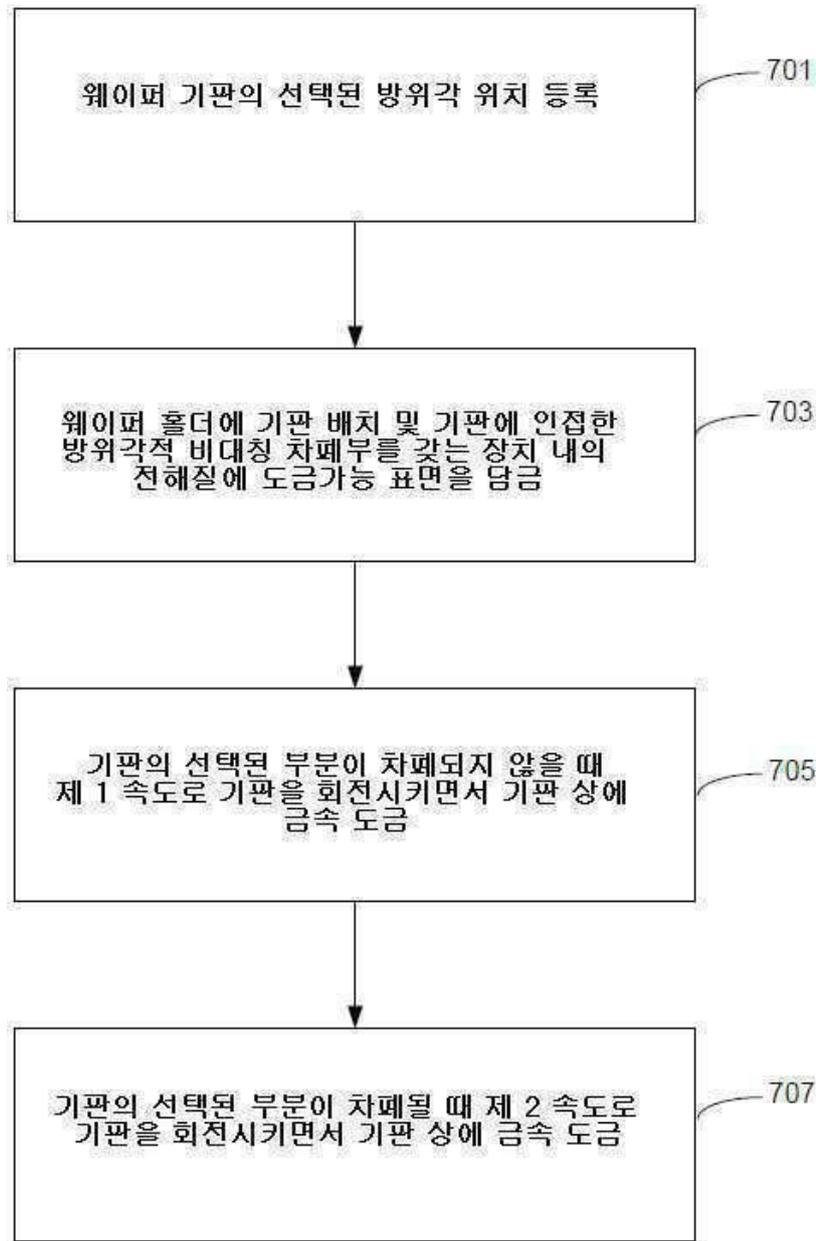
도면5f



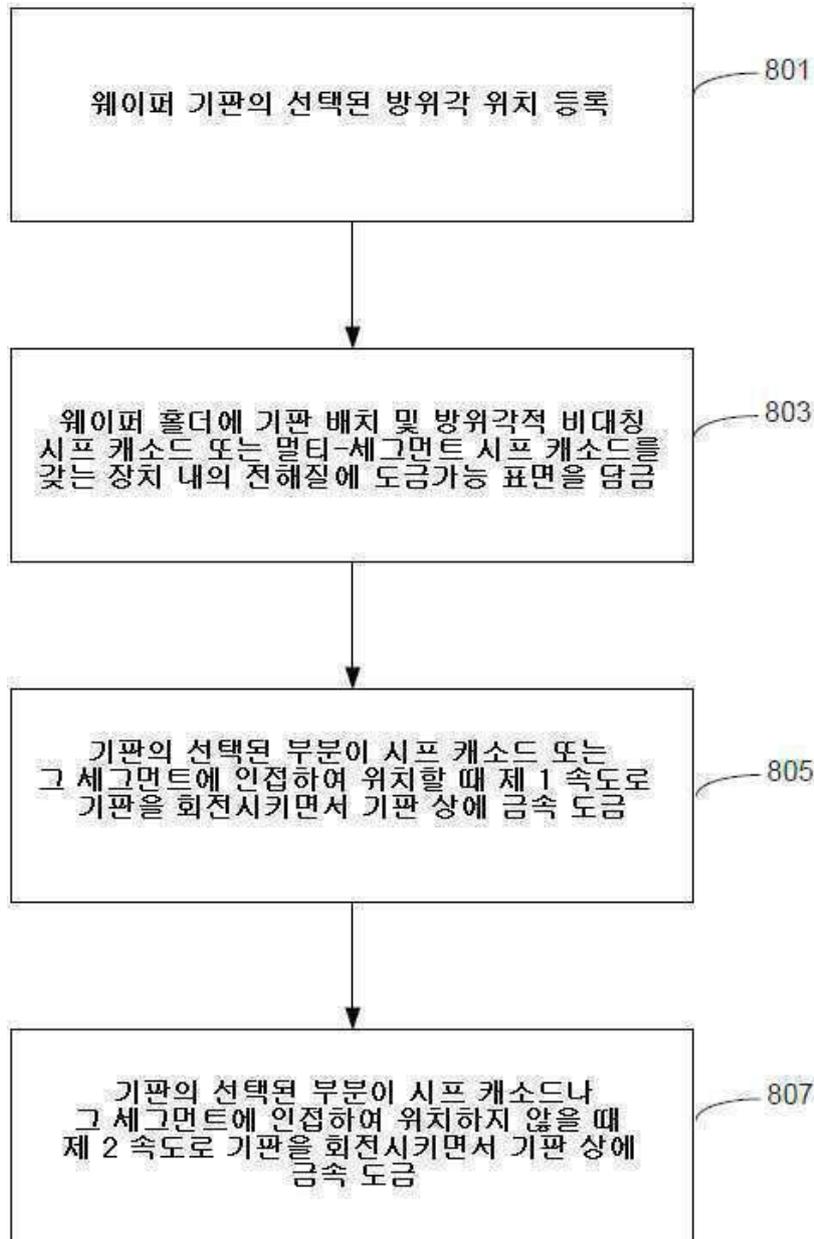
도면6



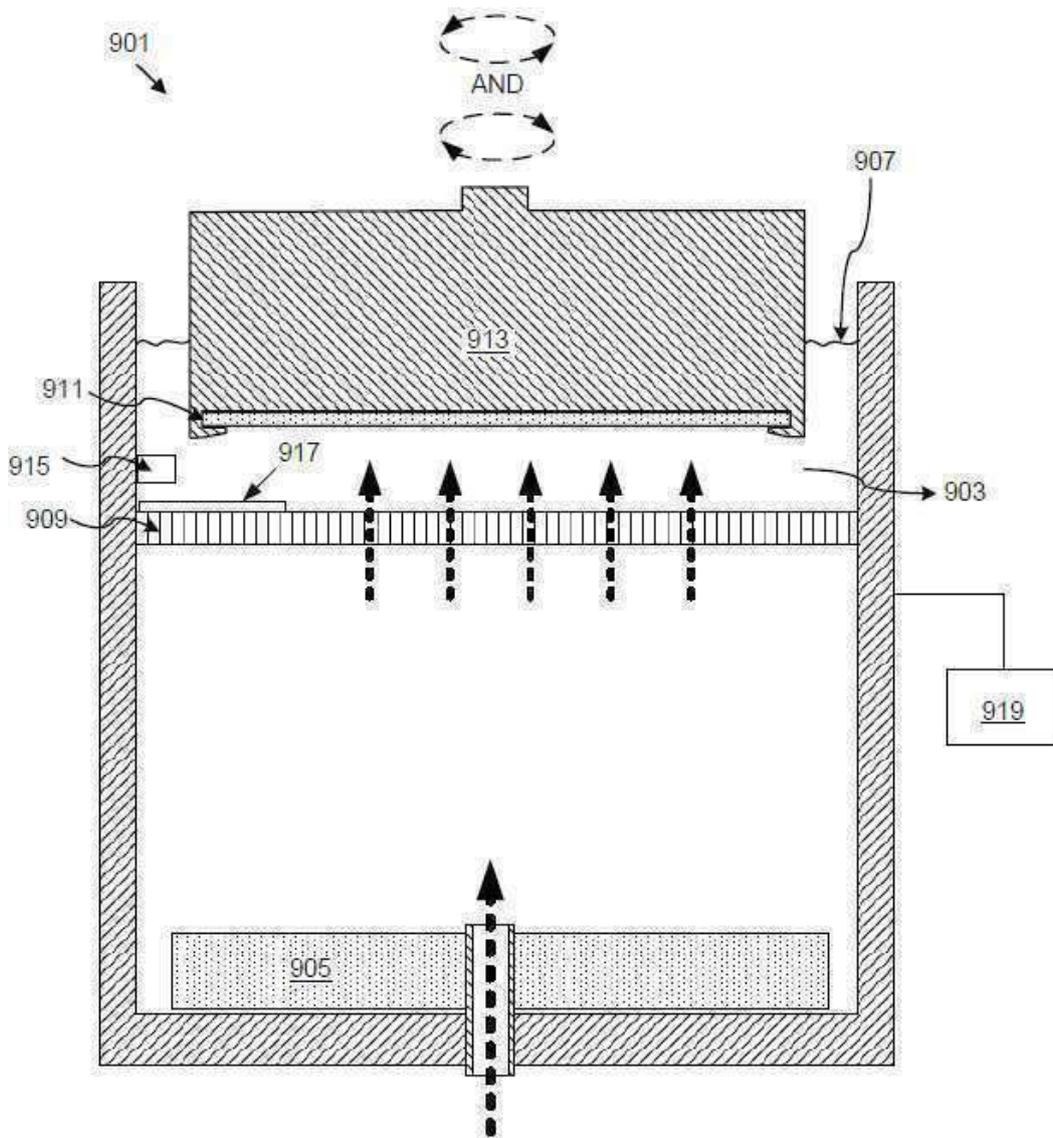
도면7



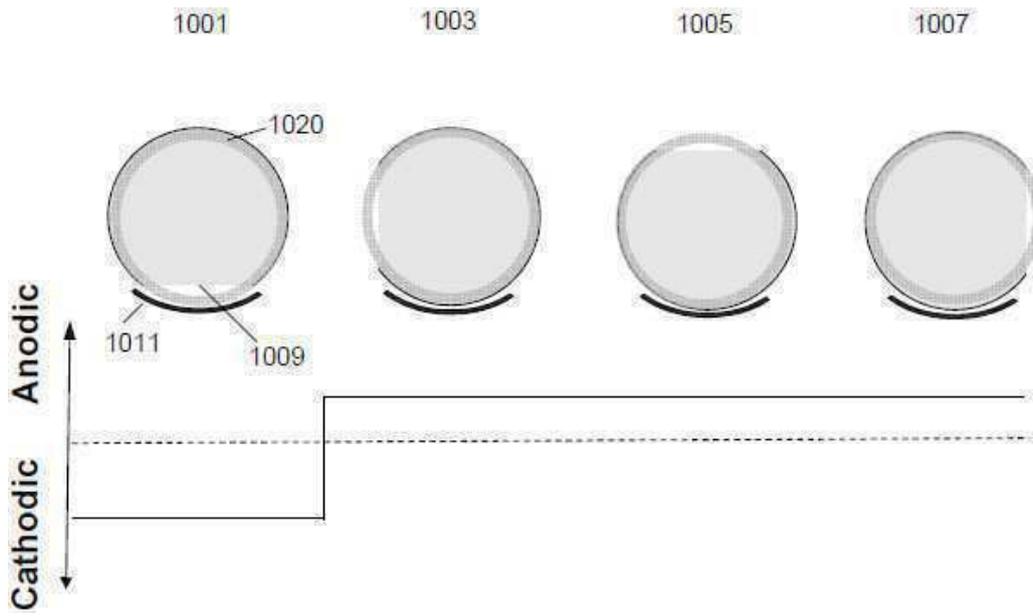
도면8



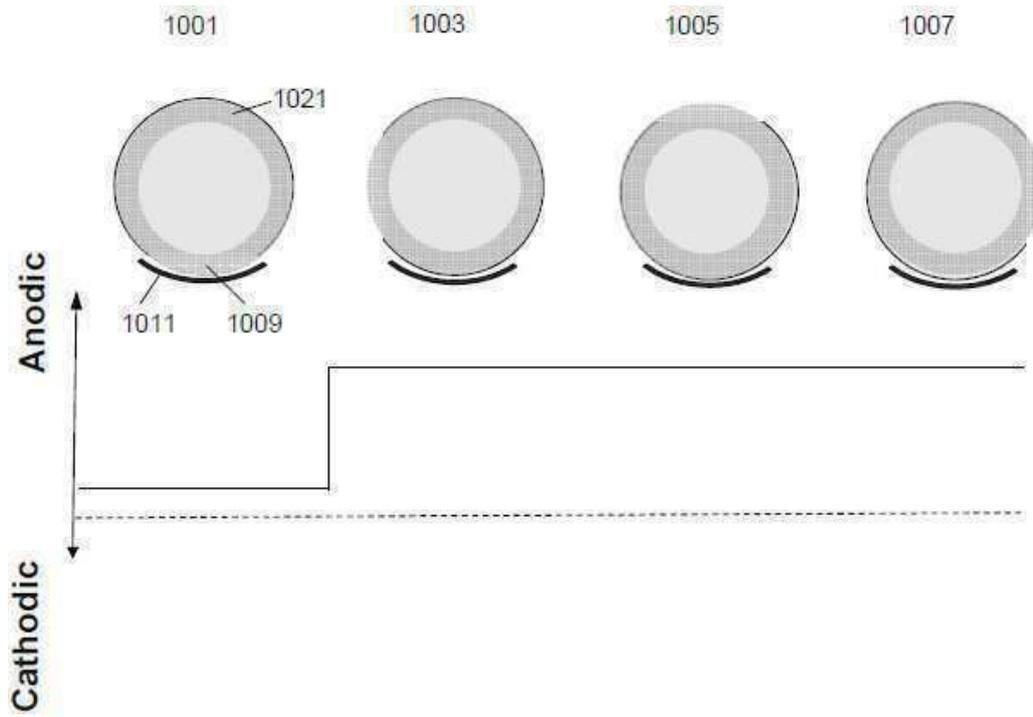
도면9



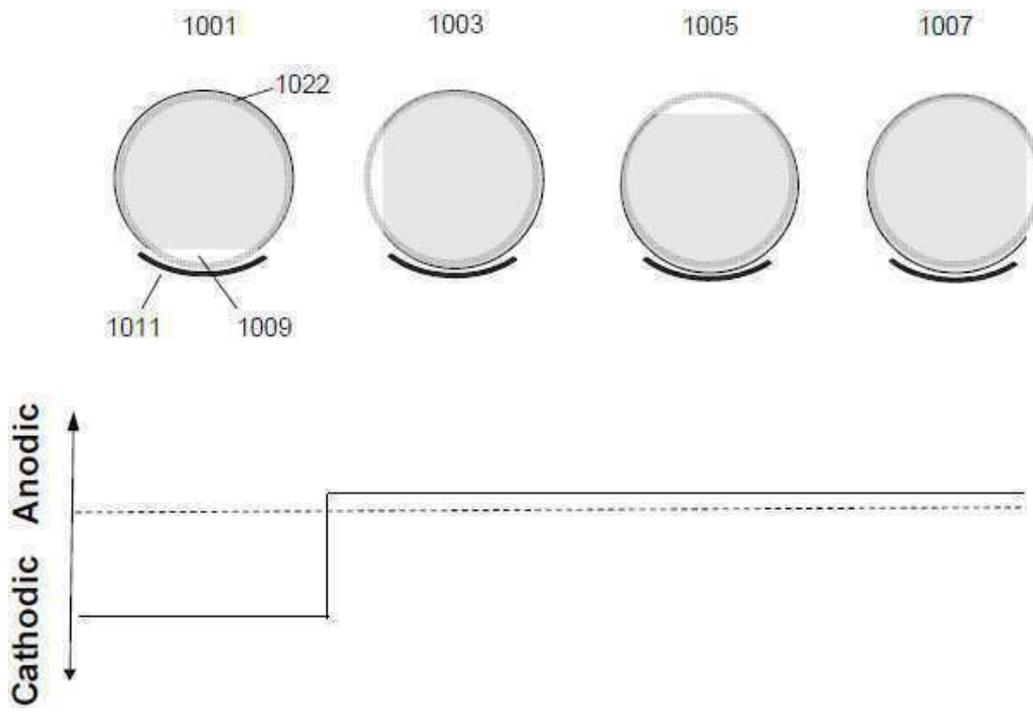
도면10a



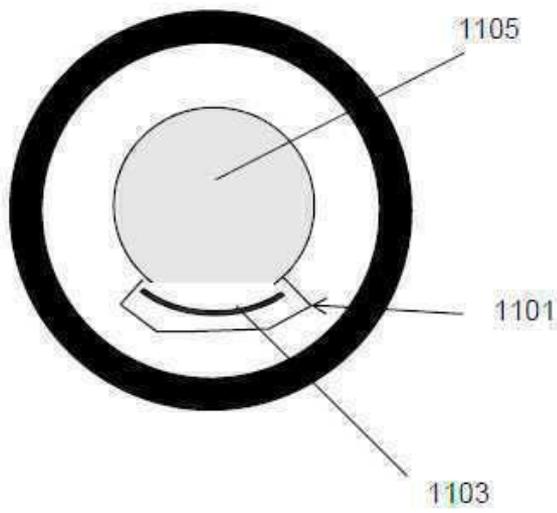
도면10b



도면10c



도면11



도면12

