



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년12월15일
 (11) 등록번호 10-1809566
 (24) 등록일자 2017년12월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/288 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7033536
- (22) 출원일자(국제) 2012년05월17일
 심사청구일자 2017년05월16일
- (85) 번역문제출일자 2013년12월17일
- (65) 공개번호 10-2014-0035940
- (43) 공개일자 2014년03월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/038435
- (87) 국제공개번호 WO 2012/158966
 국제공개일자 2012년11월22일
- (30) 우선권주장
 13/110,728 2011년05월18일 미국(US)
 13/288,495 2011년11월03일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 US20020008037 A1
 US20080179180 A1
 US7090751 B2
 US20050121326 A1

- (73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
 미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애
 브뉴 3050
- (72) 발명자
윌슨, 그레고리 제이.
 미국 59901 몬타나 칼리스펠 6 애비뉴 이스트 427
맥휴, 폴 알.
 미국 59901 몬타나 칼리스펠 셔리 레인 127
한슨, 카일 엠.
 미국 59901 몬타나 칼리스펠 그린브리어 드라이브
 110
- (74) 대리인
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 13 항

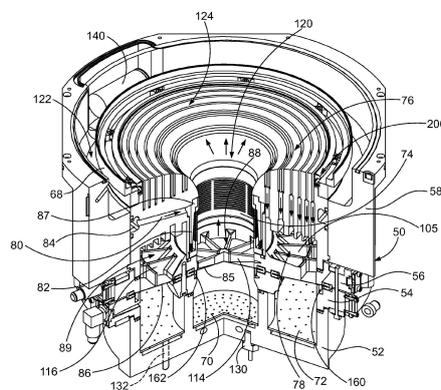
심사관 : 강병섭

(54) 발명의 명칭 **전기화학 프로세서**

(57) 요약

전기화학 프로세서는 작업물을 유지하도록 구성된 로터를 갖는 헤드를 포함할 수 있고, 헤드는 로터를 용기 내에 위치시키기 위해 이동가능하다. 내측 및 외측 양극들은 용기 내의 내측 및 외측 양극액 챔버들에 있다. 용기 내의 상부 꺾은 곡선형 상면과 내측 및 외측 음극액 챔버들을 갖는다. 곡선형 상면에 인접하여 전류 씨프가 위치된다. 상기 곡선형 상면의 환형 슬롯들이 상기 외측 음극액 챔버로 이어지는 튜브들과 같은 통로들에 연결된다. 멤브레인들이 상기 내측 및 외측 음극액 챔버들로부터 상기 내측 및 외측 양극액 챔버들을 각각 분리할 수 있다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

전기화학적 프로세싱 장치(electrochemical processing apparatus)로서,

용기;

작업물을 유지하도록 구성되는 헤드 - 상기 헤드는 상기 용기 내에 상기 작업물을 위치시키기 위해 이동가능함 -;

상기 용기 내의 내측 전해액 채널과 연관된 내측 양극(inner anode);

상기 내측 양극을 둘러싸는 외측 양극(outer anode) - 상기 외측 양극은 상기 용기 내의 외측 전해액 채널과 연관됨 -;

곡선형 상면을 갖는, 상기 용기 내의 상부 컵;

상기 상부 컵의 곡선형 상면 근처의 전류 씨프(current thief);

상기 상부 컵의 곡선형 상면의, 복수의 패턴화된 개구들; 및

상기 개구들의 각각으로부터 상기 상부 컵의 하면으로 연장하는 통로 - 통로들은 상기 상부 컵의 바닥면으로 수직하게 하방향으로 연장하는 튜브들을 포함함 -;를 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 패턴화된 개구들은 상기 상부 컵의 곡선형 상면에 동심 슬롯들을 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 슬롯들이 동심이며, 1 내지 6mm의 폭을 가진,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 튜브들의 하단부들이 외측 음극액 챔버의 상부의 환형 채널들 내에 연결된,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 튜브들은 라운드형 단면을 갖는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 헤드를 수직으로 이동시키고 상기 용기 내에서 상기 작업물의 수직 위치를 변화시키기 위한 액츄에이터를 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 상부 컵의 중앙 개구에 외측 환형 음극액 공급 챔버를 연결하는 상기 상부 컵 내의 복수의 방사상 음극액 공급 덕트들을 더 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

외측 음극액 챔버와 외측 양극액 챔버 사이의 외측 배리어와, 내측 음극액 챔버와 내측 양극액 챔버 사이의 내측 배리어를 더 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 내측 배리어는 제 1 멤브레인을 포함하고 상기 외측 배리어는 제 2 멤브레인을 포함하며,

상기 제 1 멤브레인을 지지하는 내측 멤브레인 지지부를 더 포함하고, 상기 내측 멤브레인 지지부는 상기 내측 음극액 챔버의 단면적의 20% 미만을 점유하는 단면을 갖는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 10

전기화학적 프로세싱 장치로서,

용기;

작업물을 유지하도록 구성되는 헤드 - 상기 헤드는 상기 용기 내에 상기 작업물을 위치시키기 위해 이동가능함 -;

상기 용기 내의 내측 양극액 챔버와 연관된 내측 양극;

상기 내측 양극을 둘러싸는 외측 양극 - 상기 외측 양극은 외측 양극액 챔버와 연관됨 -;

곡선형 상면, 상기 외측 양극액 챔버 위의 외측 음극액 챔버, 및 상기 내측 양극액 챔버 위의 내측 음극액 챔버를 갖는 상기 용기 내의 상부 컵;

상기 상부 컵의 곡선형 상면의 복수의 개구들;

상기 개구들의 각각을 상기 외측 음극액 챔버에 연결하는 통로; 및

통로들이 폐색되지 아니하는(un-occluded) 제 1 위치와 통로들이 적어도 부분적으로 폐색되는 제 2 위치 사이에서 이동가능하게 통로들과 연관된, 조정 요소(adjusting element);를 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 조정 요소는, 상기 통로들과 매칭되도록 패턴화된 관통 개구들의 패턴을 갖는 플레이트를 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 플레이트를 상기 제 1 위치와 상기 제 2 위치 사이에서 이동시키도록, 상기 플레이트에 부착된, 액츄에이터를 더 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 13

전기화학적 프로세싱 장치로서,

용기;

상기 용기 내의 내측 전해액 채널과 연관된 내측 양극;

상기 내측 양극을 둘러싸는 외측 양극 - 상기 외측 양극은 상기 용기 내의 외측 전해액 채널과 연관됨 -;

곡선형 상면을 갖는, 상기 용기 내의 상부 컵;

상기 상부 컵의 곡선형 상면의, 복수의 동심 슬롯들;

상기 슬롯들의 각각으로부터 상기 상부 컵의 하면으로 연장하는 튜브; 및

슬롯들 중 하나 또는 둘 이상의 슬롯 내의 링 삽입체(ring insert);를 포함하는,

전기화학적 프로세싱 장치.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

- 청구항 39
삭제
- 청구항 40
삭제
- 청구항 41
삭제
- 청구항 42
삭제
- 청구항 43
삭제
- 청구항 44
삭제
- 청구항 45
삭제
- 청구항 46
삭제
- 청구항 47
삭제
- 청구항 48
삭제
- 청구항 49
삭제
- 청구항 50
삭제
- 청구항 51
삭제
- 청구항 52
삭제
- 청구항 53
삭제
- 청구항 54
삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 분야는 작업물(work piece)의 내에 및/또는 위에 통합된 마이크로 디바이스들을 갖는 마이크로 피쳐(feature) 작업물들을 전기화학적으로 프로세싱하기 위한 챔버들, 시스템들 및 방법들이다. 마이크로 디바이스들은 서브미크론 피쳐들을 포함할 수 있으며, 마이크로-전자, 마이크로-기계, 마이크로-전자-기계 및/또는 마이크로-광학 디바이스들일 수 있다. 작업물들은 실리콘 웨이퍼들 또는 다른 기판들일 수 있다.

배경 기술

[0002] 반도체 디바이스들, 이미저들(imagers) 및 디스플레이들과 같은 마이크로전자 디바이스들은 일반적으로 여러 가지 상이한 유형들의 기계들을 사용하여 마이크로전자 작업물들 내에 및/또는 위에 제조된다. 통상적인 제조 프로세스에서, 전도성 물질들의 하나 또는 둘 이상의 층들이 증착 단계들 동안에 작업물 상에 형성된다. 그런 다음에 통상적으로 작업물은 컨택트들(contacts) 및/또는 전도성 라인들을 형성하기 위해, 증착된 전도성 층들의 일부를 제거하도록 에칭 및/또는 폴리싱 프로시저들(예를 들어, 평탄화)을 거치게 된다.

[0003] 블랭킷 층들이나 패턴화된 층들을 형성하기 위해 작업물들 상에 구리, 연납(solder), 퍼말로이(permalloy), 금, 은, 백금, 전기영동 레지스트(electrophoretic resist) 및 다른 물질들을 증착하도록 전기도금 프로세서들이 사용될 수 있다. 통상적인 구리 도금 프로세스는 화학 기상 증착(CVD), 물리 기상 증착(PVD), 무전해 도금 프로세스들 또는 다른 적당한 방법들을 사용하여 작업물의 표면상에 구리 시드층을 증착하는 단계를 수반한다. 시

드층을 형성한 이후, 전기도금 프로세싱 용액(electro processing solution)이 존재하는 상태에서 시드층과 하나 또는 둘 이상의 전극들 사이에 적절한 전위(electrical potential)를 인가함으로써, 구리의 패터화된 층 또는 블랭킷 층은 작업물상에 도금된다. 그런 다음에, 작업물을 다른 프로세싱 기계로 전송하기 전에 후속 프로시저들에서 작업물은 세척, 에칭 및/또는 어닐링된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 마이크로전자 피쳐들 및 컴포넌트들이 어느 때보다(ever) 더 소형으로 제조되기 때문에, 이들 내에 또는 위에 증착되는 시드층의 두께가 또한 어느 때보다 더 소형으로 제조되어야만 한다. 얇은 시드층들에 대한 전기도금은 말단 효과(terminal effect)로 인해 상당한 공학적 과제들을 제공한다. 말단 효과는 시드층의 높은 저항에 의해 야기되는 웨이퍼 직경에 걸친 큰 전압 강하로 인해 초래된다. 적절하게 보상되지 않으면, 말단 효과는 전기도금된 층을 불균일하게 만들고, 또한 피쳐들 내에 보이드들(voids)을 야기할 수 있다. 매우 얇은 시드층들에서, 전기도금 프로세스를 시작할 때의 시트 저항은, 예컨대, 50 Ohm/sq 정도만큼 높을 수 있는 반면, 작업물상에 전기도금된 필름의 최종 시트 저항은 0.02 Ohm/sq 미만일 수 있다. 종래의 전기도금 틀들에 의하면, 시트 저항에서의 이러한 수 천배의(three orders of magnitude) 변화는 작업물들에 보이드가 없는 균일한 필름들을 지속적으로 제공하는 것을 어렵게 하거나 불가능하게 할 수 있다. 따라서, 개선된 전기도금 틀들이 요구된다.

과제의 해결 수단

[0005] 신규한 프로세서는, 작업물이 높은 저항성의 시드층 및/또는 배리어층을 가진 경우에도, 작업물상에 매우 균일한 필름을 전기도금할 수 있다.

[0006] 일 양태에서, 프로세서는 작업물을 유지하며 전기적으로 컨택하도록 구성된 로터를 갖는 헤드를 포함할 수 있고, 헤드는 로터를 용기 내에 위치시키기 위해 이동가능하다. 내측 및 외측 양극들은 용기 내의 내측 및 외측 양극액(anolyte) 챔버들과 연관된다. 외측 양극액 챔버 위에 있는, 용기 내의 상부 컵은 곡선형 상면과 내측 및 외측 음극액(catholyte) 챔버들을 갖는다. 전류 썩프(current thief)는 곡선형 상면에 인접하여 위치된다. 곡선형 상면의 환형 슬롯들은, 외측 음극액 챔버로 이어지는, 튜브들과 같은, 통로들에 연결된다. 멤브레인들과 같은 배리어들이 내측 및 외측 음극액 챔버들로부터 내측 및 외측 양극액 챔버들을 각각 분리할 수 있다.

[0007] 프로세싱 방법들과 함께, 이와 같이 신규한 프로세서가 어떻게 설계될 수 있는지에 대한 예들을 도시하는 도면들과 이하의 상세한 설명으로부터 다른 추가적인 목적들과 장점들이 나타날 것이다. 본 발명은 기술된 요소들의 서브조합들에도 존재한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도면들에서, 동일한 참조번호는 각 도면에서 동일한 요소를 나타낸다.

- 도 1은 신규한 전기화학 프로세서의 사시도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 프로세서의 분해 사시도이다.
- 도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 프로세서의 측단면도이다.
- 도 4는 도 1 및 도 2에 도시된 프로세서의 정단면도이다.
- 도 5는 도 1 내지 도 4에 도시된 용기 조립체의 사시 단면도이다.
- 도 6은 용기 조립체의 확대 단면도이다.
- 도 7은 용기 조립체의 확대 회전 단면도이다.
- 도 8a는 도 6 및 도 7에 도시된 확산기(diffuser)의 확대 사시도이다.
- 도 8b는 도 5 및 도 6에 도시된 대안적 상부 컵의 확대 단면도이다.
- 도 8c는 다른 대안적 상부 컵의 확대 단면도이다.
- 도 9는 용기 조립체의 상부 사시도이다.

도 10은 도 9에 도시된 상부 컵의 개략적인 사시 단면도이다.

도 10a는 도 10에 도시된 프로세서에서 선택적으로 사용하기 위한 인서트의 사시도이다.

도 10b는 300mm 직경의 작업물의 반경에 대한 작업물 대 표면 간극의 수학적 모델의 그래프이다.

도 10c는 이동식 수직 에지 쉴드(shield)의 개략도이다.

도 10d는 이동식 수평 에지 쉴드의 개략도이다.

도 11은 도 10에 도시된 상부 컵의 평면도이다.

도 12는 도 10 및 도 11에 도시된 상부 컵에서 음극액 유동 경로의 기하학적 구조를 나타낸 음극액 유동 경로에 관한 도면이다.

도 13은 확산기로의 음극액 유동 경로의 기하학적 구조를 나타낸 다른 음극액 유동 경로에 관한 도면이다.

도 14는 씨프 링 조립체의 사시도이다.

도 15는 도 14의 씨프 링 조립체의 분해 사시도이다.

도 16은 도 9에 도시된 바와 같은 용기(50)에 설치된 도 14 및 도 15의 씨프 링 조립체의 단면도이다.

도 17은 단일의 전해액(electrolyte)을 사용하는 대안적 설계의 단면도이다.

도 18은 도 8b에 도시된 설계에 대한 변형예의 단면도이다.

도 19는 도 6에 도시된 설계에 대한 변형예의 단면도이다.

도 20은 도 6에 도시된 튜브들의 유효 길이와 저항을 변경하기 위한 설계의 개략도이다.

도 21은 도 6에 도시된 슬롯들 속으로 또는 튜브들의 하단부들 속으로 삽입되는 링의 개략도이다.

도 22는 도 6에 도시된 슬롯들 속에 설치되는 도 21에 도시된 바와 같은 링들의 확대된 개략 단면도이다.

도 23 내지 도 26은, 도금 프로세스 동안 작업물 표면의 저항이 감소함에 따라, 도 3 내지 도 7에 도시된 용기 내의 전해액에서 전계선들(electric field lines)의 배향이 변화하는 것을 나타낸 모델링된 이미지들이다.

도 27은 도 16에 도시된 씨프 전극의 선택적 위치를 나타낸 개략도이다.

도 28은 고저항(65 ohm/sq) 시드층에 구리를 동시에 도금하는(즉, 웨이퍼의 전체 영역들에 균일하게 구리를 동시에 도금하는) 도 1 내지 도 7의 프로세서의 일례를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이제, 도면들을 구체적으로 살펴보면, 도 1 내지 도 4에 도시된 바와 같이, 전기화학 프로세서(20)는 용기 조립체(50) 위에 위치한 헤드를 갖는다. 용기 조립체(50)는 스탠드(38) 또는 다른 구조물에 부착된 릴리프 플레이트(26) 및 테크 플레이트(24) 상에 지지될 수 있다. 단일의 프로세서(20)가 독립형 유닛으로서 사용될 수 있다. 대안적으로, 다수의 프로세서들(20)이 어레이들로 제공될 수 있으며, 하나 또는 둘 이상의 로봇들에 의해 프로세서들 내외로 작업물들이 로딩 및 언로딩될 수 있다. 헤드에 대해 작업물을 로딩 및 언로딩하기 위해 헤드를 리프트하고 반전하기 위하여, 그리고 프로세싱을 위해 용기 조립체(50)와 맞물리도록 헤드(30)를 하강시키기 위하여, 헤드(30)는 리프트/회전 유닛(34) 상에 지지될 수 있다.

[0010] 도 1 내지 도 3에 도시된 바와 같이, 리프트/회전 유닛(34)에 그리고 내부 헤드 컴포넌트들에 연결된 전기 제어 및 전력 케이블들(40)이 프로세서(20)로부터 설비 접속부들 또는 멀티 프로세서 자동화 시스템 내의 접속부들까지 연장된다. 용기 조립체(50) 위에 층으로 배열된(tiered) 드레인 링들을 가진 세정 조립체(28)가 제공될 수 있다. 세정 조립체(28)가 사용되는 경우, 드레인 파이프(42)가 세정 조립체(28)를 설비 드레인에 연결한다. 양극들을 교환하는 동안 양극 컵을 지지하기 위해, 선택적 리프터(36)가 용기 조립체(50) 아래에 제공될 수 있다. 대안적으로, 리프터(36)는 용기 조립체(50)의 나머지 부분에 대해 양극 컵을 들어올려 유지하기 위해 사용될 수 있다.

[0011] 이제, 도 3 내지 도 7을 참조하면, 용기 조립체(50)는 패스너들(60)에 의해 함께 유지된 양극 컵(52), 하부 멤브레인 지지부(54) 및 상부 멤브레인 지지부(56)를 포함할 수 있다. 양극 컵(52) 내에서, 제 1 또는 내측 양극(70)은 내측 양극액 챔버(110)의 바닥 부근에 위치된다. 제 2 또는 외측 양극(72)은 내측 양극액 챔버(110)를

둘러싼 외측 양극액 챔버(112)의 바닥 부근에 위치된다. 내측 양극(70)은 편평한 라운드형(round) 금속판일 수 있고, 외측 양극(72)은 편평한 링 형상의 금속판, 예를 들어, 백금 도금된 티타늄판일 수 있다. 내측 및 외측 양극액 챔버들은 구리 펠릿들(pellets)로 충전될(filled) 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 내측 양극(70)은 제 1 전기 리드 또는 커넥터(130)에 전기적으로 연결되며, 외측 양극(72)은 별도의 제 2 전기 리드 또는 커넥터(132)에 전기적으로 연결된다.

[0012] 이전에 공지된 많은 설계들과는 달리, 일 실시예에서, 예를 들어, 300mm 직경의 웨이퍼들을 프로세싱하기 위해, 프로세서는 중앙 양극과 오직 단일의 외측 양극을 가질 수 있고, 그럼에도 다른 설계 특징들로 인해 향상된 성능을 얻을 수 있다. 3개 이상의 양극들 대신 오직 2개의 양극만을 가짐으로써, 프로세서의 설계 및 제어를 단순화할 수 있고, 프로세서의 전체 비용과 복잡성을 줄일 수 있다. 또한 3개 이상의 양극들을 가진 설계가, 특히, 대형 웨이퍼들과 함께, 선택적으로 사용될 수 있다.

[0013] 이제, 도 5 내지 도 9를 참조하면, 상부 컵(76)은 상부 컵 하우징(58) 내에 수납되거나 상부 컵 하우징에 의해 둘러싸인다. 상부 컵 하우징(58)은 상부 컵(76)에 부착되어 밀봉된다. 상부 컵(76)은 곡선형 상면(124)과, 중앙 또는 내측 음극액 챔버(120)를 형성하는 중앙 관통 개구를 갖는다. 이 챔버(120)는 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)에 의해 규정되는 벨형(bell) 또는 혼형(horn) 공간으로 이어진 확산기(74) 내의 대체로 원통형 공간에 의해 규정된다. 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)으로부터 하방향으로 일련의 동심 환형 슬롯들이 연장된다. 상부 컵(76)의 바닥에 형성된 외측 음극액 챔버(78)는, 도 10 내지 도 12를 참조하여 더 후술하는 바와 같이, 튜브들 또는 다른 통로들의 어레이를 통해 링들에 연결된다.

[0014] 도 5 내지 도 9를 계속 참조하면, 확산기(74)는 상부 컵(76)의 중앙 개구 내에 위치되며, 확산기 덮개(82)에 의해 둘러싸여 있다. 제 1 또는 내측 멤브레인(85)은 상부 및 하부 멤브레인 지지부들(54, 56) 사이에 고정되며, 내측 음극액 챔버(120)로부터 내측 양극액 챔버(110)를 분리한다. 상부 멤브레인 지지부(56)의 중앙에 위치한 방사상 스포크들(114) 형태로 제공될 수 있는 내측 멤브레인 지지부(88)는 위로부터 내측 멤브레인(85)을 지지한다. 이러한 설계는 내측 음극액 챔버(120)를 실질적으로 개방된 상태로 남겨둠으로써, 저항 필름들 위에 도금할 때 내측 양극으로부터 작업물로 높은 전류의 흐름을 더 잘 허용한다. 방사상 스포크들은 내측 음극액 챔버(120)의 단면적의 약 5%, 10%, 15% 또는 20% 미만을 점유하거나 차단할 수 있다.

[0015] 마찬가지로, 제 2 또는 외측 멤브레인(86)은 상부 및 하부 멤브레인 지지부들 사이에 고정되며, 외측 음극액 챔버(78)로부터 외측 양극액 챔버(112)를 분리한다. 상부 멤브레인 지지부(56)에 위치한 방사상 레그들(116) 형태로 제공될 수 있는 외측 멤브레인 지지부(89)는 위로부터 외측 멤브레인을 지지한다.

[0016] 도 5 내지 도 7에 도시된 바와 같이, 상부 컵(76)의 원통형 외벽에는 확산기의 원주상 수평 공급 덕트(84)가 형성될 수 있으며, 덕트(84)는 상부 컵 하우징(58)의 원통형 내벽과 상부 컵(76)의 외벽 사이의 0링들 또는 이와 유사한 요소들에 의해 밀봉된다. 도 5, 도 7 및 도 8a에 도시된 바와 같이, 원주상 덕트(84)로부터 확산기 덮개(82)의 상단부를 둘러싸는 환형 덮개 플레넘(87)까지 방사상 공급 덕트들(80)이 반경 방향 내측으로 연장된다. 방사상 덕트들(80)은 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)의 환형 슬롯들을 외측 음극액 챔버(78)에 연결하는 수직 튜브들 사이로 상부 컵(76)을 통과한다. 도 7의 단면도는 방사상 덕트들(80)을 통과하는 평면에서 취한 것이다. 따라서, 도 7에서는 방사상 덕트들(80)은 보이지만, 수직 튜브들은 보이지 않는다. 도 6의 단면도는 수직 튜브들을 통과하는 평면에서 취한 것이다. 따라서, 도 6에서는 수직 튜브들은 보이지만, 방사상 덕트들(80)은 보이지 않는다.

[0017] 도 13은 덮개 플레넘(87)으로 이어지는 방사상 덕트들(80)과 원주상 덕트(84), 그리고 확산기 덮개(82)와 확산기(74) 사이에 형성된 외측 음극액 경로들을 도시한다. 이 외측 음극액 경로들은, 일반적으로, 프로세서(20) 작동 동안에 액체 음극액으로 충전된다. 이 외측 음극액 경로들이 형성되어 있는 상부 컵(76)의 고체 물질이 도 13에는 도시되어 있지 않다.

[0018] 이제, 도 10 내지 도 12를 참조하면, 도시된 예시적 설계에서, 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)으로부터 하방향으로 8개의 원주상 슬롯들 또는 링들이 연장한다. 이들은 슬롯들(90, 92, 94, 96, 98, 100, 102, 104)이다. 슬롯들은 높은 전기 저항을 제공하기 위해 좁다. 슬롯들의 폭은 통상적으로 1 내지 5mm이거나, 2 내지 4mm이다. 슬롯들의 좁은 폭은 더 지속적인 곡선형 벽체 형상을 제공한다. 50 ohm/sq와 같이 높은 시트 저항을 가진 작업물을 도금할 때, 양극들과 작업물 사이의 전기 저항이 높다는 것, 예를 들어, 5, 10 또는 15 ohms를 초과한다는 것을 보여주는 모델링은 균일한 증착을 구현하는 데 유용하다. 높은 전기 저항은 외측 음극액 챔버(78)를 통과하는 내측 슬롯들 또는 튜브들 아래에서 그리고 외측 튜브들 및 슬롯들 위에서 웨이퍼 에지로의 전류 누설을 줄인다.

- [0019] 도시된 설계에서, 슬롯들은 서로 동심이며, 내측 음극액 챔버(120)와 동심이다. 슬롯들의 벽체들은 직선형이며, 슬롯들은 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)으로부터 하방향으로 수직으로 연장된다. 사용되는 슬롯들의 개수는 작업물의 직경 및 다른 요인들에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로, 슬롯들은 분할되거나 중단되지 않고, 프로파일이나 폭의 변화 없이, 상부 컵(76)의 주위로 연속적으로 연장할 수 있다. 그러나, 방사상 전류 밀도의 변화들을 줄이기 위해, 분할된 슬롯들은, 시프트된 방사상 위치들의 세그먼트들과 함께 선택적으로 사용될 수 있다. 전류 밀도의 변화를 줄이기 다른 방안은 슬롯들의 방사상 위치를 원주상 각도에 따라 다르게 하는 것이다.
- [0020] 도 10에 도시된 바와 같이, 4개의 외측 슬롯들(104, 102, 100, 98)은, 도시된 특정 예에서, 수직 튜브들에 의해 외측 음극액 챔버(78)에 연결된다. 외측 음극액 챔버(78)에 대해 슬롯들(104, 102, 100, 98)을 연결하는 튜브들은 튜브들(104A, 102A, 100A, 98A)이다. 도시된 설계에서는, 18개의 튜브들이 각 슬롯에 연결되어 있다. 튜브들은 일반적으로 직선형 벽체 튜브들이며 수직 튜브들이다. 튜브들은 균일하게 원주상으로 이격될 수 있다. 튜브들의 개수, 크기(예를 들어, 단면 크기 직경), 길이 및 형상은 튜브들 내의 음극액을 통과하는 전류 경로의 전기 저항을 조정하기 위해 다를 수 있다.
- [0021] 도 11을 참조하면, 도시된 예에서, 튜브들의 내경은 해당 튜브가 결합되는 슬롯의 폭보다 크다. 따라서, 도 11에서, 단면도로 도시된 바와 같이, 튜브들은 더 직사각형으로 보인다. 튜브들과 슬롯 사이의 직접적인 가시선 경로를 방지하기 위해, 튜브들의 상단부들 위와 곡선형 상면(124) 아래의 슬롯 내에 차단 웹(blockage web)가 또한 선택적으로 제공될 수 있다. 차단 웹가 사용되면, 차단 웹는 튜브들과 그 슬롯 사이에 중간 플레넘을 형성한다.
- [0022] 도 10은 개방된 음극액 챔버들과 경로들을 도시하며, 이 챔버들과 경로들을 형성하는 주변 고체 물질을 도시하지 않는다는 점을 유념하면, 상부 컵(76)은, 선택적으로, 투-피스(two-piece) 조립체로서, 테프론(불소 중합체) 또는 천연 폴리프로필렌과 같은 유전체 물질로 형성될 수 있다.
- [0023] 18개의 튜브들(즉, 상부 컵(76)의 수직 보어들 또는 관통 홀들)을 가진 것으로 도시된 설계에서, 튜브들 사이에는 20°의 간격이 있다. 튜브들의 개수를 줄이면, 각각의 튜브 링들에서의 저항이 크게 증가하며, 이에 따라 튜브들을 더 짧게 만들 수 있다. 도 11은 각각의 튜브 링들의 튜브들이 방사상으로 정렬된 것으로 도시하지만, 임의의 튜브 링들의 튜브들이 대안적으로 인접한 튜브 링들의 튜브들로부터 엇갈릴 수 있다.
- [0024] 슬롯 출구에서의 전류 밀도 균일성은 슬롯들의 높이와 튜브들의 피치에 의해 매우 큰 영향을 받는다. 일반적으로, 1.0 초과의 슬롯 높이/튜브 피치의 중형비가 우수한 전류 밀도 균일성을 제공할 것으로 예상된다. 튜브 내경들은 약 3 내지 12mm, 또는 5 내지 7mm의 범위일 수 있다. 2 내지 5mm의 슬롯 폭과 4 내지 8mm의 튜브 직경의 조합을 사용할 수 있다.
- [0025] 대안적 설계에서, 슬롯들(94 내지 104)(또는, 그러나 많은 슬롯이 사용된다)은 매우 좁은 폭, 예를 들면, 1mm의 폭을 가지며, 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)으로부터 외측 음극액 챔버(78)까지 상부 컵(76)을 완전히 관통하여 연장한다. 이러한 설계에서는, 튜브들이 사용되지 않거나 필요하지 않다. 그 대신, 매우 좁은 슬롯들은 별도의 튜브들을 사용하지 않으면서, 저항이 충분한 경로를 제공한다. 슬롯들의 폭을 단지, 예컨대, 1mm로 형성하는 것이 (기계가공 또는 성형 기술들의 한계로 인해) 반드시 쉽게 달성될 수 있는 것이 아닐 수 있기 때문에, 좁은 전장(full-length) 슬롯들을 사용하는 것보다 튜브들이 바람직할 수 있다. 튜브들이 별도의 이격된 개구들을 제공하기 때문에, 슬롯의 연속적인 개구와 비교하여, 작업물의 회전이, 이격된 별도의 튜브 개구들로 인한 원주상 변화를 평균화하기 위해 튜브들을 이용하는 프로세서들에 사용될 수 있다.
- [0026] 도 10을 계속 참조하면, 슬롯들(96, 94)은 이 슬롯들 모두에 연결되어 있는 단일 튜브(96A) 세트와 함께 가깝게 이격될 수 있다. 마찬가지로, 슬롯들(92, 90)은 이 슬롯들에 연결되어 있는 단일 튜브(96A) 세트와 함께 가깝게 이격될 수 있다. 튜브들의 길이는 상부 컵(76)에 의해 수용된 음극액을 통한 전기 저항을 조정하기 위해 선택된다. 도 10에 도시된 바와 같이, 각각의 튜브들의 상단부는, 튜브들이 슬롯들에 결합되는 경우, 동일한 수직 위치(VP)에 있을 수 있다. 그러나, 튜브들의 하단부들의 수직 위치는 튜브들의 길이를 변화시키면서 다를 수 있다. 이는 상부 컵(76)의 바닥면에 형성된 단차들(steps)을 통해 구현될 수 있다. 도 10에 도시된 단차들은 단차들(92B, 96B, 98B, 100B, 102B 및 104B)이며, 각 단차들의 참조번호는 튜브들 및 슬롯들의 대응하는 참조번호와 연관된다. 예를 들면, 최외측 슬롯(104)은 단차(104B)에 연결되는 튜브(104A)에 연결되어 있다. 단차들(104B, 102B)은 동일한 수직 위치에 있을 수 있으며, 단차들(100B, 98B, 96B)은 점진적으로 상승하고, 단차(92B)는 단차(96B)보다 낮으며 단차(98B)와 거의 동일한 수직 위치에 있을 수 있다.

- [0027] 특정 프로세스에 대해 슬롯 높이와 튜브 간격(피치)을 맞추는 유연성은 유리할 수 있으며, 특히, 전류 밀도의 원주상 변화에 대해 민감한 구리 다마신 프로세스들에서, 심지어 작업물을 회전시킴으로써 시간-평균화되는 경우에도 유리하다. 각각의 튜브 링들의 튜브들이 길이들을 독립적으로 조정하기 위해 단차를 사용하면, 방사상 전류 밀도 프로파일을 개선하는 데 도움이 될 수 있다. 따라서, 도 10a에 도시된 바와 같이, 단차 인서트들(106) 또는 인서트 링들은, 튜브들의 유효 길이를 변경하기 위해 튜브들 아래의 프로세서 속에 선택되어 설치될 수 있는 교환가능한 컴포넌트들로서 제공될 수 있다. 인서트들은 특정 프로세스를 위해 프로세서를 설정할 때 각각의 슬롯을 통과하는 전류의 상대적인 양을 변화시킬 것이기 때문에, 인서트들(106)의 사용은 프로세서의 초기 설정(set up) 또는 다이얼링(dialing in) 동안 도움이 될 수 있다.
- [0028] 임의의 유사한 요소의 단차들을 이용하거나 이용하지 않고, 각각의 슬롯들의 바닥의 수직 위치를 변화시킴으로써, 튜브들의 유효 길이가 대안적으로 선택될 수 있다. 도 12는 요소들의 고체 물질보다는 상부 컵(76)과 확산기를 통한 액체 음극액의 외측 음극액 공간들을 도시한다는 점에서 상술한 도 13과 유사한 사시도이다. 예시의 명료함을 위해, 도 12의 외측 음극액 공간들은 외측 음극액 공간들을 형성하거나 규정하는 피쳐들 또는 요소들과 동일한 참조번호들을 갖는다. 일반적으로, 사용되는 제조 기술에 따라 튜브들 및 단차들과 관련하여 설명하였으나, 튜브들은 상부 컵(76)을 형성하는 물질을 관통하는 홀들로서 형성될 수 있으며, 마찬가지로, 단차들은 상부 컵(76)의 바닥에 형성된 직사각형 단면의 링들로서 형성될 수 있다.
- [0029] 도 10b는 상부 컵(76)의 상면(124)의 곡률 해석 모델(analytical model of curvature)을 나타낸다. 108 mS/cm, 50 Ohm/Sq과 250 mS/cm, 20 ohm/sq에 대한 곡선들이 서로 겹쳐있다. 하부 곡선은 108 mS/cm, 20 Ohm/sq 모델에 대한 것이다. 또한 곡선의 형상은 웨이퍼 에지와 컵 사이에 존재하는 것으로 추정되는 간극에 따라서 좌우된다. 곡선들이 웨이퍼 에지를 향하여 외측으로 이동하는 웨이퍼의 중심으로부터 웨이퍼 중심까지 떨어지기 때문에, 상부 컵(76)의 설계는 음극액의 유동과 일치한다. 서로 거의 겹치는 도 10b의 2개의 챔버 벽체 곡선들도, 이들이 거의 동일한 웨이퍼 말단 효과를 보상하는 경우들에 대한 것들이기 때문에, 마찬가지로이다. 말단 효과는 배스(bath) 저항(즉, 배스 전도도의 역수)으로 나눈 필름 시트 저항의 비율에 비례한다. 따라서, 높은 배스 전도도를 이용한 낮은 시드층 시트 저항(20 Ohms/sq, 250 mS/cm)은 낮은 배스 전도도에서의 높은 시트 저항(50 Ohms/sq, 108 mS/cm)에 대해 유사한 말단 효과를 나타낼 것이다.
- [0030] 소위 말단 효과는 중심에 비해 작업물의 에지에서 높은 증착 속도를 유발한다. 따라서, 보상되지 않으면, 말단 효과는 작업물 상에 불균일한 도금 필름들 또는 층들을 초래할 것이다. 말단 효과를 더 잘 보상하거나 제어하기 위해서, 도금 착수시, 헤드는 작업물을 상부 컵의 표면(124)에 대해 상대적으로 가까운 제 1 위치에 유지할 수 있다. 그런 다음에, 작업물 상의 필름 두께가 증가하고 말단 효과가 감소함에 따라, 상부 컵의 원주상 슬롯들(92 내지 104)에 대한 작업물의 근접으로 인한 불균일한 증착을 더 잘 회피하기 위해, 헤드는 작업물을 표면(124)으로부터 더 먼 제 2 위치로 리프팅할 수 있다. 그러나, 이러한 간격 변화는 작업물의 에지들 주변에 전류 밀도의 에지 효과 편차를 초래할 수 있다.
- [0031] 도 10c는 이러한 전류 밀도 변화들을 보상하기 위해 사용될 수 있는 수직 에지 쉘드(128)의 일례를 나타낸다. 작업물의 에지는 참조번호 "191"로 표시되어 있다. 통상적으로, 유전체 물질로 제조되는 에지 쉘드(128)는 초기 도금 동안 필름 저항이 높아지면 표면(124) 아래의 개구 속으로 낙하할 수 있으며, 차후 도금 동안 작업물이 표면(124)으로부터 멀어지면 개구로부터 도 10c에 도시된 위치로 상승할 수 있다. 쉘드(128)는 액츄에이터(129)에 의해 이동될 수 있다.
- [0032] 도 10d는 회색으로 나타낸 음극액과 함께 (백색으로 나타낸) 수평 에지 쉘드(190)를 도시한다. 작업물 에지는 참조번호 "191"로 표시되어 있다. 쉘드(190)는 수직 환형 링(194)에 결합된 수평 링(192)으로 형성될 수 있다. 대안적으로, 수평 링(192)은 단독으로 사용될 수 있으며, 스페이서들 상에 지지될 수 있다. 대안적으로, 수평 링(192)은 상부 컵 내에서 스프링들 상에 지지될 수 있다. 이러한 설계에서는, 작업물이 상부 컵으로부터 상방향으로 이동할 때, 스프링들이 쉘드(190)(또는 128)를 상승 위치로 들어올린다. 작업물이 상부 컵에 가까운 초기 하강 위치에 있을 때, 작업물을 유지하는 로터가 쉘드를 상부 컵 내의 리세스 속에 억제한다. 수평 링(192)은 상부 컵의 주연부(perimeter) 주위의 리세스나 그루브에 위치될 수 있다. 도 10c의 설계와 비교하면, 도 10d의 설계에서는, 링(192)의 수평 배향으로 인해, 씨프 전류가 수직 링(194)의 위 아래에서 곡선형 벽체와 작업물 사이의 간극의 전체 높이를 통과할 수 있게 된다. 수평 링(194)은 수평 링(192)의 위 또는 아래를 지나가는 씨프 전류의 양을 조절하는 데 도움이 되도록 전류 흐름 경로를 더 제한한다. 도 10c의 쉘드(128)가 웨이퍼의 에지로 물리는 전류를 제어하는 동안에, 또한 모든 씨프 전류는 쉘드(128) 위에서 웨이퍼와 쉘드(128)의 상부 사이의 더 작은 간극으로 흐르기 위해 웨이퍼의 에지로 집중된다. 이 설계에서, 작업물 에지에서의 전류 씨프

에 대해 강화된 영향은 다른 설계 매개변수들을 변경함으로써 완화될 수 있다.

- [0033] 도 9는 프로세서(20)의 외부와, 프로세서(20) 내외로 프로세스 유체들을 제공하기 위한 접속부들 또는 피팅들(fittings)을 도시한다. 도 6 및 도 9를 참조하면, 양극액은 입구(154)를 통해 내측 양극액 챔버(110)로 제공된다. 양극액은 입구(148)를 통해 외측 양극액 챔버(112)로 제공된다. 피팅(146)은 외측 양극액 챔버(112)를 위한 양극액 유티 상태 재순환 포트이다. 피팅(150)은 외측 양극액 챔버(112) 반환(return)/재생(refresh) 포트이다. 피팅(156)은 내측 양극액 챔버 반환/재생 포트이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 양극액은 내측 양극액 챔버로부터 순환 슬롯(162)을 통해 유동하고, 양극액은 외측 양극액 챔버로부터 순환 슬롯(160)을 통해 유동한다. 유티 상태 동안에, 프로세서가 양극액을 수용하고는 있지만 능동적으로 프로세싱하지 않을 때, 출구(152)는 양극액을 프로세서로부터 외측 음극액으로 유동하게 한다. 이는, 양극액과 음극액의 성분들의 확산을 더 잘 회피하기 위해, 양극액이 멤브레인들과 접촉하지 않도록 양극액의 레벨을 떨어뜨린다.
- [0034] 도 5 및 도 9를 참조하면, 음극액은 내측 음극액 챔버(120) 내에서 상방향 및 방사상 외측으로 유동하고, 수집 링 챔버(122)에 수집된다. 음극액은 수집 링 챔버(122)로부터 재순환을 위해 반환 포트(158)로 유동한다. 음극액 레벨 표시기(140)는 상부 컵(76)의 음극액 액체 레벨링을 모니터링한다. 본 명세서에 사용된 용어인 양극액과 음극액은 프로세서 내에서 전해액의 위치를 기준으로 하며, 반드시 전해액의 임의의 특정 화학적 조성을 의미하지는 않는다. 표시기(140)는 프로세서 또는 자동화된 시스템의 프로세서 어레이를 제어하는 컴퓨터 컨트롤러에 접속될 수 있다. 컴퓨터 컨트롤러는 또한 프로세서(20)의 다양한 다른 작동 매개변수들을 제어하기 위해 사용될 수 있다. 과도한 음극액은 도 9에 도시된 음극액 드레인(142)을 통해 프로세서로부터 유출된다.
- [0035] 도 2, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 헤드(30) 내의 로터(180)는 모터(184)에 의해 회전된다. 로터(180)는 작업물 또는 웨이퍼를 유지하도록 구성된다. 로터 상의 컨택 링(181)은 작업물과 전기적으로 컨택한다. 로터(180)의 작업물 유지 위치 위에서 헤드(30) 내에 노즐(186)이 중앙에 정렬되어 위치될 수 있다.
- [0036] 도 14, 도 15 및 도 16은 프로세서(20)와 함께 사용될 수 있는 전류 씨프 전극 조립체(200)를 도시한다. 이 조립체(200)는 하우징(204)에 부착된 링(202)을 포함한다. 백금 와이어와 같은 와이어(208)가 링(202)의 그루브(216) 내에 위치한 멤브레인 튜브(206)를 통해 연장된다. 와이어(208)의 단부들은 하우징(204)의 내에서 종료되며, 커넥터(210)를 통해 전압 소오스에 접속되어 있다. 전해액은 하우징(204)에 부착된 입구 피팅(212)과 출구 피팅(214)을 거쳐 멤브레인 튜브(206)를 통해 펌핑된다. 씨프 조립체(200)에 제공되는 전해액 액체("thiefolyte(씨프 전해액)")는 상부 컵(76)에 제공되는 음극액 액체와 다를 수 있다. 도 9 및 도 16에 도시된 바와 같이, 이 조립체(200)는 상부 컵(76)의 상부에 결합되며, 프로세서(20)의 전류 흐름 특성들을 변화시키기 위해 사용될 수 있다. 조립체(200)는 하나의 유닛으로서, 상부 컵(76)으로부터 쉽고 빠르게 제거 및 교체될 수 있다.
- [0037] 사용시, 통상적으로 전기 전도성 시드층을 가진 작업물이 헤드에 로딩된다. 작업물 상의 시드층은 전원 소오스에, 통상적으로는 음극에 접속된다. 헤드가 페이스 업(face up) 위치에 로딩되면, 로터와 로터에 유지된 작업물이 페이스 다운(face down)되도록 헤드가 반전된다(flipped). 그리고, 작업물이 용기 내의 음극액과 컨택할 때까지, 헤드가 용기 위로 하강하게 된다. 작업물과 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124) 사이의 간격은 작업물 표면에서의 전류 밀도 균일성에 영향을 미친다. 일반적으로, 작업물 대 표면 간극(작업물과 곡선형 상면(124)의 임의의 부분 사이의 최소 치수)은 약 4 내지 14mm이다. 이 간극은 프로세싱 동안 변화될 수 있다. 작업물은 표면(124)으로부터 점진적으로 상방향으로 멀어지거나, 시작 간극으로부터 종료 간극으로 빠르게 이동할 수 있다. 헤드를 들어올리고 헤드를 회전시키거나 반전시키기 위해 리프트/회전 메커니즘이 사용될 수 있다. 이 설계에서, 헤드는 헤드 내외로 웨이퍼를 로딩 및 언로딩하기 위해 페이스 업 위치로 회전하게 된다. 프로세싱을 위해, 웨이퍼를 유지하는 헤드가 페이스 다운 위치로 회전하게 되며, 전해액 베스 속에 웨이퍼 또는 적어도 웨이퍼의 하면을 위치시키기 위해 헤드가 하방향으로 이동한다.
- [0038] 양극액은 내측 양극액 챔버(110)에 제공되며, 이와는 별도로, 외측 양극액 챔버(112)에 제공된다. 음극액은 원주상 공급 덕트(84)에 제공된다. 씨프 전해액은 입구 피팅(212)에 공급된다. 통상적으로, 헤드를 하강시킴으로써, 작업물이 이동하여 음극액과 컨택하게 된다. 양극들(70, 72)로의 전류는 양극들로부터 내측 및 외측 양극액 챔버들(110, 112) 내의 양극액을 통해 흐르는 전류에 의해 스위치 온된다. 양극액 자체는 도 6에 점선 화살표로 나타난 바와 같이 유동한다. 내측 및 외측 양극들로부터의 전류는 양극액과 내측 및 외측 멤브레인들(85, 86) 각각을 통과하여, 상부 컵(76)의 개방된 공간들에 수용된 음극액으로 흐른다.
- [0039] 상부 컵(76) 내에서, 도 8a의 화살표들로 나타난 바와 같이, 음극액은 공급 덕트(84)로부터 확산기 덮개 플레넘(87)까지 방사상 내측으로 유동한 다음, 확산기(74) 속으로 유동한다. 음극액은 확산기로부터 상방향으로 유동

한 다음, 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124) 위에서 모든 방향으로 방사상 외측으로 이동한다. 작업물 위에 증착된 음극액 내의 금속 이온들은 작업물 상에 금속층을 구축한다. 작업물 상에 보다 균일한 증착을 제공하도록, 로터(180)와 작업물을 회전시키기 위해 모터(184)가 스위치 온될 수 있다. 그러면, 대부분의 음극액이 수집 링(122)으로 유동하게 된다. 소량의 음극액은 슬롯들(90 내지 104)과 튜브들(92A 내지 104A)을 통해 외측 음극액 챔버(78)로 하방향으로 유동한다. 그 다음, 음극액은 프로세서(20)로부터 유동한다.

[0040] 일반적으로, 전기화학 프로세서들에서, 전류는 모든 이용가능한 통로들을 통해 흐르는 경향이 있으며, 그 결과, 반응기와의 전압 구배들에 기인하는 소위 전류 누설을 초래한다. 전류는 멤브레인 또는 환기 홀들/슬롯들과 같은 경로들을 통해 양극 채널들 사이로 누설될 수 있다. 또한, 전류는 확산기와 같은 프로세서 컴포넌트들의 벽체들을 따라 누설될 수 있다. 특히 구리 다마신 응용예들에서, 이러한 전류 누설은 작업물 표면에서의 전류 밀도 변화를 야기할 수 있으며, 증착 속도가 변하고 궁극적으로 도금된 금속층이 작업물 전반에서 수용할 수 없는 두께 변화들을 갖는 결과를 가져올 수 있다. 반응기 내의 전압 구배는 도금 시작시와 종료시에 특히 클 수 있다. 고저항 시드층을 도금할 때, 전류의 흐름은 내측 양극(70)과 작업물 그리고 전류 씨프 사이에 모두 존재한다. 그 결과, 외측 양극 챔버 내의 전압은 낮은 반면, 내측 양극 컵과 멤브레인 챔버에서의 전압은 상당히 높을 수 있다(100 볼트 초과). 이와 같이 큰 전압차는 비교적 작은 전류 누설 경로들을 통해서도 상당한 전류 누설을 초래할 수 있다. 따라서, 별도의 개별적으로 밀봉된 내측 및 외측 전류 경로들을 사용하면, 얇은 시드층들에 도금할 때, 프로세서의 성능을 향상시킬 수 있다. 이는 별도의 개별적으로 밀봉된 멤브레인들의 사용을 포함한다. 대부분의 전류가 외측 양극으로부터 나올 때, 두꺼운 저저항 필름들에 도금하는 경우에는, 상황이 반전될 수 있다. 그리고, 마찬가지로 크기는 하지만 반대인 전압차가 내측 및 외측 양극 채널들 또는 전류 경로들 사이에 다시 존재할 수 있다.

[0041] 도 5를 참조하면, 프로세서는 내측 및 외측 전류 채널들을 갖는 것으로 설명될 수 있다. 이러한 설명을 사용하면, 내측 전류 채널은 내측 양극(70)으로부터 내측 멤브레인(85), 확산기(74) 및 중앙 음극액 챔버(124)를 통해 대체로 수직으로 작업물까지 연장한다. 내측 전류 채널은 원통형 튜브로서 실질적으로 시각화될 수 있다. 이에 상응하여, 외측 전류 채널도 외측 양극(72)으로부터 외측 멤브레인(86), 외측 음극액 챔버(78) 및 상부 컵의 개구들을 통해 작업물까지 수직으로 연장하는 것으로서 시각화될 수 있다. 내측 및 외측 전류 채널들은 자신들 사이에서의 전류 누설을 줄이기 위해 O링들 및 유전체 물질 벽체들과 같은 밀봉 요소들에 의해 서로로부터 유리하게 밀봉되어 격리된다.

[0042] 상부 컵(76) 내의 튜브들과 슬롯들은 외측 양극 챔버 내외로의 전류 누설을 줄이도록 설계되어 있다. 저항 시드층 상에 균일하게 도금하기 위해, 금속 필름 내에 큰 방사상 전압 구배가 반드시 생성된다. 프로세서는 음극액 내에서 이러한 방사상 전압 구배를 매칭시켜야만 한다. 그러므로, 큰 전압 구배가 중심으로부터 (내측 양극과 웨이퍼 그리고 씨프 사이의 전류에 의해 구동되는) 에지까지 곡선형 챔버 벽체의 표면을 따라 존재할 것이다. 곡선형 챔버 벽체의 슬롯(90, 92, 94, 96)에서의 전압은 중심으로부터 더 멀리 있는 슬롯(98, 100, 102, 104)에서의 전압보다 높을 것이다. 따라서, 누설 전류는 내측 슬롯들 속으로 흐른 다음, 웨이퍼의 에지에 가까운 슬롯들로부터 역류하게 된다. 이러한 전류 경로는, 곡선형 챔버 벽체를 따라 유체 경로를 통과하는 의도된 전류 경로를 우회하며 웨이퍼를 가로지르는 방사상 전류 밀도 균일성을 감소시키기 때문에, 바람직하지 않은 누설이다. 이러한 누설 경로를 통과하는 전류의 양을 최소화하기 위해, 비교적 소수의 긴 홀들(90A, 92A, 94A, 96A, 98A, 100A, 102A, 104A)을 사용하여 경로의 저항을 매우 크게 만든다. 이와 동시에, 이러한 홀 열들의 상대 저항을, 전류 누설 문제들을 위해서가 아니라, 외측 양극(72)으로부터 웨이퍼까지 적절한 방사상 전류 분포를 보장하도록 설정한다. 각각의 홀 열(각각의 방사상 원)의 저항은 5 Ohms을 초과할 수 있으며, 더 구체적으로 대략 10 Ohms일 수 있다. 슬롯 폭들의 선택은 저항 시드층에 도금할 때 곡선을 따라 존재하는 전류 구배와 관련된다. 넓은 슬롯들은 곡선형 벽체를 왜곡하여, 웨이퍼를 가로지르는 방사상 전류 밀도 분포에 유해할 수 있다. 넓은 슬롯들은 전류가 벽체를 따라 이동할 때 전류가 하나의 슬롯 내외로 침강할 수 있도록 허용한다. 그러나, 각각의 슬롯 아래에 있는 웨이퍼 상에 생성될 수 있는 증착 범프들을 피하기 위해서는 블랭킷 필름 상에서의 도금 종료시 하나의 넓은 슬롯이 유리하기 때문에, 슬롯 폭은 트레이드-오프(trade-off) 관계이다.

[0043] 도 11에 도시된 바와 같이, 외측 슬롯(100, 102, 104)은 내측 슬롯들(90, 92, 94, 96, 98)보다 서로 더 가깝게 이격될 수 있다. 일반적으로, 슬롯들이 작업물에 더 가까울수록, 슬롯들이 서로 더 가까울 수 있으며, 작업물 표면에서의 전류 변화를 더 잘 줄일 수 있다.

[0044] 또한, 작업물 상에서의 보다 균일한 금속 증착을 구현하기 위해, 작업물의 에지들에 인접한 와이어(208)와 같은 씨프 전극에 전위가 인가될 수 있다. 도 16에 도시된 바와 같이, 씨프 조립체(200)의 와이어(208)가 멤브레인

튜브(206) 내에서 그루브(216)의 바닥 또는 그 부근에 위치된다. 그루브(216)의 개방된 상부(218)는 가상 전극으로서의 역할을 한다. 전기도금 프로세스가 진행되고 작업물의 시트 저항이 강하하여 말단 효과가 저하되면, 씨프 전류도 감소될 수 있다.

[0045] 로터(180)는 밀봉된 컨택 링을 사용하거나, 습식 또는 밀봉되지 않은 컨택 링을 사용할 수 있다. 밀봉된 컨택 링을 사용하는 경우, 시일은 일반적으로 작업물의 에지 부근의 전기장을 왜곡시킨다. 그러나, 이러한 왜곡은 상부 컵(76)의 설계를 통해 적어도 부분적으로 보상될 수 있다. 최외측 슬롯(도시된 설계에서는, 슬롯(104))을 넘어 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)의 외주연부(outer perimeter)가 시일까지 상승하도록 설계될 수 있다. 상부 컵(76)의 상면(124)에서 이와 같이 상방향으로 연장된 외측 영역은 곡면이거나 평면일 수 있다. 상부 컵(76)의 상방향으로 상승된 외주연부는 씨프 전류가 시일에 가까운 좁은 간극을 통해 흐르도록 강제한다.

[0046] 밀봉된 컨택 링의 사용과 연관된 전기장의 왜곡도 씨프 조립체(200)의 링(202)의 설계를 통해 감소될 수 있다. 도 16에 도시된 바와 같이, 링(202)의 내측 에지(215)는 상부 컵의 상면(124)의 외측 에지로부터 상승 단차(step up)를 제공한다. 단차의 높이는 약 2 내지 6mm일 수 있다. 링(202)은 모듈형 씨프 전극 조립체(200)의 일부이기 때문에 쉽고 빠르게 설치되거나 제거될 수 있다. 프로세서(20)는 제 위치에 고정된 단일의 상부 컵을 구비할 수 있으며, 사용된 컨택 링이 밀봉되었는지 밀봉되지 않았는지의 여부에 기초하여 씨프 조립체의 링(202)이 선택될 수 있다.

[0047] 웨이퍼 또는 작업물을 전기화학적으로 프로세싱하기 위한 방법은 작업물을 헤드 내에 유지하는 단계를 포함하며, 헤드는 용기 내의 음극액과 컨택하도록 작업물을 하강시킨다. 용기 내의 내측 양극액 챔버와 연관된 내측 양극과, 내측 양극을 둘러싸며 외측 양극액 챔버와 연관된 외측 양극에 전류가 공급된다. 전류는 용기의 상부 컵의 곡선형 상면의 환형 슬롯들 내의 음극액을 통해 흐른다. 또한, 전류는 상부 컵의 곡선형 상면에 인접한 전류 씨프로부터 흐른다. 음극액은 멤브레인을 통해 내측 양극액 챔버로부터 분리된 내측 음극액 챔버로부터 작업물을 향해 상방향으로 유동한다. 또한, 음극액은 슬롯들을 통해 외측 음극액 챔버로 하방향으로 유동할 수 있다.

[0048] 작업물은 선택적으로 회전할 수 있다. 또한 작업물은 프로세싱 동안 상부 컵의 곡선형 상면으로부터 멀리 들어 올려질 수 있으며, 리프팅 속도는 작업물 상에서의 필름 시트 저항의 함수이다. 양극들과 작업물 사이의 전류 경로의 전기 저항은 5, 10 또는 15 ohms을 초과할 수 있다.

[0049] 일부 응용예들에 있어서, 특히, 작업물들의 직경이 큰 경우, 프로세서(20)는 하나 초과 외측 양극을 포함하도록 변형될 수 있다.

[0050] 도 8a에 점선으로 나타난 바와 같이, 작업물의 중심 영역에서의 물질 전달 속도를 높이기 위해 중앙 음극액 제트(228)가 제공될 수 있다. 음극액 제트(228)는 내측 멤브레인 지지부(88)의 중앙 제트 개구(230)에 의해 형성될 수 있다. 내측 멤브레인 지지부의 하나 또는 둘 이상의 스포크들(114)에 있는 덕트(232)가 중앙 제트 개구(230)에 음극액을 공급할 수 있다.

[0051] 도 8b에 도시된 바와 같이, 대안적인 상부 컵(76A)에서는, 외측 음극액 챔버(78)의 상면들(240)이 외벽을 향해 기울어져 있다. 도 5 및 도 6에 도시된 평면 또는 수평면들과 비교하면, 도 8b의 설계는 음극액에 기포들이 포획될 가능성이 낮다. 도 8b의 경사면들(240)은 음극액 챔버 내의 모든 기포들을 상방향으로 운반하여, 리세스(242)와 환기구(244)를 향해 방사상 외측으로 운반하는 경향이 있다. 튜브들의 하부 개구들은 서로 다른 수직 위치들에 놓여 있다. 튜브 직경들과 슬롯 길이들은 적절한 전기 저항을 달성하기 위해 조정될 수 있다.

[0052] 도 8c에 도시된 바와 같이, 다른 대안적인 상부 컵 설계에서는, 외측 음극액 챔버(78)로부터 상방향으로 연장하는 각각의 튜브가 상부 컵의 곡선형 상면(124)에서 개방되어 있는 2개의 슬롯 속으로 이행한다. 이 설계에서 상부 컵은 12개의 슬롯들을 갖는다. 또한, 도 8c에 도시된 바와 같이, 외측 음극액 챔버의 내측 상면(250)은 상방향으로 경사져 있고, 외측 상면(252)은 하방향으로 경사져 (방사상 외측으로 이동하고) 있으며, 이들 사이에 급격한 하강 단차(step down; 254)가 있다. 또한 외측 음극액 챔버의 상면들의 이러한 대안적 설계는 기포들의 포획을 줄이거나 피하기 위해 선택적으로 사용될 수 있다.

[0053] 도 17은 도 1 내지 도 7에 도시된 프로세서(20)와 유사하지만, 단일의 전해액을 사용하는 대안적 프로세서(260)를 도시한다. 이 프로세서(260)에는 상부 및 하부 챔버들을 분리하는 멤브레인들이나 다른 배리어가 없다. 그 대신, 내측 및 외측 유동 채널이 양극들로부터 상부 컵을 통해 상방향으로 연장된다. 전해액이 공급 덕트(84)를 통해 유입되어(내측 채널이 전해액으로 충전되고), 상방향 및 방사상 외측으로 유동하고, 웨어(weir) 위를 지나며, 소량의 전해액은 (프로세서(20)에서의 음극액과 마찬가지로) 슬롯들과 튜브들을 통해 하방향으로 유

동한다. 그러나, 별도의 상부 및 하부 챔버들이 없기 때문에, 튜브들을 통해 하방향으로 유동하는 전해액은 양극 격실들로 유동한 다음, 출구들(262, 266)을 통해 프로세서(260)로부터 유출된다. 프로세서(260)가 멤브레인들을 갖지 않기 때문에, 멤브레인 지지부들은 필요하지 않다.

[0054] 프로세서(20)는 50 Ohms/sq 또는 그 초과 시트 저항을 가진 매우 높은 시트 저항 시드층들을 포함하여, 금속 필름 시트 저항들의 넓은 범위 위의 반도체 또는 다른 작업물에 균일한 전류 밀도로 도금할 수 있다. 이러한 기능은 피쳐 사이즈들이 작아질수록, 특히, 구리 다마신 필름들에 있어서, 점점 더 중요해지고 있다. 도금 프로세스 동안, 금속이 증착되고 금속 필름 두께가 증가함에 따라, 웨이퍼 상의 금속 필름의 시트 저항이 매우 높은 초기 저항, 예컨대, 50 Ohm/sq 또는 더 높은 저항으로부터 매우 낮은 시트 저항, 예컨대, 0.02 Ohm/sq로 변하게 된다. 이러한 현상이 발생할 때, 균일한 도금을 유지하기 위해 프로세서에서 전기장을 제어하는 것은 상당한 공학적 과제들을 제공한다.

[0055] 상부 컵(76)의 곡선형 상면(124)은, 통상적으로 오직 내측 양극(70) 및 씨프 조립체(174)가 사용되고, 제 2 양극(72)이 실질적으로 오프되어 있을 때, 초기의 매우 얇은 시드층에 대한 도금을 매우 잘 수행한다. 도금된 금속 필름의 두께가 증가하고 시트 저항이 감소하면, 제 2 양극(72)이 전기장의 제어에 도움을 주기 위해 사용된다. 제 2 양극(72)으로부터의 전류가 전기장의 제어에 도움을 줄 수 있도록, 슬롯들(90 내지 104)과 같은 슬롯들이 상부 컵(76)에 제공된다. 그러나, 주로 제 2 양극(72) 전류 경로들을 통한 전류 누설로 인해, 슬롯들도 얇은 시드층에 대한 곡선형 상면(124)의 이상적인 성능을 변화시키는 것으로 밝혀졌다.

[0056] 제 2 양극 전류 경로들이 높은 저항을 갖지만, 매우 얇은 초기 시드층의 도금 동안에, 내측 양극(70)으로부터의 전류 일부가 여전히 경로들을 통해 흐른다. 이는 프로세서(20) 내의 전기장을 변화시키며, 초기 시드층에 균일하게 도금하는 데 있어서 전기장이 덜 효과적이게 만든다. 특히, 제 1 양극(70)으로부터의 전류 일부가 내측 슬롯들과 튜브들을 통해 분석 리플로우(reflow) 챔버(78) 속으로 하방향으로 흐른 다음, 외측 튜브들과 슬롯들을 통해 웨이퍼의 에지로 상방향으로 흐른다. 그 결과, 이러한 전류 누설로 인해, 균일한 도금을 하기에는 웨이퍼의 에지를 향한 전류 밀도가 너무 높아지고, 에지로부터 먼 전류 밀도가 너무 낮아질 수 있다.

[0057] 슬롯들을 연결하는 튜브들의 저항을 증가시킴으로써, 전류 누설이 감소될 수 있다. 그러나, 이 또한 셀 전압과 전력 공급 요건들을 증가시킨다. 전력 공급 요건들을 증가시키지 않고 전류 누설을 제어하기 위해, 기계적 요소들을 통해 프로세서 내의 전기 경로들이 물리적으로 변화될 수 있다. 특히, 튜브들을 통한 유동 경로들의 전기 저항 변화에 대응하여, 튜브들의 유효 길이 및/또는 직경이 변화될 수 있다. 초기 도금 동안, 튜브들은 저항을 최대화함으로써 자신들을 통한 전류 누설이 최소화되도록 설정될 수 있다. 초기 도금 후, 튜브들의 저항은, 프로세서 전력 공급에 대해 과도한 전력 요건을 부여하지 않고, 제 2 양극으로부터 더 많은 전류의 통과를 허용하도록 감소될 수 있다.

[0058] 도 18은 튜브들을 통한 전류 경로의 저항을 기계적으로 변화시키기 위한 하나의 기술을 도시한다. 이 기술에서는, 변형된 상부 컵(270)이 튜브들의 바닥 개구에 원뿔대 또는 원뿔형 단면의 플레이트(272)를 구비한다. 플레이트(272)는 튜브들과 정렬된 홀들 또는 슬롯들을 구비한다. 플레이트(272)가 튜브들의 하단부들로부터 완전히 차단되는 완전 폐쇄 위치로부터 플레이트(272)의 홀들이 튜브들과 완전히 정렬되는 완전 개방 위치로 플레이트를 약간 회전시키기 위해 플레이트(272)에 플레이트 액츄에이터(274)가 연결되어 있다. 이러한 설계에 의하면, 튜브들(92A, 96A, 98A, 100A, 102A 및/또는 104A) 중 일부 또는 전부가 얇은 시드층의 초기 도금 동안 폐쇄될 수 있다. 플레이트 액츄에이터(274)의 제어를 통해, 웨이퍼의 시트 저항이 감소할 때, 튜브들은 부분적으로 또는 완전히 개방될 수 있다. 또한, 서로 다른 회전 위치들에서 방사상 전류 분포가 달라질 수 있도록, 플레이트(272)가 설계될 수 있다.

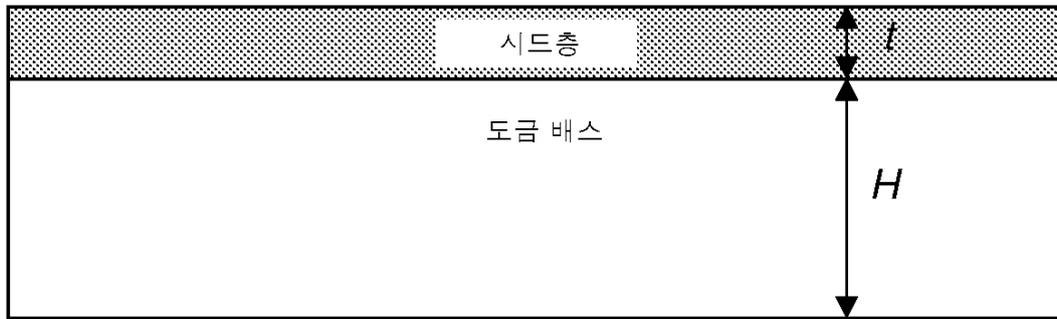
[0059] 플레이트 액츄에이터(274)는 완전 개방 위치 또는 완전 폐쇄 위치 중 어느 하나로 플레이트(272)를 이동시키는, 공압 액츄에이터와 같은, 2위치 액츄에이터일 수 있다. 대안적으로, 플레이트 액츄에이터(274)는 플레이트(272)를 계속 이동시킬 수 있으며 완전 개방에서 완전 폐쇄까지의 범위 중에서 임의의 위치를 선택할 수 있는, 전기 액츄에이터와 같은, 다른 유형의 액츄에이터일 수 있다. 플레이트 액츄에이터(274)는 기계적 링크 결합 또는 자기 또는 전자기 커플링을 통해 플레이트(272)에 연결될 수 있다. 도 18은 플레이트(272)를 원뿔형 단면으로 도시하지만, 분석 리플로우 챔버(78) 내에 평탄한 상면(240)을 가진 프로세서들을 위해, 평탄한 플레이트(272)가 사용될 수 있다.

[0060] 일부 응용예들에 있어서, 또한 플레이트는 도금 프로세스 동안 변화되지 않고 원하는 위치에 남도록 설정될 수 있다. 예를 들어, 프로세서(20)가 두꺼운 시드층을 가진 웨이퍼들을 프로세싱하고자 한다면, 플레이트(272)는 전체 도금 프로세스에서 완전 개방 위치에 남아 있을 수 있다.

- [0061] 도 19는 튜브들의 저항이 변화될 수 있도록 하는 다른 설계를 도시한다. 이 설계에서는, 상부 컵(280)이 튜브들(92A, 96A, 98A, 100A, 102A 및/또는 104A) 내외로 슬라이딩하거나 텔레스코핑될 수 있는 튜브 연장부들(282)을 포함한다. 튜브 연장부들(282)은 브리징(bridging) 링 또는 플레이트(290)에 장착될 수 있다. 플레이트 액추에이터(292)가 튜브들의 길이를 효과적으로 변화시키기 위해 브리징 플레이트(290)를 상하로 이동시킴으로써, 튜브들 내의 전해액을 통한 전류 경로의 전기 저항을 변화시킨다. 액추에이터(292)의 설계와 동작은 상술한 액추에이터(274)와 동일할 수 있다. 웨이퍼에 대한 방사상 전류 분포를 조정하기 위해, 튜브 연장부들(282)을 사용하여 각각의 링 내에서 튜브 길이들도 조절될 수 있다.
- [0062] 도 20은 나사식 튜브 인서트(320)를 사용하여 튜브들의 유효 길이와 저항을 변화시키기 위한 다른 설계를 도시한다. 상부 세그먼트(322)는 나사산(366)을 통해 하부 세그먼트(324)에 부착된다. 나사식 튜브 인서트(320)는 튜브들(92A, 96A, 98A, 100A, 102A 및/또는 104A) 중 일부 또는 전부에 위치될 수 있다. 상부 세그먼트(322)에 대해 하부 세그먼트(324)를 돌리면, 튜브들의 유효 길이가 늘어나거나 단축된다. 도 20의 튜브 길이들도 웨이퍼에 대한 방사상 전류 분포를 제어하기 위해 마찬가지로 조절될 수 있다.
- [0063] 도 21 및 도 22는 슬롯들(90, 92, 94, 96, 98, 100, 102 또는 104) 중 하나 또는 둘 이상에 결합되도록 설계된 링들(302)을 구비한 다른 프로세서 설계(300)를 도시한다. 링들(302)은 슬롯에 압입될 수 있는 치수를 가질 수 있다. 링들(302)은 튜브들 위에 정렬되는 관통 홀들(310)을 가질 수 있으며, 홀 직경들은 튜브들의 유효 저항을 변화시키기도록 선택된다. 홀 위치들 중 일부는 영구 또는 임시 플러그(312)에 의해 폐쇄되거나 생략될 수 있다. 홀 직경들은 모두 동일할 수 있거나 또는 다를 수 있다. 도 22에 도시된 바와 같이, 대안적으로, 링들(302)은 튜브들 속으로 부분적으로 연장된 포스트들(306)을 가질 수 있으며, 튜브를 통한 제한된 전류 흐름을 허용하기 위해, 포스트의 직경은 튜브의 직경보다 작다. 링들(302)은 전류 누설 경로들을 줄이기 위해 고밀도의 홀들 또는 슬롯들을 가진 세라믹과 같은 이방성 물질로 제조될 수 있다. 이러한 설계의 일례는 작은 직경의 평행한 관통 홀들로 이루어진 패턴을 가진 알루미늄 플레이트이다.
- [0064] 도 22에 도시된 바와 같이, 만약, 링들(302)이 사용된다면, 링들은 위로부터 슬롯들에 위치될 수 있다. 따라서, 프로세서(20)를 해체하지 않고, 링들(302)을 설치하거나 제거할 수 있다. 링들(302)은 방사상 전류 분포를 조정하기 위해 슬롯들을 통한 전류의 흐름을 부분적으로 또는 완전히 차단하기 위해 사용될 수 있다. 도 21에 도시된 바와 같은 링들은, 대안적으로, 튜브들(92A 내지 104A)의 하단부들로 삽입될 수 있다. 도 22를 계속 참조하면, 링들(302)의 바닥면들은 평탄하거나 경사질 수 있으며, 바닥면으로부터 상면까지 각각의 링의 상대적인 높이는 이방성 물질을 사용하는 경우 상대 저항을 조절하는 데 도움이 되도록 슬롯마다 다를 수 있다.
- [0065] 상술한 상부 컵들(76)은 플라스틱, 세라믹 또는 다른 유전체 물질들로 제조될 수 있다. 450mm 직경과 같은 대형의 웨이퍼들을 처리하도록 설계된 프로세서들에 있어서, 차원 설계 공차들 내에 더 잘 유지되도록 하기 위해 세라믹 물질들이 사용될 수 있다. 도 8a에 도시된 바와 같이, 방사상 분기 슬롯들(108)이 내측 슬롯(90)의 중간 영역으로부터 확산기(74)에 인접한 상부 컵(76)의 표면(124)으로 분기될 수 있다. 방사상 분기 슬롯들(108)은 중단되거나 계속될 수 있으며, 도 8a는 중단된 방사상 분기 슬롯들을 도시한다. 본 명세서에는 표면(124)이 곡선형 표면인 것으로 설명되어 있으나, 선택적으로, 표면은 계단형 설계로 동일하거나 다른 길이를 가진 다수의 증분 단차들을 사용하는 거의 곡선일 수 있다.
- [0066] 도 23 내지 도 26은 도 3 내지 도 7에 도시된 반응기의 용기 내에 보관된 전해액에서 전계선들이 도금 프로세스 동안에 어떻게 변화하는지를 도시한다. 도 23에 도시된 바와 같이, 프로세스 시작시, 시드층이 얇고, 예컨대, 50 ohm/sq의 높은 저항을 가진 경우, 작업물 표면 근처의 수직 볼트 곡선들(volt contours)은 일반적으로 수직이다. 도 24 및 도 25는, 작업물의 금속층이 도금을 통해 더 두꺼워지고 저항이 감소할 때, 더 수평적으로 변화하는 볼트 곡선들을 도시한다. 도 26은, 도금되는 작업물 표면의 저항이 낮은 도금 프로세스 종료시 또는 종료에 가까워질 때, 볼트 곡선들이 대체로 수평인 것을 도시한다. 따라서, 작업물 표면 또는 그 부근의 볼트 선들은 도금 프로세스 동안에 70 내지 90° 또는 80 내지 90° 회전한다.
- [0067] 도 23 내지 도 26에 표시된 특정 저항들은 거의 수평으로부터 거의 수직으로의 볼트 곡선 배향의 변화를 나타내기 위해 사용된 예들이다. 저항의 다른 구분점들이 마찬가지로 선택될 수 있다. 사용된 금속과 도금된 층의 최종 두께에 따라, 시작 저항은 또한 50 ohm/sq를 초과할 수 있고, 종료 저항은 도 26에 도시된 0.0275 ohm/sq 초과 또는 미만일 수 있다.
- [0068] 도 16은 가상 전극으로서의 역할을 하는 그루브(216)의 개방된 상부(218)와 씨프 전극(208)의 위치를 도시한다. 도 27은 씨프 전극(208)과 웨이퍼 에지(191) 사이의 통로의 개구가 쉘드(190)의 외부까지 완전히 연장된 대안적인 설계를 도시한다. 특히, 개구(193)는 방사상으로 쉘드의 외부에 위치되어 있다. 이는 씨프 전극 개구로부

터 웨이퍼 에지까지의 경로의 저항을 증가시킴으로써, 쉘드 링 주변의 전해액 배스 내의 전압을 제어한다. 더 높은 저항 경로는 쉘드 링 주변에 더 낮은 전압을 생성하여, 컨택 링(181)이 사용되는 경우, 컨택 링의 세정 홀들 내에서 도금이 발생할 가능성을 줄이게 된다.

[0069] 상술한 바와 같이, "말단 효과"로 인해 도금된 필름이 작업물의 에지에 집중된다. 컨택들 부근의 작업물 위에 도금하기 위한 전기 경로는, 웨이퍼의 내측 영역들로부터의 경로가 비교적 긴 길이의 저항 시드층을 갖기 때문에, 그 중심 부근에 도금하기 위한 전기 경로보다 저항이 작다. 말단 효과의 강도는 프로세서 설계에 의해 영향을 받지만, 근본적으로는, 전기도금 배스에 대한 시드층의 상대 저항으로서 규정될 수 있다. R_s/R_{bath} 의 비율이 이하의 도 1에 개략적으로 설명되어 있다.



[0070]

[0071] 시드층 시트 저항: $R_s = \rho / t$

[0072] 배스 시트 저항: $R_{bath} = 1 / (\sigma H)$

[0073] 여기서, R_s = 시트 저항(ohms/sq)

[0074] t = 시드층의 두께(m)

[0075] H = 도금 배스의 특성 두께(m)

[0076] ρ = 금속 저항(ohm-m)

[0077] σ = 배스 전도도(1/ohm-m)

[0078] 기존의 도금 챔버들에 의하면, R_s/R_{bath} 가 대략 0.5 값을 초과하면, 말단 효과에 대응하기가 매우 곤란해진다. 이러한 비율 근방에서, 선택된 배스에게는 시드층 저항이 너무 높기 때문에, 본질적으로 시드층을 가로지르는 모든 전류 교환(및 거의 모든 도금)이 웨이퍼의 에지에서 발생한다. 웨이퍼 중심을 향한 금속 필름과 배스 사이에 도금 전위가 불충분하여, 중심을 향해 증착이 이루어지지 않는다. 이러한 상황에서, 도금 프로세스가 계속되면, 이미 도금된 영역들의 에지에 금속이 후속하여 증착될 수 있는 데, 그 이유는 이 영역들의 시트 저항이 감소되었기 때문이다. 이러한 도금 과정은, 금속이 웨이퍼 에지에 먼저 추가된 다음 전체 웨이퍼가 구리로 도금될 때까지 방사상 내측으로 도금하기 때문에, "전면 도금"이라 할 수 있다.

[0079] 그러나, 에지에서 중앙으로의 전면 도금으로도, 약 14 Ohms/sq의 시트 저항까지의 구리 기반 시드층들을 도금할 수 있을 뿐이다. 전면 도금 프로세스의 주요 관심사는, 웨이퍼 진입과 중심을 향한 영역들에 대한 도금 사이에 배스 내에서 시간 지연이 있기 때문에, 웨이퍼의 중심을 향한 피쳐들 상의 시드층이 도금될 수 있게 되기 전에 손상될 수 있다는 것이다. 시간 지연은 웨이퍼의 중심을 향한 도금에 비해 웨이퍼 에지에서의 프로세스 사이에, 첨가제 흡수, 화학적 에칭, 전류 밀도 등에서 차이가 있을 수 있음을 또한 의미한다.

[0080] 상술한 이유들로 인하여, 특히, 듀얼 다마신 금속화와 같은 프로세스에 있어서, 웨이퍼 전체를 가로질러 동시에 도금하는 것이 바람직하다. 상술한 도금 장치 및 방법들은, 여전히 통상적인 산-기반 구리 도금 배스들을 사용하면서도, 매우 높은 시트 저항들을 가진 시드층들 상에 동시 도금을 제공한다. 특히, 200 ohm/sq 초과인 시트 저항을 가진 웨이퍼들을 가로지르는 동시 도금을 구현할 수 있다($R_s/R_{bath} > 10$).

[0081] 씨프 비율은 웨이퍼로 전달되는 전류에 대한 씨프 전극으로 전달되는 전류의 비율이다. 예를 들어, 4.5 amps의 웨이퍼 전류를 전달할 때의 4.5 amps의 씨프 전류는 씨프 비율 1에 해당한다. 이 경우, 셀 전류는 9 amps이다. 기존의 전기도금 챔버들의 통상적인 씨프 비율들은 일반적으로 1.5 또는 그 미만이다. 상술한 장치 및 방법들

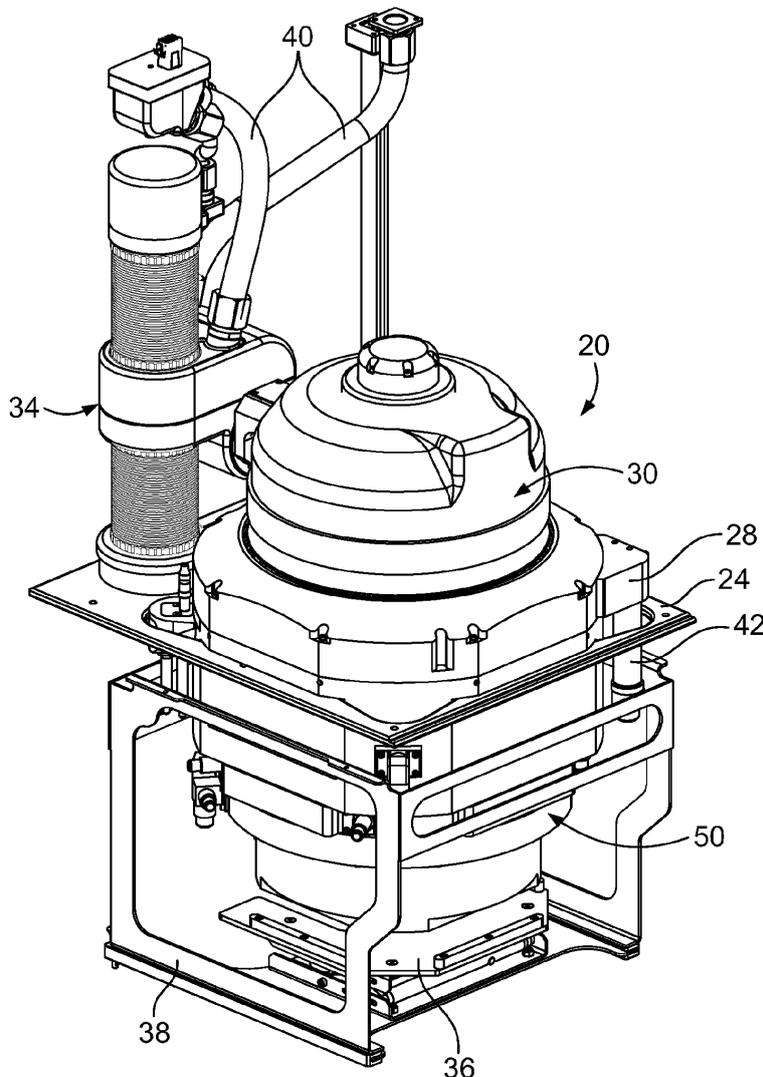
에서는, 1.5 초과의 높은 시프 비율들이 사용될 수 있다. 예를 들어, 대략 2.5 내지 6.0의 시프 비율들이 사용될 수 있다. 이와 같이 높은 시프 비율들은 일반적으로 과도할 것으로 보이는 시프 전극 전류들의 큰 값으로 이어진다.

[0082] 도 28은 고저항(65 ohm/sq) 시드층에 구리를 동시에 도금하는(즉, 웨이퍼의 모든 영역들에 구리를 균일하게 동시에 도금하는) 도 1 내지 도 7의 프로세서의 일례를 도시한다. 1/3 필 1으로 표시된 라인은 4.3초 동안 4.5 Amps로 도금된 300mm 웨이퍼의 직경을 가로지르는 두께 측정값이다. 이 시간이 지나면, 금속층의 두께는 대략 55A의 초기 시드층 두께로부터 ~100A의 두께로 증가하고, 시트 저항은 65 Ohms/sq로부터 대략 8.3 Ohms/sq로 감소한다. 그 결과에 따라 도금된 얇고 평탄한 층은 프로세스 개시로부터의 동시 도금을 입증한다. 이 프로세서에 있어서, 시프 비율은 대략 2.67에서 시작되고, $R_s/R_{bath} = 3.7$ 이다.

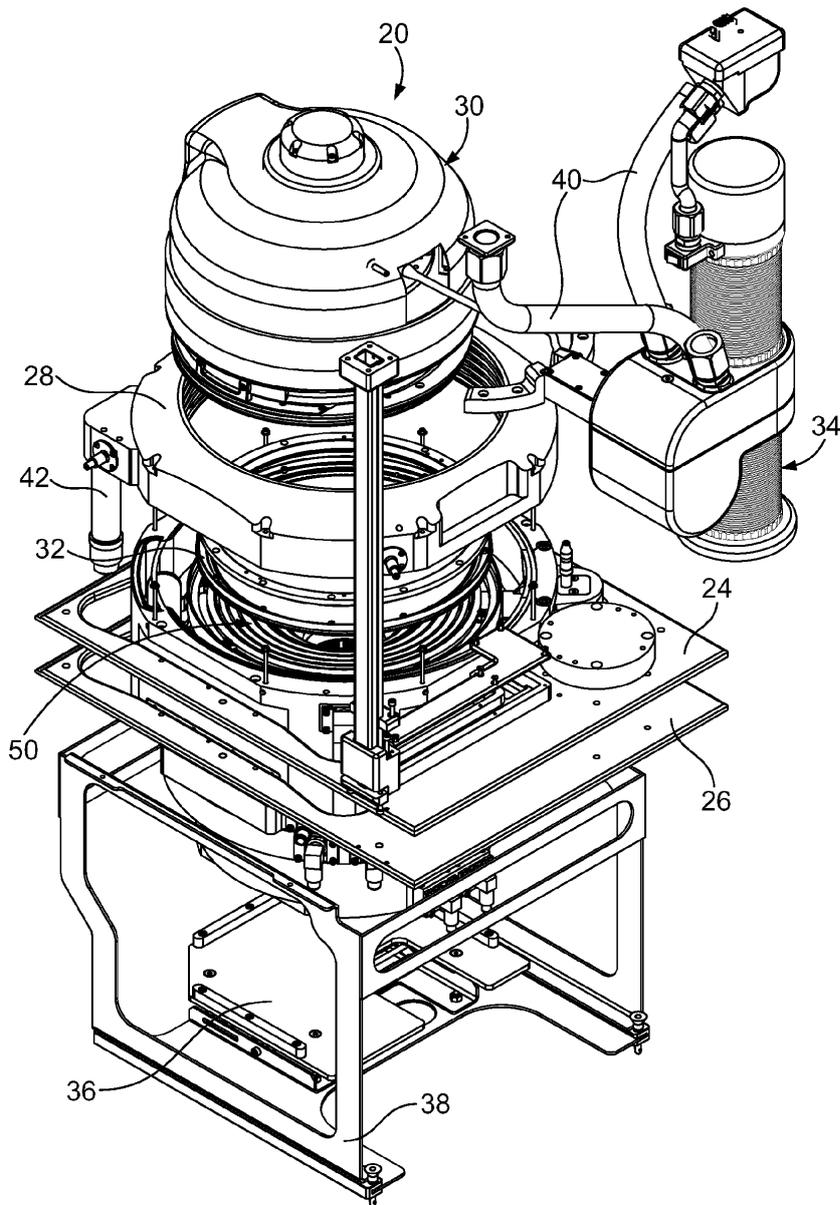
[0083] 미국에 한정된 우선권 주장: 본원은 2011년 5월 18일자로 출원되어 현재 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 13/110,728 호의 부분 계속 출원인, 2011년 11월 3일자로 출원되어 현재 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 13/288,495 호의 부분 계속 출원이며, 이 특허 출원들 모두 인용에 의해 본 명세서에 통합되었다.

도면

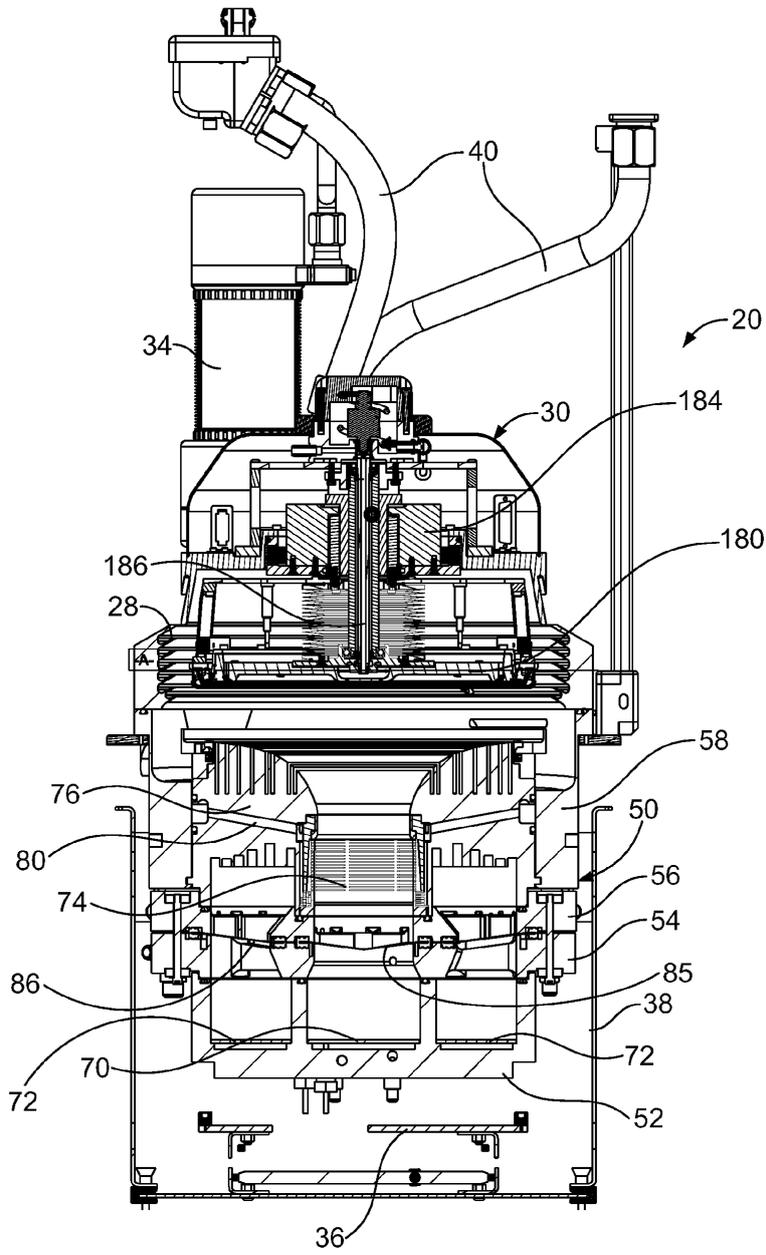
도면1



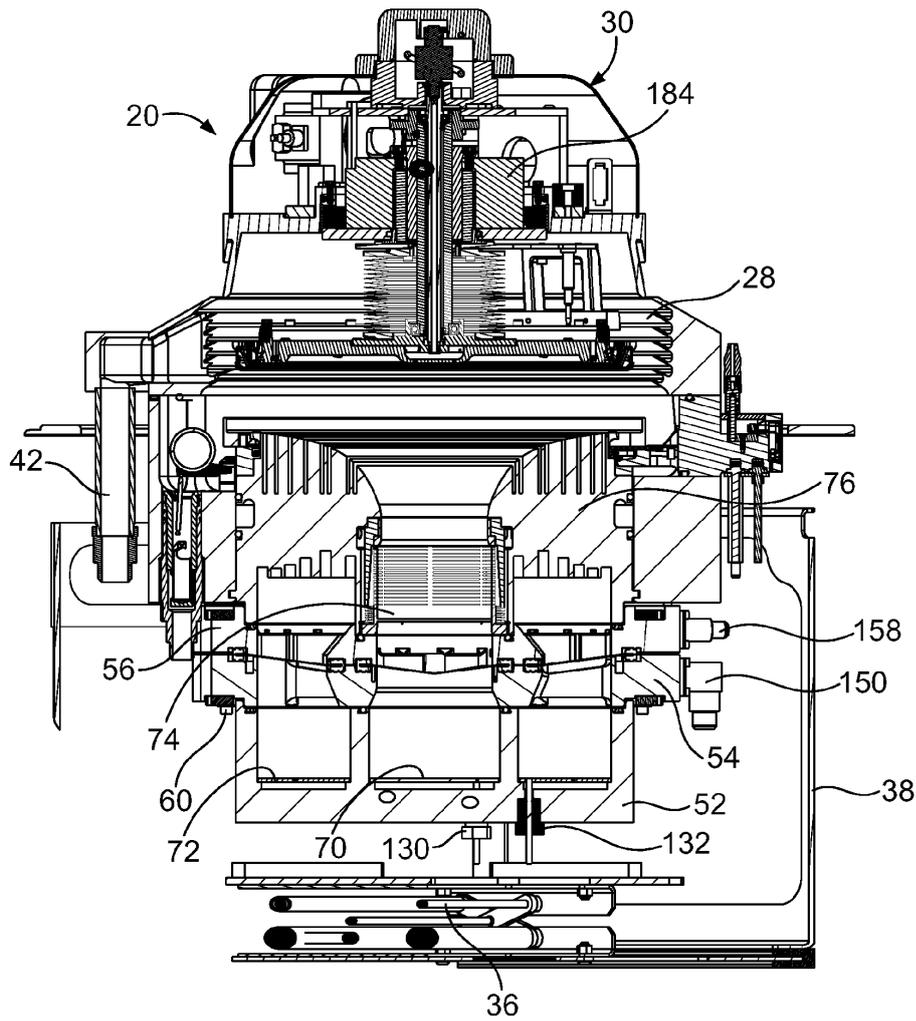
도면2



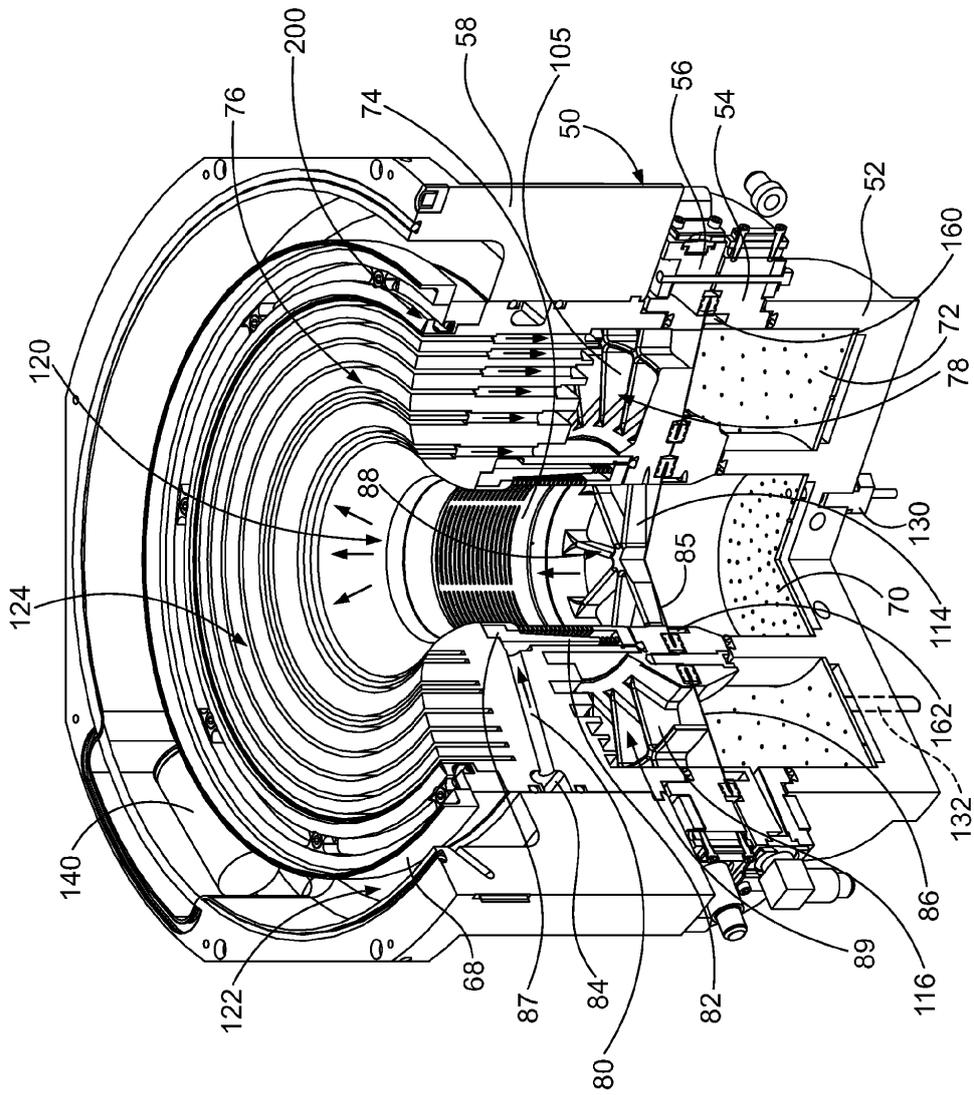
도면3



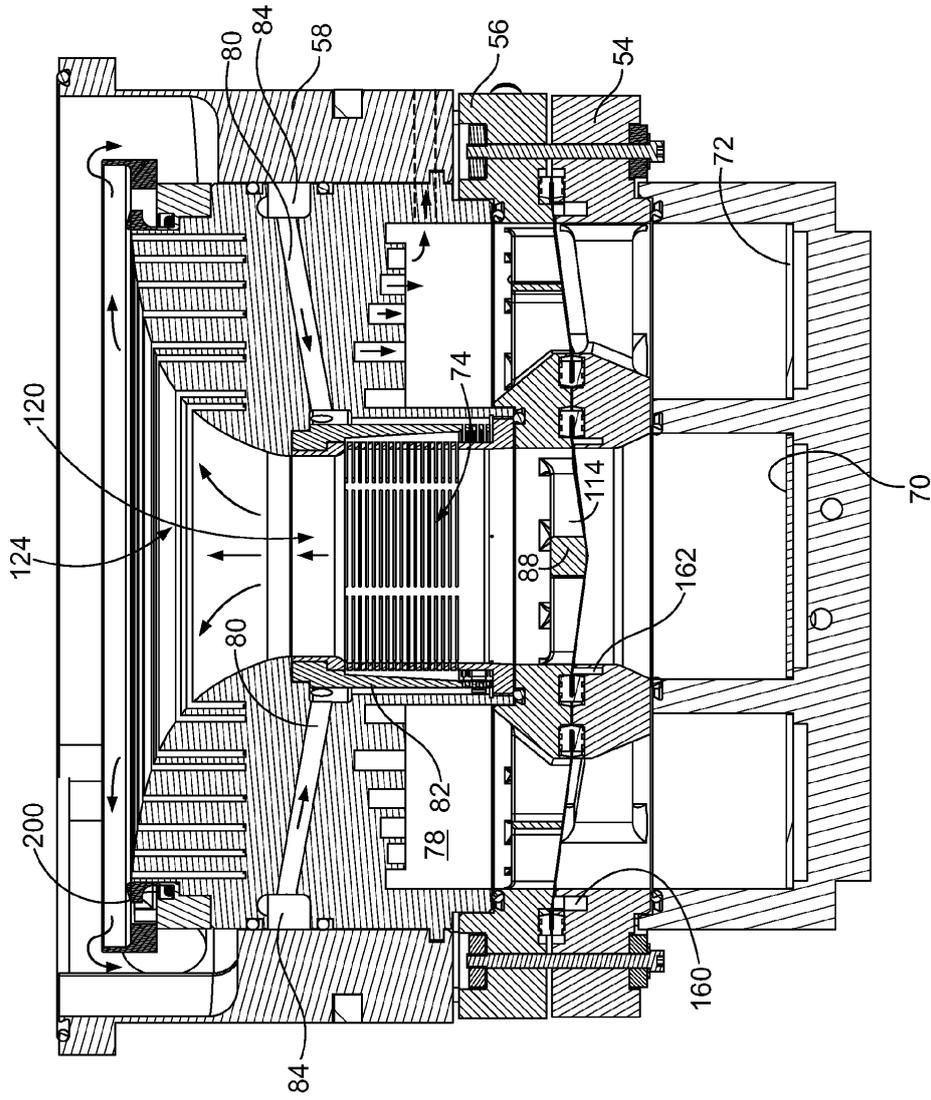
도면4



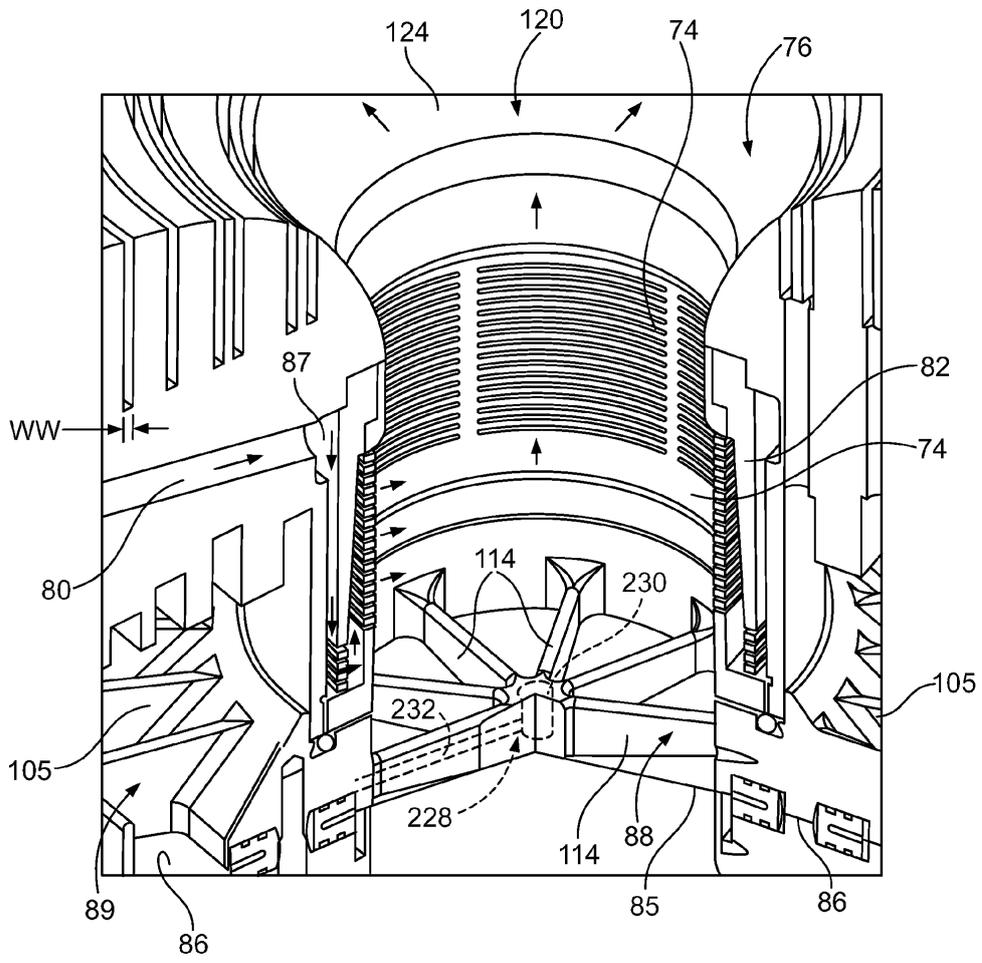
도면5



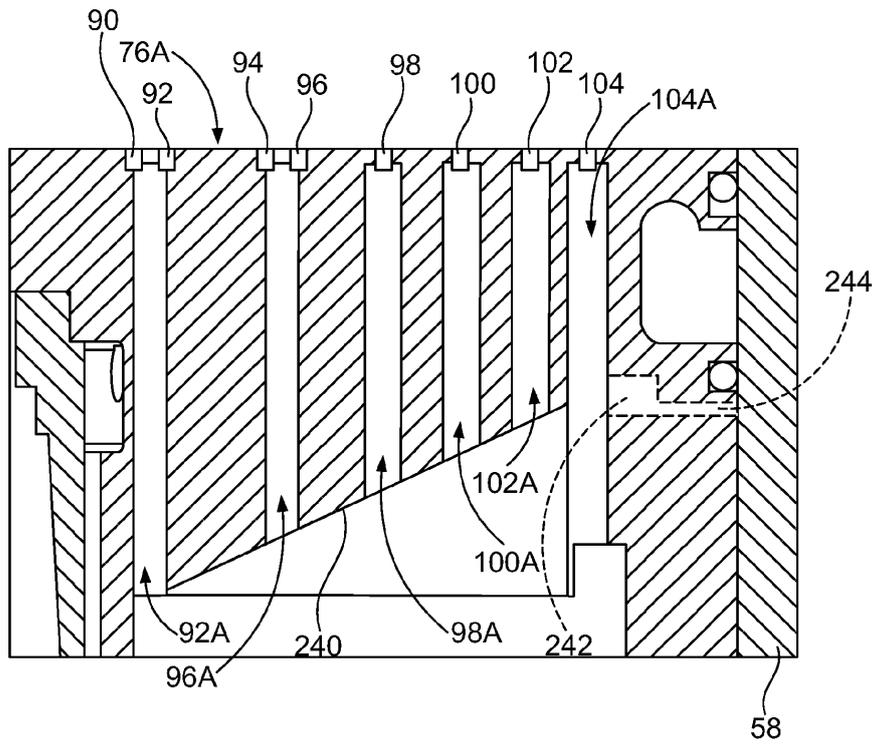
도면7



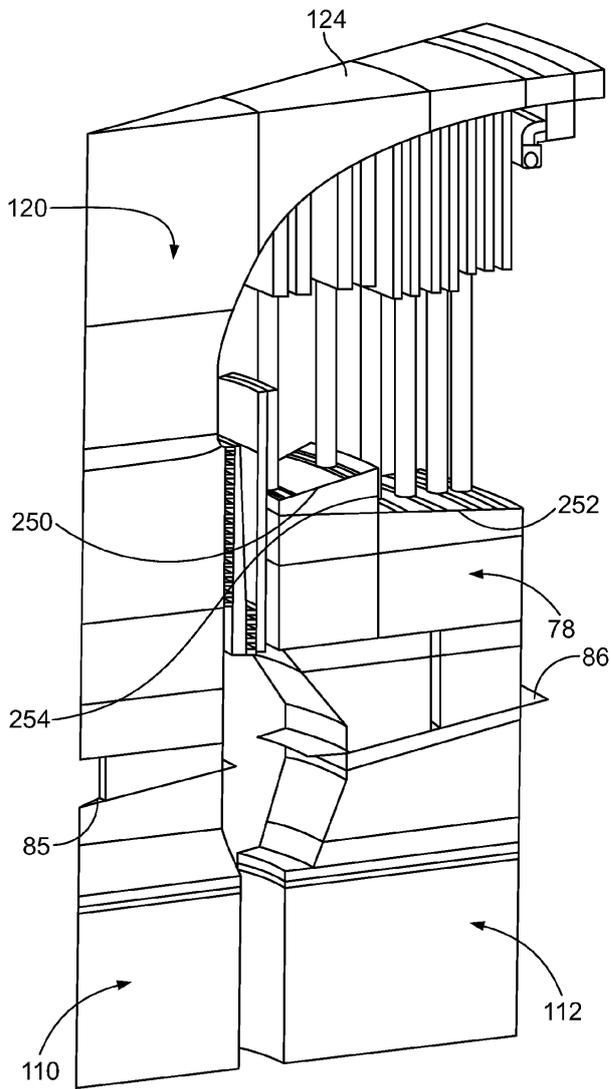
도면8a



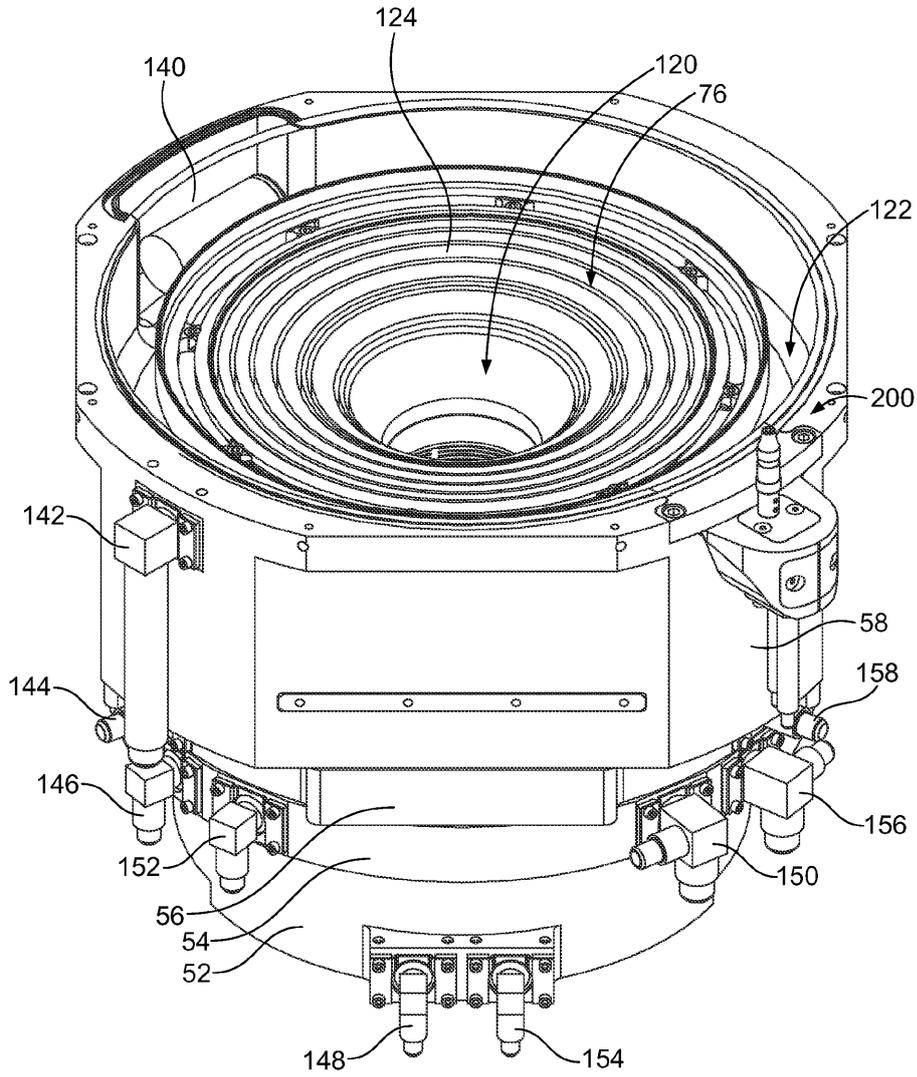
도면8b



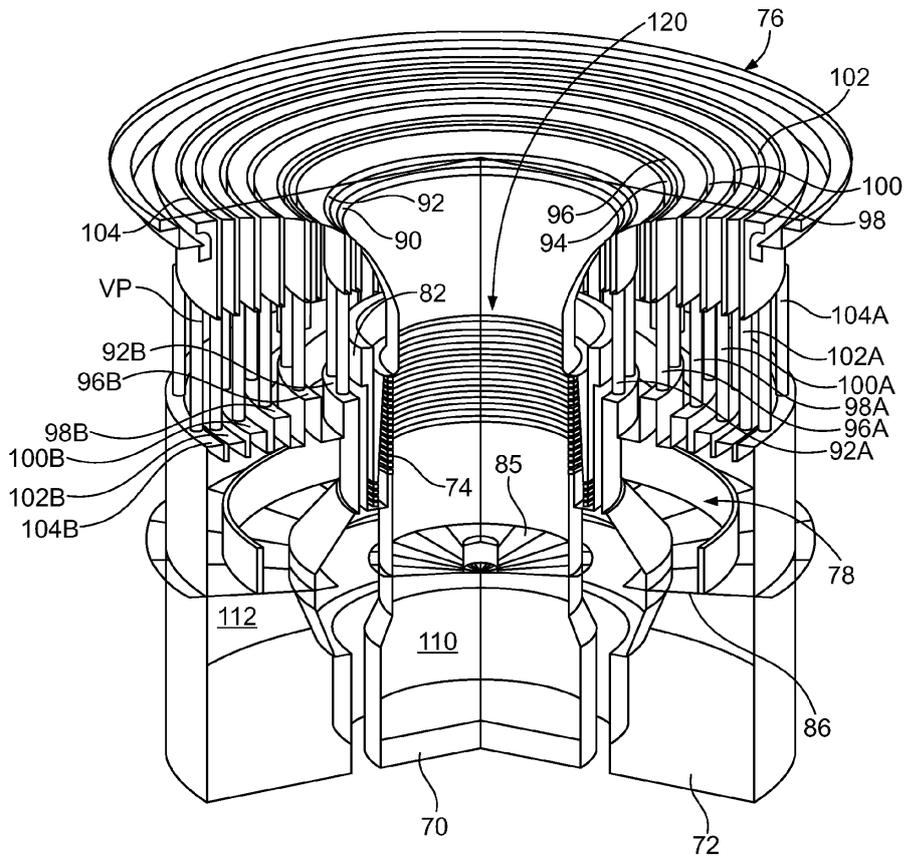
도면8c



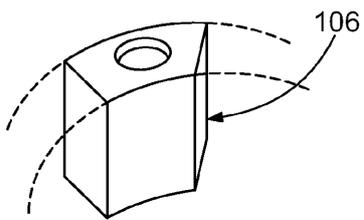
도면9



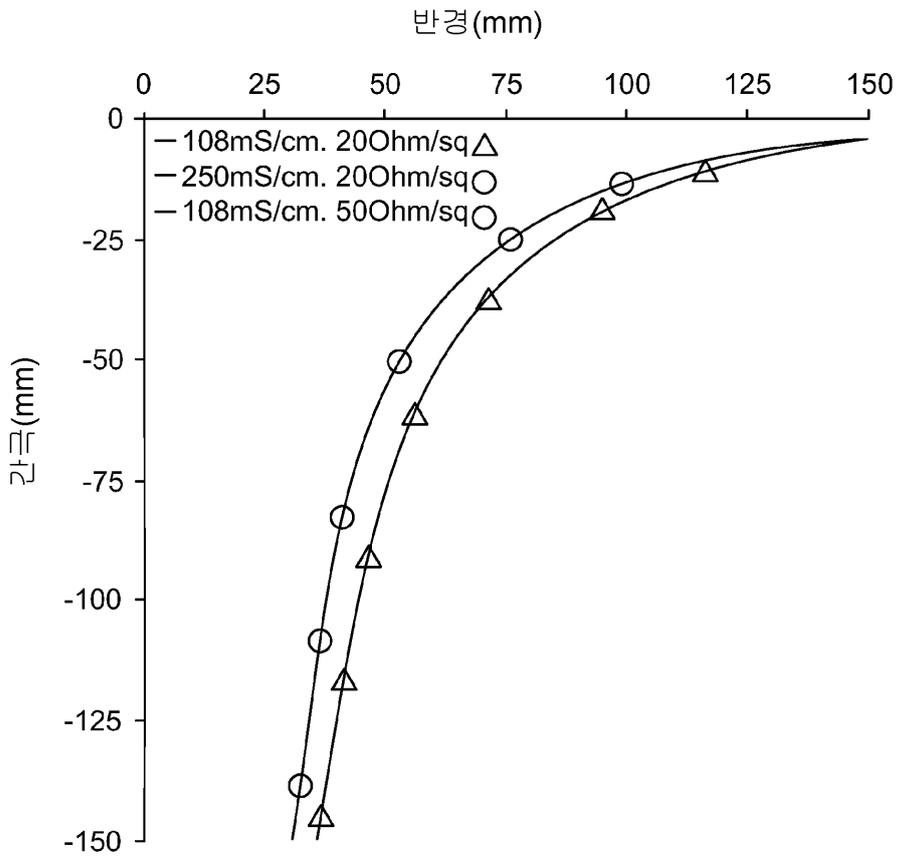
도면10



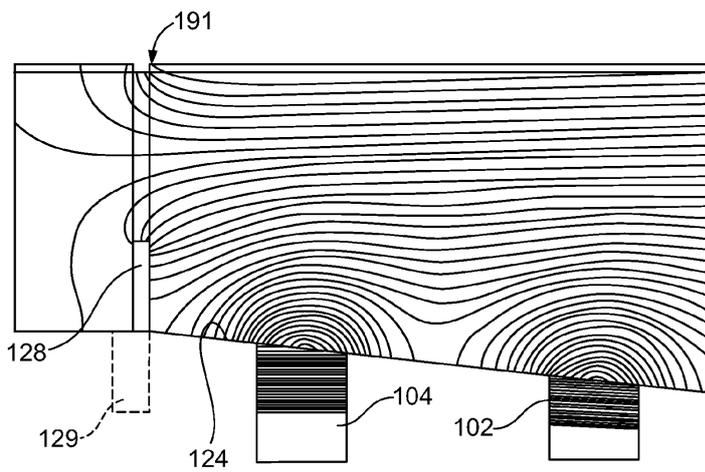
도면10a



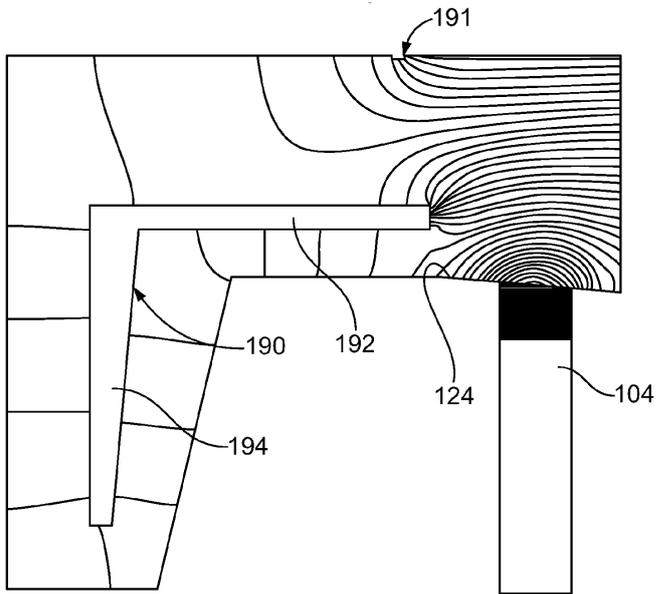
도면10b



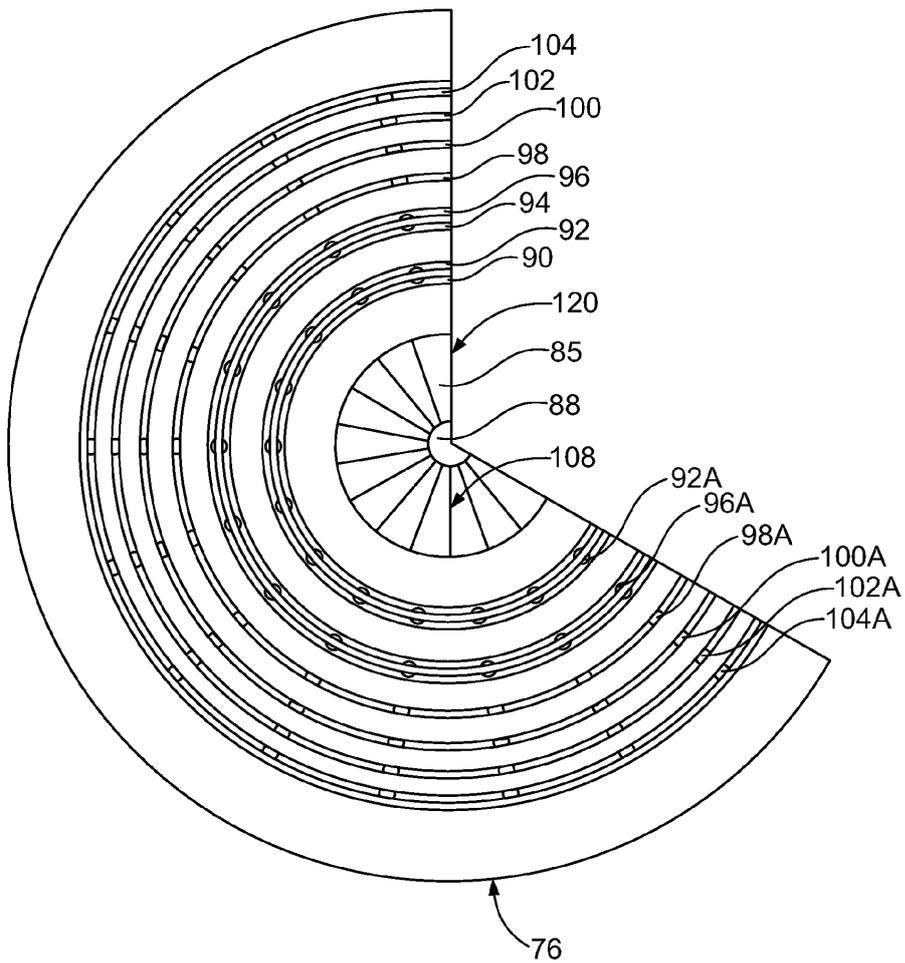
도면10c



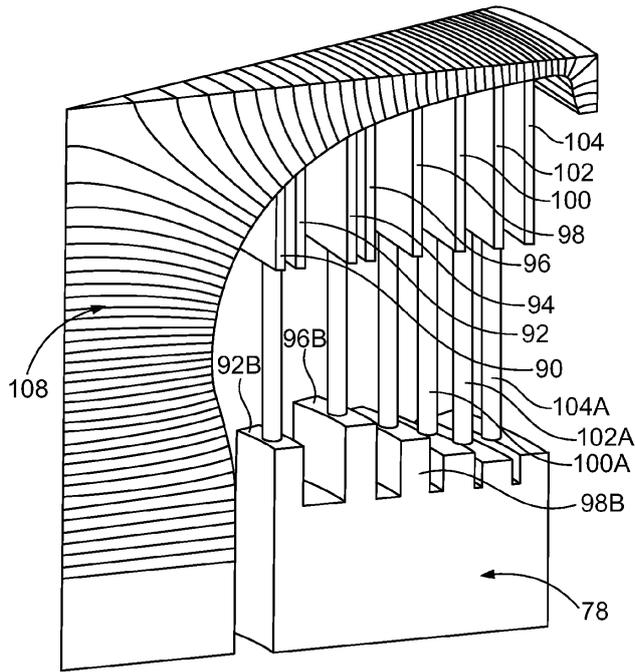
도면10d



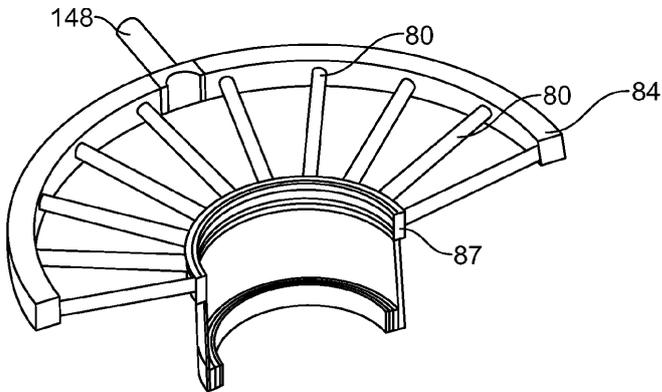
도면11



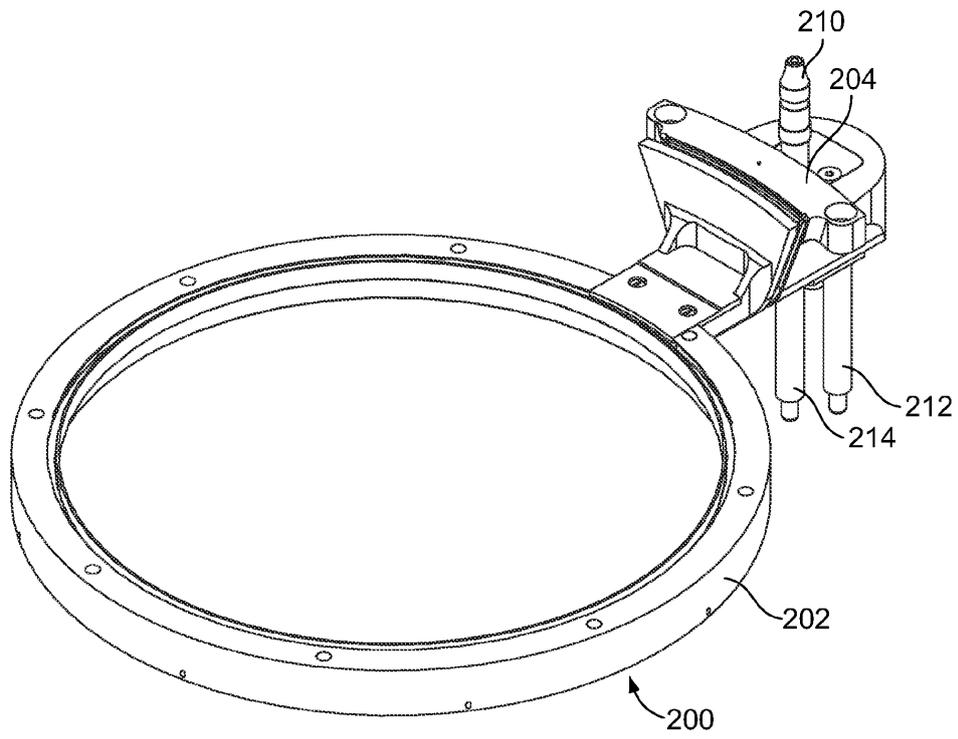
도면12



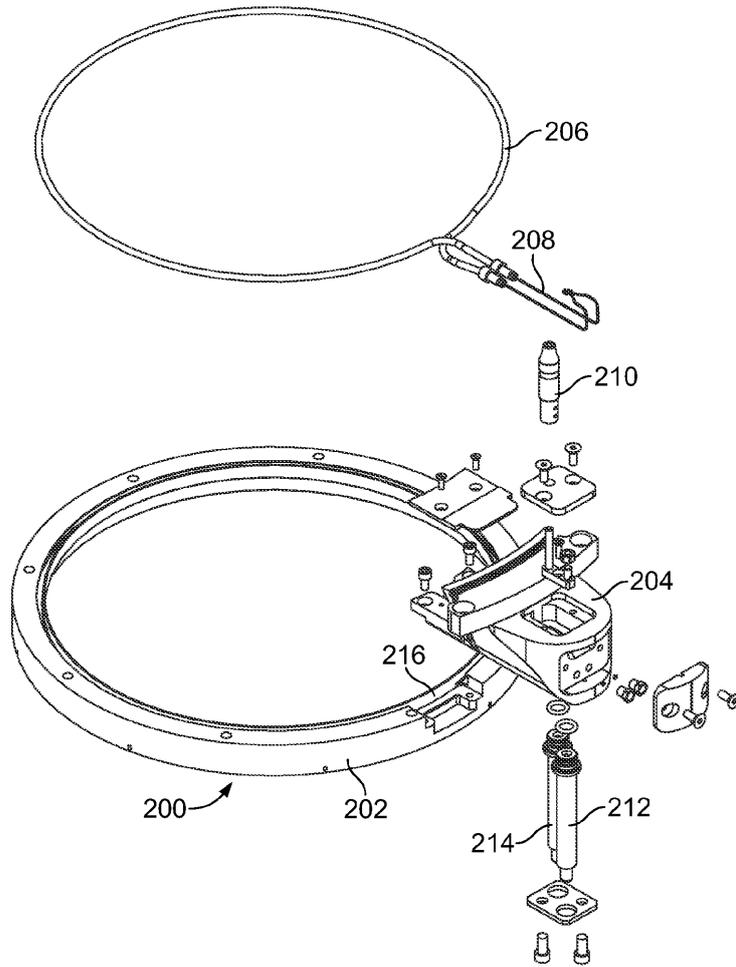
도면13



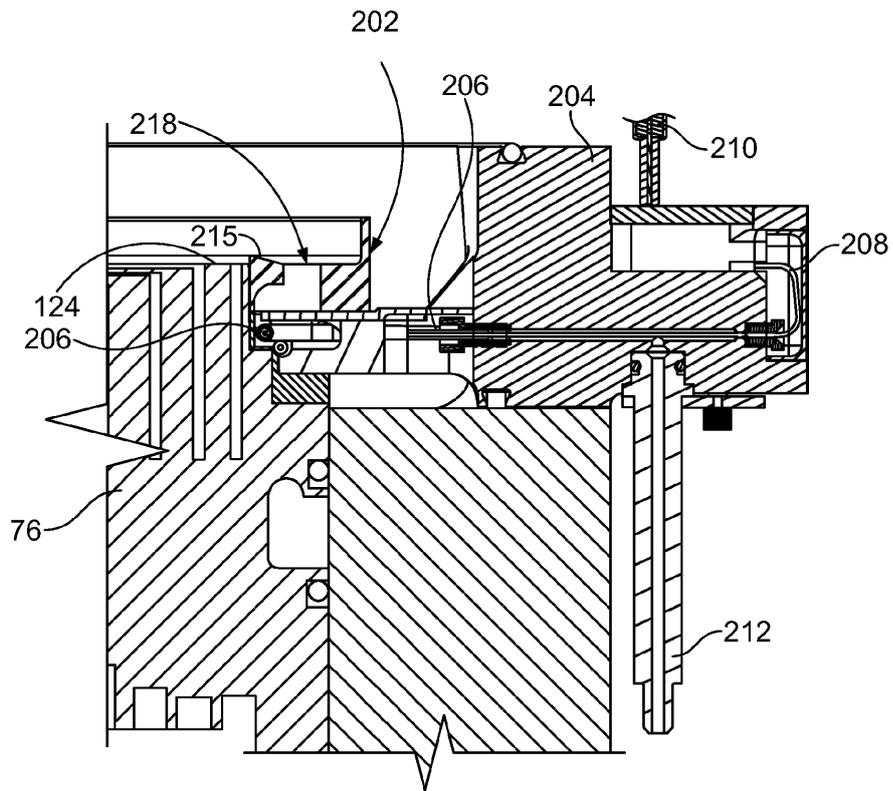
도면14



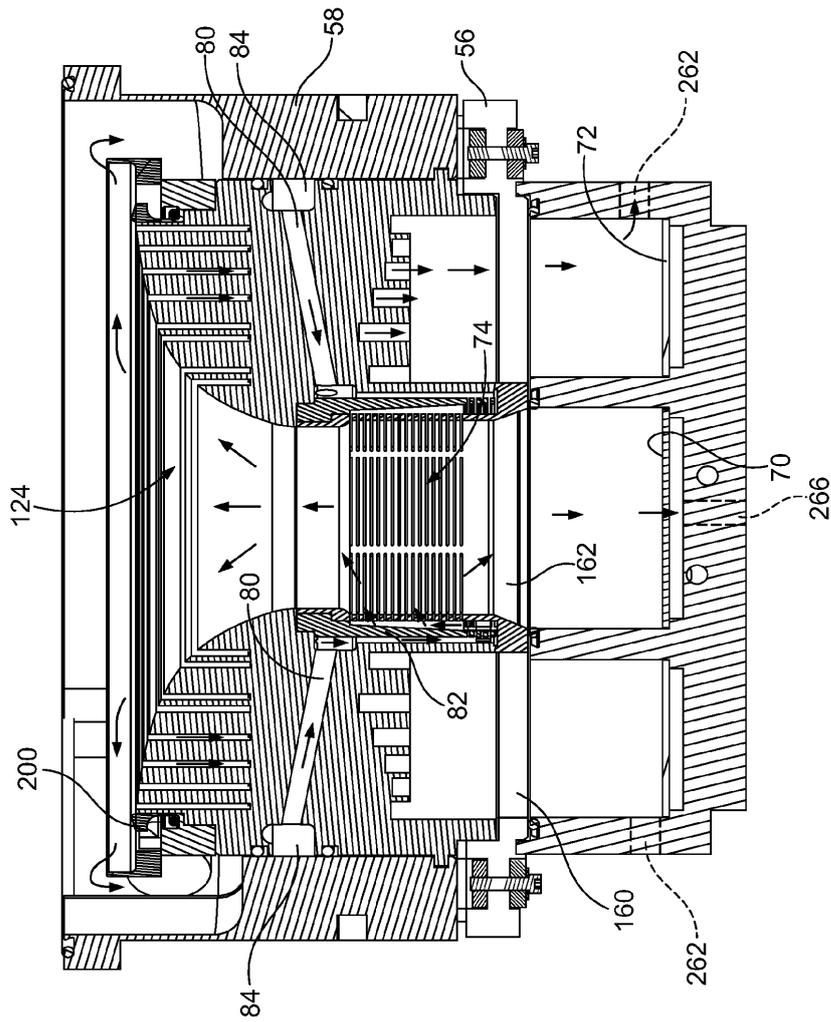
도면15



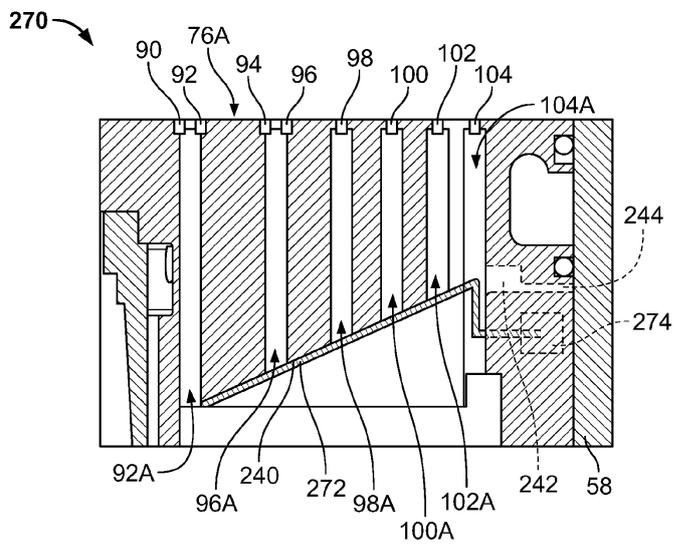
도면16



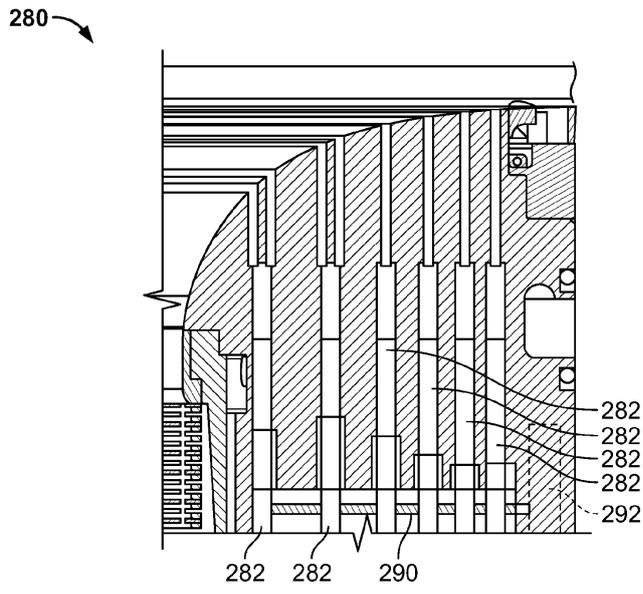
도면17



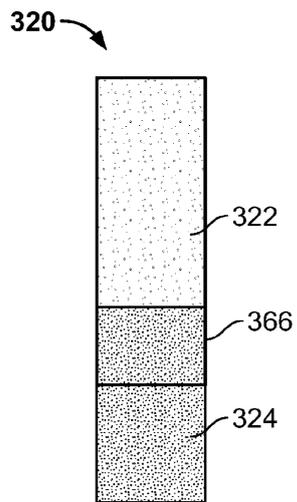
도면18



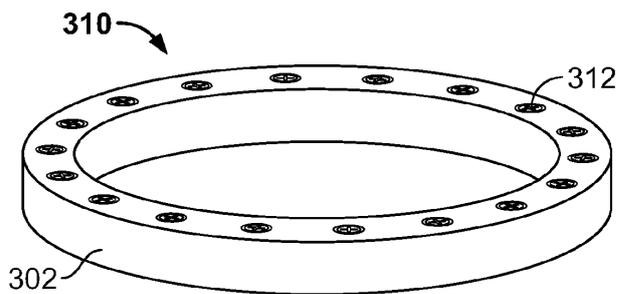
도면19



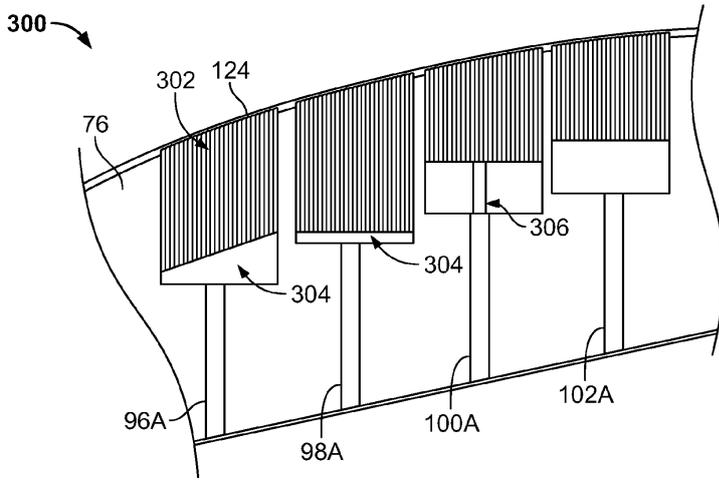
도면20



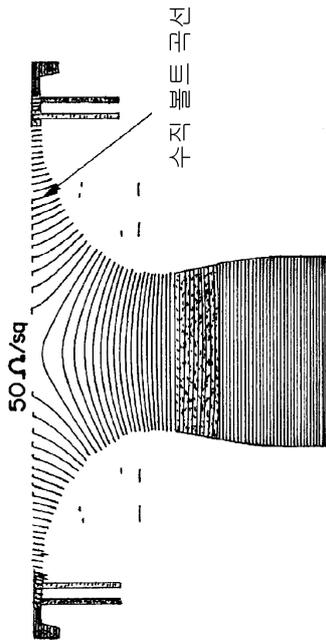
도면21



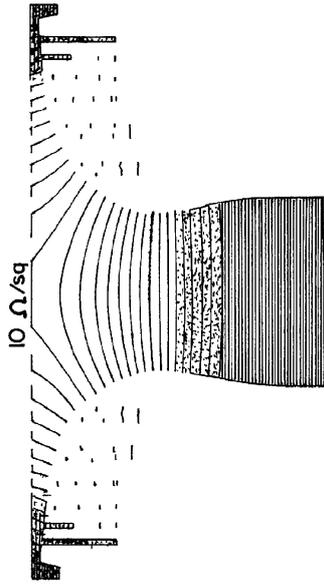
도면22



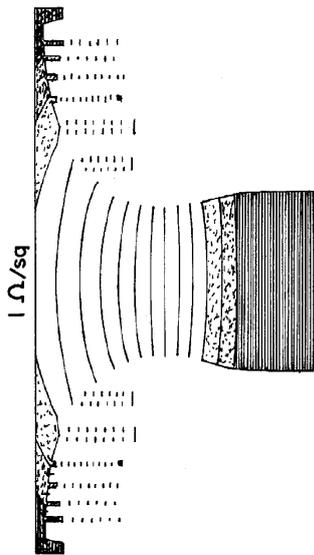
도면23



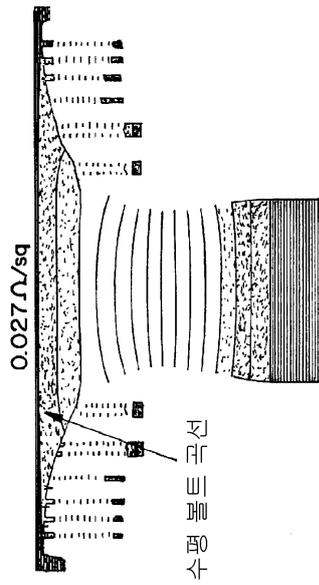
도면24



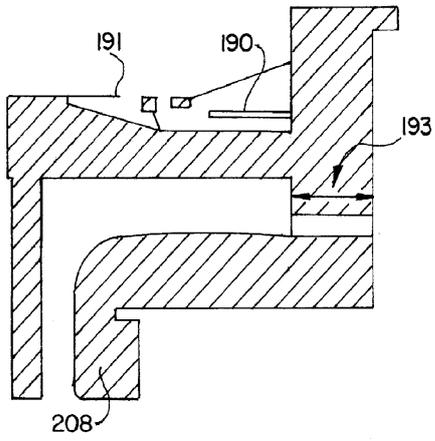
도면25



도면26



도면27



도면28

