



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0076524
 (43) 공개일자 2014년06월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C25D 17/00 (2006.01) C25D 21/12 (2006.01)
 C25D 7/12 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0155069
 (22) 출원일자 2013년12월12일
 심사청구일자 없음
 (30) 우선권주장
 13/893,242 2013년05월13일 미국(US)
 61/736,499 2012년12월12일 미국(US)

(71) 출원인
 노벨러스 시스템즈, 인코포레이티드
 미국, 95134 캘리포니아, 산 호세, 노스 퍼스트 스트리트 4000
 (72) 발명자
 메이어 스티븐 티.
 미국, 오리건 97034, 레이크 오스웨고, 썬다운 코트 17867
 부켈루 브라이언 엘.
 미국, 오리건 97062, 투알라틴, 에스더블유 헤지스 코트 10170
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 오세일

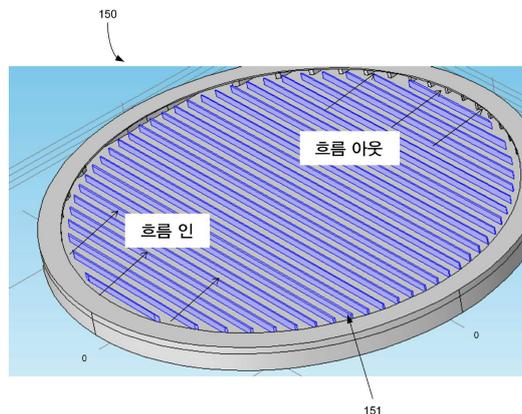
전체 청구항 수 : 총 33 항

(54) 발명의 명칭 전기도금 동안 효율적인 대량 전달을 위한 전해질 유체역학의 향상

(57) 요약

여기에서의 실시형태들은, 기관 상으로 하나 이상의 재료들을 전기도금하기 위한 방법들 및 장치에 관한 것이다. 많은 경우들에서, 재료는 금속이며, 기관은 반도체 웨이퍼이지만, 실시형태들은 그렇게 제한되지는 않는다. 통상적으로, 여기에서의 실시형태들은 기관 근방에 위치한 채널화된 플레이트를 이용하여, 채널화된 플레이트에 의해 바닥 상에, 기관에 의해 상단 상에, 및 크로스 흐름 한정링에 의해 측면들 상에 정의된 크로스 흐름 매니폴드를 생성한다. 도금 동안, 유체는 채널화된 플레이트 내의 채널들을 통해 상향으로, 및 크로스 흐름 한정링의 일 측면 상에 위치한 크로스 흐름 측면 유입구를 통해 측면 방향으로 크로스 흐름 매니폴드에 진입한다. 흐름 경로들은 크로스 흐름 매니폴드에서 결합되고, 크로스 흐름 출구에서 빠져나가며, 그 출구는 크로스 흐름 유입구 반대에 위치된다. 이들 결합된 흐름 경로들은 개선된 도금 균일도를 초래한다.

대표도



(72) 발명자

푸 하이잉

미국, 워싱턴 98607, 카마스, 에스이 피프스 웨이
19707

폰누스와미 토마스

미국, 오리건 97140, 셔우드, 에스더블유 루즈벨트
스트리트 17221

디아즈 카미로 힐튼

덴마크-2970 호르솔름, 아게른 알레 1, 씨/오 프로
파운드 파마 에이/에스

래쉬 로버트

미국, 오리건 97220, 포틀랜드, 엔이 스탠튼 스트
리트 12014

포터 데이비드 더블유.

미국, 오리건 97140, 셔우드, 에스더블유 그린 헤
론 드라이브 17231

특허청구의 범위

청구항 1

전기 도금장치로서,

(a) 실질적으로 평평한 기관 상으로 금속을 전기도금하면서 전해질 및 애노드를 함유하도록 구성된 전기도금 챔버;

(b) 상기 기관의 도금 외관 (face) 이 전기도금 동안 상기 애노드로부터 분리되기 위해 상기 실질적으로 평평한 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더;

(c) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 (ionically resistive element) 로서, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는,

(i) 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 연장하고, 전기도금 동안 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통한 이온 전달을 제공하도록 구성된 복수의 채널들;

(ii) 상기 기관의 도금 외관에 실질적으로 평행하고, 갭에 의해 상기 기관의 도금 외관으로부터 분리된 기관-대면측 (substrate-facing side); 및

(iii) 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 위치한 복수의 돌기 (protuberance) 들을 포함하는, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트;

(d) 크로스 유동 (cross flowing) 전해질을 상기 챔프로 도입하기 위한 상기 챔프로의 유입구; 및

(e) 상기 챔에서 흐르는 크로스 유동 전해질을 수용하기 위한 상기 챔프로의 유출구를 포함하며,

상기 유입구 및 상기 유출구는 전기도금 동안 상기 기관의 도금 외관 상의 방위각으로 반대인 주변 위치들 근방에 위치되는, 전기도금 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측과 상기 기관의 도금 외관 사이의 갭은, 상기 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에서 측정된 바와 같이, 약 15mm 미만인, 전기도금 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기관의 도금 외관과 상기 돌기들의 최상단 높이 사이의 갭은, 약 0.5 내지 4mm 사이에 있는, 전기도금 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들은 약 2 내지 10mm 사이의 높이를 갖는, 전기도금 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들은 평균적으로, 상기 크로스 유동 전해질의 방향에 실질적으로 수직하게 배향되는, 전기도금 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들 중 적어도 일부는, 적어도 약 3:1의 폭 대 길이의 에스펙트 비율을 갖는, 전기도금 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들의 적어도 2개의 상이한 형상들 및/또는 사이즈들이 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 상에 존재하는, 전기도금 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

전기도금 동안 전해질이 흐를 수 있는 상기 돌기들 중 적어도 몇몇 상에 하나 이상의 절단부 (cutout portion) 들을 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들 중 적어도 몇몇은 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면에 실질적으로 수직한 외관을 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들 중 적어도 몇몇은, 직각이 아닌 (non-right) 각도만큼 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면으로부터 오프셋되는 외관을 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들 중 적어도 몇몇 상에 삼각형의 상부 부분을 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 돌기들은 제 1 돌기 세그먼트 및 제 2 돌기 세그먼트를 적어도 포함하고,

상기 제 1 및 제 2 돌기 세그먼트들은, 실질적으로 유사하지만 반대의 부호를 갖는 각도들만큼 상기 크로스 유동 전해질의 방향으로부터 오프셋되는, 전기도금 장치.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는, 전기장을 형상화하고, 전기도금 동안 상기 기관에 근접한 전해질 흐름 특징들을 제어하도록 구성되는, 전기도금 장치.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 하부 외관 아래에 위치한 하부 매니폴드 영역을 더 포함하며,

상기 하부 외관은 상기 기관 홀더로부터 떨어져 대면하는, 전기도금 장치.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

중앙 전해질 챔버, 및 상기 중앙 전해질 챔버로부터 상기 유입구 및 상기 하부 매니폴드 영역 양자로 전해질을 전달하도록 구성되는 하나 이상의 피드 (feed) 채널들을 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 16

제 1 항에 있어서,
 상기 유입구에 유동적으로 (fluidically) 커플링된 크로스 흐름 주입 매니폴드를 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 17

제 10 항에 있어서,
 상기 크로스 흐름 주입 매니폴드는, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 내의 캐비티 (cavity) 에 의해 적어도 부분적으로 정의되는, 전기도금 장치.

청구항 18

제 1 항에 있어서,
 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 주변 부분 위에 위치한 흐름 한정링을 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 19

제 1 항에 있어서,
 도금 동안 상기 기관 홀더를 회전시키기 위한 메커니즘을 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 20

제 1 항에 있어서,
 상기 유입구는, 상기 기관의 도금 외관의 주변 근방에 약 90 내지 180° 사이의 호 (arc) 에 퍼져있는 (span), 전기도금 장치.

청구항 21

제 1 항에 있어서,
 상기 유입구 내의 복수의 방위각으로 (azimuthally) 별개인 세그먼트들,
 복수의 방위각으로 별개인 유입구 세그먼트들에 전해질을 전달하도록 구성된 복수의 전해질 피드 유입구들, 및
 전기도금 동안 상기 복수의 전해질 피드 유입구들에서 전해질의 복수의 체적 유동율을 독립적으로 제어하도록 구성된 하나 이상의 흐름 제어 엘리먼트들을 더 포함하는, 전기도금 장치.

청구항 22

제 1 항에 있어서,
 상기 돌기들은, 상기 기관의 도금 외관과 실질적으로 동연 (coextensive) 인, 전기도금 장치.

청구항 23

제 1 항에 있어서,
 상기 유입구 및 상기 유출구는, 전기도금 동안 상기 기관의 도금 외관 상에서 전단력 (shearing force) 을 생성 또는 유지하기 위해 상기 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 구성되는, 전기도금 장치.

청구항 24

제 1 항에 있어서,
 상기 돌기들은 복수의 평행 칼럼 (column) 들로 배향되며,
 상기 칼럼들은 비-돌기 (non-protuberance) 갭에 의해 분리된 2개 이상의 불연속적인 돌기들을 포함하고,
 인접한 칼럼들 내의 비-돌기 갭들은, 상기 크로스 유동 전해질의 방향에서 서로 실질적으로 정렬되지 않는, 전

기도금 장치.

청구항 25

전기도금 장치로서,

(a) 실질적으로 평평한 기관 상으로 금속을 전기도금하면서 전해질 및 애노드를 함유하도록 구성된 전기도금 챔버;

(b) 상기 기관의 도금 외관이 전기도금 동안 상기 애노드로부터 분리되기 위해 상기 실질적으로 평평한 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더;

(c) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트로서, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는,

(i) 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 연장하고, 전기도금 동안 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통한 이온 전달을 제공하도록 구성된 복수의 채널들;

(ii) 상기 기관의 도금 외관에 실질적으로 평행하고 갭에 의해 상기 기관의 도금 외관으로부터 분리된 기관-대면측; 및

(iii) 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 위치한 스텝 (step) 으로서, 상기 스텝은 높이 및 직경을 갖고, 상기 스텝의 직경은 웨이퍼의 도금 외관과 실질적으로 동연이며, 상기 스텝의 높이 및 직경은 전해질이 도금 동안 상기 기관 홀더 아래, 상기 스텝 위 및 상기 갭으로 흐르게 하는데 충분히 작은, 상기 스텝;

(d) 상기 갭으로 전해질을 도입하기 위한 상기 갭으로의 유입구; 및

(e) 상기 갭에서 흐르는 전해질을 수용하기 위한 상기 갭으로의 유출구를 포함하며,

상기 유입구 및 상기 유출구는 전기도금 동안 상기 기관의 도금 외관 상에서 전단력을 생성 또는 유지하기 위해 상기 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 구성되는, 전기도금 장치.

청구항 26

표준 직경의 반도체 웨이퍼 상에 재료를 도금하기 위해 전기도금 장치에서의 사용을 위한 채널화된 (channeled) 이온적으로 저항성있는 플레이트로서,

상기 반도체 웨이퍼의 도금 외관과 대략적으로 동연인 플레이트로서, 상기 플레이트는 약 2 내지 25mm 사이의 두께를 갖는, 상기 플레이트;

상기 플레이트의 두께를 통해 연장하는 적어도 약 1000개의 비-연통 스루-홀들로서, 상기 스루-홀들은 전기도금 동안 상기 플레이트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되는, 상기 비-연통 스루-홀들; 및

상기 플레이트의 일 측면 상에 위치한 복수의 돌기들을 포함하는, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트.

청구항 27

표준 직경의 반도체 웨이퍼 상에 재료를 도금하기 위해 전기도금 장치에서의 사용을 위한 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트로서,

상기 반도체 웨이퍼의 도금 외관과 대략적으로 동연인 플레이트로서, 상기 플레이트는 약 2 내지 25mm 사이의 두께를 갖는, 상기 플레이트;

상기 플레이트의 두께를 통해 연장하는 적어도 약 1000개의 비-연통 스루-홀들로서, 상기 스루-홀들은 전기도금 동안 상기 플레이트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되는, 상기 비-연통 스루-홀들;

상기 플레이트의 중앙 영역에 상기 플레이트의 상승된 부분을 포함하는 스텝; 및

상기 플레이트의 주변에 위치한 상기 플레이트의 비-상승된 부분을 포함하는, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트.

청구항 28

기관을 전기도금하기 위한 방법으로서,

(a) 기관 홀더에 실질적으로 평평한 기관을 수용하는 단계로서, 상기 기관의 도금 외관은 노출되고, 상기 기관 홀더는, 전기도금 동안 상기 기관의 도금 외관이 애노드로부터 분리되기 위해 상기 기관을 홀딩하도록 구성되는, 상기 평평한 기관을 수용하는 단계;

(b) 상기 기관을 전해질에 침지시키는 단계로서, 갭은 상기 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에 형성되고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 상기 기관의 도금 외관과 적어도 대략적으로 동연이고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 전기도금 동안 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 복수의 돌기들을 포함하며, 상기 돌기들은 상기 기관의 도금 외관과 실질적으로 동연인, 상기 기관을 전해질에 침지시키는 단계;

(c) (i) 측면 유입구로부터, 갭으로, 및 측면 유출구 외부로, 및 (ii) 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 아래로부터, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해, 상기 갭으로, 및 상기 측면 유출구 외부로 상기 기관 홀더 내의 상기 기관과 접촉하여 전해질을 흐르게 하는 단계로서, 상기 유입구 및 상기 유출구는 전기도금 동안 상기 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 설계 또는 구성되는, 상기 전해질을 흐르게 하는 단계;

(d) 상기 기관 홀더를 회전시키는 단계; 및

(e) 상기 단계 (c) 에서와 같이 전해질을 흐르게 하면서 상기 기관의 도금 외관 상으로 재료를 전기도금하는 단계를 포함하는, 기관을 전기도금하기 위한 방법.

청구항 29

제 28 항에 있어서,

상기 갭은,

상기 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에서 측정된 바와 같이, 약 15mm 미만인, 기관을 전기도금하기 위한 방법.

청구항 30

제 28 항에 있어서,

상기 기관의 도금 외관과 상기 돌기들의 최상단 표면 사이의 갭은, 약 0.5 내지 4mm 사이에 있는, 기관을 전기도금하기 위한 방법.

청구항 31

제 28 항에 있어서,

상기 측면 유입구는 2개 이상의 방위각으로 별개이고 유동적으로 분리된 섹션들로 분리되며,

상기 유입구의 방위각으로 별개인 섹션들로의 전해질의 흐름은 독립적으로 제어되는, 기관을 전기도금하기 위한 방법.

청구항 32

제 28 항에 있어서,

흐름 지향 엘리먼트들은 상기 갭에 위치되고,

상기 흐름 지향 엘리먼트들은 전해질이 상기 측면 유입구로부터 상기 측면 유출구로 실질적으로 선형인 흐름 경로에서 흐르게 하는, 기관을 전기도금하기 위한 방법.

청구항 33

기관을 전기도금하기 위한 방법으로서,

(a) 기관 홀더에 실질적으로 평평한 기관을 수용하는 단계로서, 상기 기관의 도금 외관은 노출되고, 상기 기관 홀더는, 전기도금 동안 상기 기관의 도금 외관이 애노드로부터 분리되기 위해 상기 기관을 홀딩하도록

구성되는, 상기 평평한 기판을 수용하는 단계;

(b) 상기 기판을 전해질에 침지시키는 단계로서, 갭은 상기 기판의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에 형성되고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 상기 기판의 도금 외관과 적어도 대략적으로 동연이고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 전기도금 동안 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기판-대면측 상에 스텝을 포함하며, 상기 스텝은 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 중앙 영역에 위치되고, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 비-상승된 부분에 의해 둘러싸인, 상기 기판을 전해질에 침지시키는 단계;

(c) (i) 측면 유입구로부터, 상기 스텝 위로, 상기 갭으로, 다시 상기 스텝 위로, 및 측면 유출구 외부로, 및 (ii) 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 아래로부터, 상기 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해, 상기 갭으로, 상기 스텝 위로, 및 상기 측면 유출구 외부로 상기 기판 홀더 내의 상기 기판과 접촉하여 전해질을 흐르게 하는 단계로서, 상기 유입구 및 상기 유출구는 전기도금 동안 상기 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 설계 또는 구성되는, 상기 전해질을 흐르게 하는 단계;

(d) 상기 기판 홀더를 회전시키는 단계; 및

(e) 상기 단계 (c) 에서와 같이 전해질을 흐르게 하면서 상기 기판의 도금 외관 상으로 재료를 전기도금하는 단계를 포함하는, 기판을 전기도금하기 위한 방법.

명세서

기술분야

[0001] 관련 출원들에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은, 발명의 명칭이 "ENHANCEMENT OF ELECTROLYTE HYDRODYNAMICS FOR EFFICIENT MASS TRANSFER DURING ELECTROPLATING" 로 2012년 12월 12일자로 출원된 미국 가출원 제 61/736,499호 [대리인 도켓 LAMRP015P] 에 대한 우선권의 이익을 주장하며, 그 가출원은 그 전체가 모든 목적들을 위해 참조로서 여기에 포함된다. 본 출원은 또한, 발명의 명칭이 "CROSS FLOW MANIFOLD FOR ELECTROPLATING APPARATUS" 로 2013년 5월 13일자로 출원된 미국 특허 출원 제 13/893,242호 [대리인 도켓 NOVLP367X1] 의 부분적인 계속 출원 (continuation-in-part) 이고, 그 특허 출원은, 발명의 명칭이 "CONTROL OF ELECTROLYTE HYDRODYNAMICS FOR EFFICIENT MASS TRANSFER DURING ELECTROPLATING" 로서 2011년 6월 29일자로 출원된 미국 특허 출원 제 13/172,642호 [대리인 도켓 NOVLP367] 의 부분적인 계속 출원이며, 그 특허 출원은, 발명의 명칭이 "FLOW DIVERTERS AND FLOW SHAPING PLATES FOR ELECTROPLATING CELLS" 로 2010년 10월 21일자로 출원된 미국 가특허 출원 제 61/405,608호 [대리인 도켓 NOVLP396P]; 발명의 명칭이 "HIGH FLOW RATE PROCESSING FOR WAFER LEVEL PACKAGING" 로 2010년 8월 18일자로 출원된 제 61/374,911호 [대리인 도켓 NOVLP367P]; 및 발명의 명칭이 "ANGLED HRVA" 로 2010년 7월 2일자로 출원된 제 61/361,333호 [대리인 도켓 NOVLP366P] 에 대한 우선권의 이익을 주장하며, 그 가출원들 각각은 그 전체가 모든 목적들을 위해 여기에 참조로서 포함된다. 추가적으로, 미국 특허 출원 제 13/893,242호는, 발명의 명칭이 "CROSS FLOW MANIFOLD FOR ELECTROPLATING APPARATUS" 로 2012년 5월 14일자로 출원된 미국 가출원 제 61/646,598호 [대리인 도켓 NOVLP367X1P] 에 대한 우선권의 이익을 주장하며, 그 가출원은 여기에 그 전체가 모든 목적들을 위해 여기에 포함된다.

배경기술

[0003] 기재된 실시형태들은, 전기도금 동안 전해질 유체역학을 제어하기 위한 방법들 및 장치에 관한 것이다. 더 상세하게, 여기에 설명된 방법들 및 장치는, 반도체 웨이퍼 기판들 상으로 금속들을 도금하는데 특히 유용하며, 특히 그 기판들은 복수의 리세스된 피쳐들을 갖는다. 예시적인 프로세스들 및 피쳐들은, 예를 들어, 약 50 μ m 미만의 폭들을 갖는 작은 마이크로범핑 피쳐들 (예를 들어, 구리, 니켈, 주석 및 주석 합금 뱀납들), 및 구리 스루 실리콘 비아 (TSV) 피쳐들의 스루 레지스트 도금을 포함한다.

[0004] 전기화학적 증착 프로세스들은 현대의 집적 회로 제조에서 잘 설정되어 있다. 21세기의 앞선 몇년들에서 알루미늄으로부터 구리 금속 라인 상호접속부들로의 천이는, 점차 정교한 전기도금 프로세스들 및 도금 톨들에 대한 필요성을 드라이브 (drive) 했다. 대부분의 정교함은 디바이스 금속화 층들에서 훨씬 더 작은 전류 운반 라인들에 대한 필요성에 응답하여 발전되었다. 이들 구리 라인들은, "다마신" 프로세싱 (사전-패시베이션 금속화)

으로서 일반적으로 지칭되는 방법에서 매우 얇은 높은-에스펙트 비 트렌치들 및 비아들로 금속을 전기도금함으로써 형성된다.

- [0005] 전기화학적 증착은 이제, 웨이퍼 레벨 패키징 (WLP) 및 스루 실리콘 비아 (TSV) 전기 접속 기술로서 일반적으로 및 구어적으로 알려진 정교한 패키징 및 멀티칩 상호접속 기술들에 대한 상업적 필요성을 채우도록 푸아즈 (poise) 된다. 이들 기술들은, 부분적으로는 (FEOL (Front End of Line) 과 비교하여) 일반적으로 더 큰 피쳐 사이즈들 및 높은 에스펙트 비들로 인해 그들 자신의 매우 상당한 문제점들을 제공한다.
- [0006] 패키징 피쳐들 (예를 들어, 스루 칩 접속 TSV, 상호접속 재분배 배선, 또는 플립-칩 필러들과 같은 보드로의 칩 또는 칩 접합)의 타입 및 애플리케이션에 의존하여, 도금된 피쳐들은 일반적으로 현재의 기술에서, 약 2마이크로미터보다 크며, 그들의 주요한 치수에서 통상적으로 약 5 내지 100마이크로미터이다 (예를 들어, 구리 필러들은 약 50마이크로미터일 수도 있음). 전력 버스들과 같은 몇몇 온-칩 구조들에 대해, 도금될 피쳐는 100마이크로미터보다 클 수도 있다. WLP 피쳐들의 에스펙트 비는 통상적으로 약 1:1 (폭 대 높이) 이하이지만, 그들은 약 2:1 만큼 높은 범위에 있을 수 있으며, TSV 구조들은 (예를 들어, 약 20:1의 이웃에서) 매우 높은 에스펙트 비들을 가질 수 있다.
- [0007] WLP 구조의 수축에 관해, 100 내지 200 μ m 로부터 50 μ m 미만까지의 사이즈들은, 이러한 스케일에서, 피쳐의 사이즈 및 통상적인 대량 전달 경계 층 두께 (평평한 표면으로의 대류 전달이 발생하는 거리)가 거의 동일하기 때문에 문제들의 고유한 세트가 된다. 더 큰 피쳐들을 갖는 이전의 세대들에 대해, 피쳐로의 유체 및 대용량의 대류 전달은, 피쳐들로의 흐름장들의 일반적인 관통에 의해 운반되었지만, 더 작은 피쳐들에 관해, 흐름 와류 (eddy) 들 및 정체 (stagnation) 의 형성은 성장중인 피쳐 내의 대량 전달의 레이트 및 균일도를 방해할 수 있다. 따라서, 더 작은 "마이크로범프" 및 TSV 피쳐들 내에서 매우 균일한 대량 전달을 생성하는 새로운 방법들이 요구된다.
- [0008] 피쳐 사이즈 뿐만 아니라 도금 속도는 다마신 애플리케이션들로부터 WLP 및 TSV 애플리케이션들을 구별한다. 많은 WLP 애플리케이션들에 대해, 도금될 금속 (예를 들어, 구리, 니켈, 금, 은 뱀납들 등)에 의존하여, 한편으로는 제조 및 비용 요건들과 다른 한편으로는 기술적인 어려움 (예를 들어, 웨이퍼 패턴 가변성에 관한 및 다이 및 피쳐 타겟들 내와 같은 웨이퍼 요건들에 대한 자산 생산성의 목적들) 사이에 균형이 존재한다. 구리에 대해, 이러한 균형은 적어도 약 2마이크로미터/분의 레이트로, 및 통상적으로는 적어도 약 3 내지 4 마이크로미터/분 이상으로 일반적으로 달성된다. 주석 및 주석 합금 도금에 대해, 약 3 μ m/분보다 큰 도금 레이트, 및 몇몇 애플리케이션들에 대해서는 적어도 약 7마이크로미터/분이 요구될 수도 있다. 니켈 및 스트라이크 금 (예를 들어, 낮은 농도의 금 플래시 막 층들)에 대해, 도금 레이트들은 약 0.1 내지 1.5 μ m/분 사이에 있을 수도 있다. 이들 금속-상대적인 더 높은 도금 레이트 레지메들에서, 전해질 내의 금속 이온들의 도금 표면으로의 효율적인 대량 전달이 중요하다.
- [0009] 특정한 실시형태들에서, 도금은, 웨이퍼 내에서 (WIW 균일도), 특정한 다이의 모든 피쳐들 내 및 사이에서 (WID 균일도), 및 또는 개별적인 피쳐들 그 자체 내에서 (WIF 균일도) 양호한 도금 균일도를 달성하기 위해 웨이퍼의 전체 외관 (face)에 걸쳐 매우 균일한 방식으로 수행되어야 한다. WLP 및 TSV 애플리케이션들의 높은 도금 레이트들은 전기도금된 층의 균일도에 관해 문제점들을 제공한다. 다양한 WLP 애플리케이션들에 대해, 도금은 웨이퍼 표면을 따라 방사상으로 고작 (at most) 약 5% 하프 (half) 범위 변화 (웨이퍼의 직경에 걸쳐 다수의 위치들에서 다이 내의 단일 피쳐 타입 상에서 측정되는 WIW 비균일도로서 지칭됨)를 나타내어야 한다. 유사한 동등하게 문제가 있는 요건들은, 상이한 사이즈들 (예를 들어, 피쳐 직경들) 또는 피쳐 밀도 (예를 들어, 칩 다이의 어레이의 중간에서 격리된 또는 삽입된 피쳐)의 다양한 피쳐들의 균일한 증착 (두께 및 형상)이다. 이러한 성능 규격은 일반적으로 WID 비균일도로서 지칭된다. WID 비균일도는, 웨이퍼 상의 특정한 다이 위치 (예를 들어, 중간 반경, 중심 또는 에지)에서의 주어진 웨이퍼 다이 내의 평균 피쳐 높이 또는 다른 치수 대 상술된 바와 같은 다양한 피쳐 타입들의 로컬 가변성 (예를 들어, <5% 하프 범위)으로서 측정된다.
- [0010] 다른 문제있는 요건은 내부 피쳐 형상의 일반적인 제어이다. 적절한 흐름 및 대용량 전달 대류 제어 없이, 도금 이후, 라인 또는 필러는, 항상은 아니지만 일반적으로 선호되는 평평한 프로파일을 이용하여 2 또는 3차원에서 불록, 평평 또는 오목한 방식 중 어느 하나로 경사지는 것을 종료할 수 있다. 이들 문제점들을 충족시키면서, WLP 애플리케이션들은 종래의 잠재적으로 덜 비싼 픽 (pick) 과 경쟁하고 연속하는 라우팅 동작들을 배치해야 한다. 더 추가적으로, WLP 애플리케이션들에 대한 전기화학 증착은, 납, 주석, 주석-은, 및 니켈, 코발트, 금, 팔라듐, 및 이들의 다양한 합금들과 같은 다른 언더범프 (underbump) 금속화 (UBM) 재료들과 같은 뱀납들과 같은 다양한 비-구리 금속들을 도금하는 것을 수반하며, 이들 중 몇몇은 구리를 포함한다. 공정 (eutectic) 합

금들 근처의 주석-은의 도금은, 납-주석 공정 뿔납에 대한적인 납 없는 뿔납으로서 도금되는 합금에 대한 도금 기술의 일 예이다.

발명의 내용

- [0011] 여기에서의 실시형태들은, 기관 상으로 재료를 전기도금하기 위한 방법들 및 장치에 관한 것이다. 일반적으로, 기재된 기술들은, 플레이트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성된 복수의 스루 홀들을 갖는 개선된 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 뿐만 아니라, 도금 균일도를 개선시키기 위한 일련의 돌기 (protuberance) 들 또는 스텝 (step) 의 사용을 수반한다. 실시형태들의 일 양태에서, (a) 실질적으로 평평한 기관 상으로 금속을 전기도금하면서 전해질 애노드를 함유하도록 구성된 전기도금 챔버; (b) 기관의 도금 외관이 전기도금 동안 애노드로부터 분리되기 위해 실질적으로 평평한 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더; (c) (i) 이온적으로 저항성 있는 엘리먼트를 통해 연장하고, 전기도금 동안 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통한 이온 전달을 제공하도록 구성된 복수의 채널들; (ii) 기관의 도금 외관에 실질적으로 평행하고 갭에 의해 기관의 도금 외관으로부터 분리된 기관-대면측; 및 (iii) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 위치한 복수의 돌기들을 포함하는 이온적으로 저항성있는 엘리먼트; (d) 크로스 유동 (cross flowing) 전해질을 갭으로 도입하기 위한 갭으로의 유입구; 및 (e) 갭에서 흐르는 크로스 유동 전해질을 수용하기 위한 갭으로의 유출구를 포함하는 전기도금 장치가 제공되며, 여기서, 유입구 및 유출구는 전기도금 동안 기관의 도금 외관 상의 방위각으로 반대인 주변 위치들 근방에 위치된다.
- [0012] 몇몇 실시형태들에서, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측과 기관의 도금 외관 사이의 갭은, 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에서 측정된 바와 같이 약 15mm 미만이다. 기관의 도금 외관과 돌기들의 최상단 높이 사이의 갭은 특정한 경우에서 약 0.5 내지 4mm 사이에 있을 수도 있다. 특정한 경우들에서, 돌기들은 약 2 내지 10mm 사이의 높이를 가질 수도 있다. 다양한 실시형태들에서, 돌기들은 평균적으로, 크로스 유동 전해질의 방향에 실질적으로 수직하게 배향된다. 돌기들 중 하나 이상 또는 전부는 적어도 약 3:1의 폭 대 길이 애스펙트 비율을 가질 수도 있다. 다양한 실시형태들에서, 돌기들은 기관의 도금 외관과 실질적으로 동연 (coextensive) 이다.
- [0013] 많은 상이한 돌기 형상들이 사용될 수도 있다. 몇몇 경우들에서, 돌기들의 적어도 2개의 상이한 형상들 및/또는 사이즈들이 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 상에 존재한다. 하나 이상의 돌기들은 전해질이 전기도금 동안 흐를 수도 있는 절단부 (cutout) 를 포함할 수도 있다. 돌기들은 일반적으로 직사각형으로 형상화될 수도 있거나, 삼각형으로 형상화될 수도 있거나, 실린더형으로 형상화될 수도 있거나, 또는 이들의 몇몇 조합일 수도 있다. 돌기들은 또한, 더 복잡한 형상, 예를 들어, 돌기의 상단 및 바닥을 따른 절단들의 상이한 형상들을 갖는 일반적으로 직사각형 돌기를 가질 수도 있다. 몇몇 경우들에서, 돌기들은 삼각형 상단 부분을 갖는다. 하나의 예는 삼각형 팁을 갖는 직사각형 돌기이다. 다른 예는 전체 삼각형 형상을 갖는 돌기이다.
- [0014] 돌기들은 수직 각도, 또는 비-수직 각도, 또는 각도들의 조합으로 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트로부터 위로 연장할 수도 있다. 즉, 몇몇 실시형태들에서, 돌기들은, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면에 실질적으로 수직한 외관을 포함한다. 대안적으로 또는 부가적으로, 돌기들은 비-직각 (non-right) 각도만큼 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면으로부터 오프셋되는 외관을 포함할 수도 있다. 몇몇 구현들에서, 돌기들은 1개 초과인 세그먼트로부터 제작된다. 예를 들어, 돌기들은 제 1 돌기 세그먼트 및 제 2 돌기 세그먼트를 포함할 수도 있으며, 여기서, 제 1 및 제 2 돌기 세그먼트들은 실질적으로 유사하지만 반대의 부호를 갖는 각도들만큼 크로스 유동 전해질의 방향으로부터 오프셋된다.
- [0015] 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는, 전기장을 형상화하고, 전기도금 동안 기관 근방의 전해질 흐름 특징들을 제어하도록 구성될 수도 있다. 다양한 실시형태들에서, 하부 매니폴드 영역은 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 하부 외관 아래에 위치될 수도 있으며, 여기서, 하부 외관은 기관 홀더로부터 떨어져 대면한다. 중앙 전해질 챔버 및 하나 이상의 피드 채널들은, 중앙 전해질 챔버로부터 유입구 및 하부 매니폴드 영역으로 전해질을 전달하도록 구성될 수도 있다. 이러한 방식으로, 전해질은 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 위에서 크로스 흐름을 개시하도록 유입구에 직접 전달될 수도 있고, 전해질은 하부 매니폴드 영역으로 동시에 전달될 수도 있으며, 여기서, 전해질은, 기관과 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 사이의 갭으로 진입하기 위해 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트에서 채널들을 통과할 것이다. 크로스 흐름 주입 매니폴드는 유입구에 유동적으로 커플링될 수도 있다. 크로스 흐름 주입 매니폴드는 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 내의 캐비티에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드는 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 내에 전체적으로 존재한다.

- [0016] 흐름 한정링은 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 주변 부분 위에 위치될 수도 있다. 흐름 한정링은 크로스 흐름 주입 매니폴드로부터의 흐름을 재안내하는 것을 도울 수도 있어서, 그것이 기관의 표면에 평행한 방향으로 흐르게 한다. 장치는 또한, 도금 동안 기관 홀더를 회전시키기 위한 메커니즘을 포함할 수도 있다. 몇몇 실시 형태들에서, 유입구는 기관의 도금 외관의 주변 근방에서 약 90 내지 180° 사이의 아크에 걸쳐 있다. 유입구는 복수의 방위각으로 별개인 세그먼트들을 포함할 수도 있다. 복수의 전해질 피드 유입구들은 복수의 방위각으로 별개인 유입구 세그먼트들로 전해질을 전달하도록 구성될 수도 있다. 추가적으로, 하나 이상의 흐름 제어 엘리먼트들은, 전기도금 동안 복수의 전해질 피드 유입구들에서 전해질의 복수의 체적 유동율들을 독립적으로 제어하도록 구성될 수도 있다. 다양한 경우들에서, 유입구 및 유출구는, 전기도금 동안 기관의 도금 외관 상에서 전단력 (shearing force) 을 생성 또는 유지하기 위해 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 구성될 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 돌기들은 복수의 평행 칼럼 (columns) 들로 배향될 수도 있다. 칼럼들은 비-돌기 갭에 의해 분리된 2개 이상의 불연속적인 돌기들을 포함할 수도 있으며, 여기서, 인접한 칼럼들 내의 비-돌기 갭들은 크로스 유동 전해질의 방향에서 서로 실질적으로 정렬되지 않는다.
- [0017] 기재된 실시형태들의 다른 양태에서, (a) 실질적으로 평평한 기관 상으로 금속을 전기도금하면서 전해질 및 애노드를 함유하도록 구성된 전기도금 챔버; (b) 기관의 도금 외관이 전기도금 동안 애노드로부터 분리되기 위해 실질적으로 평평한 기관을 홀딩하도록 구성된 기관 홀더; (c) (i) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 연장하고, 전기도금 동안 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통한 이온 전달을 제공하도록 구성된 복수의 채널들; (ii) 기관의 도금 외관에 실질적으로 평행하고 갭에 의해 기관의 도금 외관으로부터 분리된 기관-대면측; 및 (iii) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 위치한 스텝으로서, 스텝은 높이 및 직경을 갖고, 스텝의 직경은 웨이퍼의 도금 외관과 실질적으로 동연이며, 스텝의 높이 및 직경은 전해질이 도금 동안 기관 홀더 아래, 스텝 위 및 갭으로 흐르게 하는데 충분히 작은, 스텝을 포함하는 이온적으로 저항성있는 엘리먼트; (d) 전해질을 갭으로 도입하기 위한 갭으로의 유입구; 및 (e) 갭에서 흐르는 전해질을 수용하기 위한 갭으로의 유출구를 포함하는 전기도금 장치가 제공되며, 유입구 및 유출구는 전기도금 동안 기관의 도금 외관 상에서 전단력을 생성 또는 유지하기 위해 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 구성된다.
- [0018] 기재된 실시형태들의 추가적인 양태에서, 표준 직경의 반도체 웨이퍼 상에 재료를 도금하기 위한 전기도금 장치에서의 사용을 위한 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트가 제공되며, 그 플레이트는, 반도체 웨이퍼의 도금 외관과 대략적으로 동연인 플레이트로서, 플레이트는 약 2 내지 25mm 사이의 두께를 갖는, 플레이트; 플레이트의 두께를 통해 연장하는 적어도 약 100개의 비-연통 스루-홀들로서, 스루-홀들은 전기도금 동안 플레이트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되는, 스루-홀들; 및 플레이트의 일 측면 상에 위치한 복수의 돌기들을 포함한다.
- [0019] 기재된 실시형태들의 다른 양태에서, 표준 직경의 반도체 웨이퍼 상에 재료를 도금하기 위한 전기도금 장치에서의 사용을 위한 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트가 제공되며, 그 플레이트는, 반도체 웨이퍼의 도금 외관과 대략적으로 동연인 플레이트로서, 플레이트는 약 2 내지 25mm 사이의 두께를 갖는, 플레이트; 플레이트의 두께를 통해 연장하는 적어도 약 100개의 비-연통 스루-홀들로서, 스루-홀들은 전기도금 동안 플레이트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되는, 스루-홀들; 및 플레이트의 중앙 영역 내의 플레이트의 상승된 부분 및 플레이트의 주변에 위치한 플레이트의 비-상승된 부분을 포함하는 스텝을 포함한다.
- [0020] 기재된 실시형태들의 추가적인 양태에서, 기관을 전기도금하기 위한 방법이 제공되며, 그 방법은, (a) 기관 홀더에 실질적으로 평평한 기관을 수용하는 단계로서, 기관의 도금 외관은 노출되고, 기관 홀더는, 전기도금 동안 기관의 도금 외관이 애노드로부터 분리되기 위해 기관을 홀딩하도록 구성되는, 평평한 기관을 수용하는 단계; (b) 전해질에 기관을 침지시키는 단계로서, 갭은 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에 형성되고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 기관의 도금 외관과 적어도 대략적으로 동연이고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 전기도금 동안 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 복수의 돌기들을 포함하며, 돌기들은 기관의 도금 외관과 실질적으로 동연인, 기관을 침지시키는 단계; (c) (i) 측면 유입구로부터, 갭으로, 및 측면 유출구 외부로, 및 (ii) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 아래로부터, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해, 갭으로, 및 측면 유출구 외부로 기관 홀더 내의 기관과 접촉하여 전해질을 흐르게 하는 단계로서, 유입구 및 유출구는 전기도금 동안 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 설계 또는 구성되는, 전해질을 흐르게 하는 단계; (d) 기관 홀더를 회전시키는 단계; 및 (e) (c) 에서와 같이 전해질을 흐르게 하면서 기관의 도금 외관 상으로 재료를 전기도금하는 단계를 포함한다.
- [0021] 몇몇 실시형태들에서, 갭은 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이의 측정치와 같이 약

15mm 이하이다. 기관의 도금 외관과 돌기들의 최상단 표면 사이의 갭은 약 0.5 내지 4mm 사이에 있을 수도 있다. 특정한 구현들에서, 측면 유입구는 2개 이상의 방위각으로 별개이고 유동적으로 분리된 섹션들로 분리될 수도 있으며, 유입구의 방위각으로 별개인 섹션들로의 전해질의 흐름은 독립적으로 제어될 수도 있다. 흐름 지향 엘리먼트들은 몇몇 경우들에서 갭에 위치될 수도 있다. 흐름 지향 엘리먼트들은 전해질이 측면 유입구로부터 측면 유출구로 실질적으로 선형 흐름 경로에서 흐르게 할 수도 있다.

[0022] 기재된 실시형태들의 다른 양태에서, 기관을 전기도금하기 위한 방법이 제공되며, 방법은, (a) 기관 홀더에 실질적으로 평평한 기관을 수용하는 단계로서, 기관의 도금 외관은 노출되고, 기관 홀더는, 전기도금 동안 기관의 도금 외관이 애노드로부터 분리되기 위해 기관을 홀딩하도록 구성되는, 평평한 기관을 수용하는 단계; (b) 전해질에 기관을 침지시키는 단계로서, 갭은 기관의 도금 외관과 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면 사이에 형성되고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 기관의 도금 외관과 적어도 대략적으로 동연이고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 전기도금 동안 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해 이온 전달을 제공하도록 구성되고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면측 상에 스텝을 포함하며, 스텝은 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 중앙 영역에 위치되고, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 비-상승된 부분에 의해 둘러싸인, 스텝; (c) (i) 측면 유입구로부터, 스텝 위로, 갭으로, 다시 스텝 위로, 및 측면 유출구 외부로, 및 (ii) 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 아래로부터, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트를 통해, 갭으로, 스텝 위로, 및 측면 유출구 외부로 기관 홀더 내의 기관과 접촉하여 전해질을 흐르게 하는 단계로서, 유입구 및 유출구는 전기도금 동안 갭에서 크로스 유동 전해질을 생성하도록 설계 또는 구성되는, 전해질을 흐르게 하는 단계; (d) 기관 홀더를 회전시키는 단계; 및 (e) (c) 에서와 같이 전해질을 흐르게 하면서 기관의 도금 외관 상으로 재료를 전기도금하는 단계를 포함한다.

[0023] 이들 및 다른 특성들은 관련 도면들을 참조하여 후술될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1a는 특정한 실시형태들에 따른 상부에 돌기들의 집합을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 등측도이다.

도 1b는 반도체 웨이퍼들을 전기화학적으로 처리하기 위한 기관 홀딩 및 위치결정 장치의 사시도를 도시한다.

도 1c는 콘 (cone) 및 컵 (cup) 을 포함하는 기관 홀딩 어셈블리의 일부의 단면도를 도시한다.

도 1d는 여기에서의 실시형태들을 실시하는데 사용될 수도 있는 전기도금 셀의 간략도를 도시한다.

도 2는 여기에 기재된 특정한 실시형태들에 따른, 캐소드 챔버에 통상적으로 존재하는 전기도금 장치의 다양한 부분들의 분해도를 도시한다.

도 3a는 여기에서의 특정한 실시형태들에 따라 크로스 흐름 측면 유입구 및 둘러싸인 하드웨어의 근접도를 도시한다.

도 3b는 다양한 기재된 실시형태들에 따른 크로스 흐름 유출구, CIRP 매니폴드 유입구, 및 둘러싸인 하드웨어의 근접도를 도시한다.

도 4는 도 3a-b에 도시된 전기도금 장치의 다양한 부분들의 단면도를 도시한다.

도 5는 특정한 실시형태들에 따른 6개의 개별 세그먼트들로 분리되는 크로스 흐름 주입 매니폴드 및 샤워헤드를 도시한다.

도 6은 여기에서의 일 실시형태에 따른 CIRP 및 관련 하드웨어의 상면도를 도시하며, 특히 크로스 흐름의 유입구 측을 포커스한다.

도 7은 다양한 기재된 실시형태들에 따른 크로스 흐름 매니폴드의 유입구 및 유출구 측 양자를 도시하는 CIRP 및 관련 하드웨어의 간략화된 상면도를 도시한다.

도 8a-b는 특정한 실시형태들에 따른 크로스 흐름 유입구 영역의 설계들을 도시한다.

도 9는 특정한 관련 지오메트리들을 도시하는 크로스 흐름 유입구 영역을 도시한다.

도 10a는 스텝을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트가 사용되는 크로스 흐름 유입구 영역을 도시한다.

도 10b는 스텝을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 일 예를 도시한다.

도 11은 일련의 돌기들을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트가 사용되는 크로스 흐름 유입구 영역을 도시한다.

도 12는 돌기들을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 근접도를 도시한다.

도 13 및 도 14는 특정한 실시형태들에 따른 돌기들에 대한 상이한 형상들 및 설계들을 제공한다.

도 15는 2개의 상이한 종류들의 절단들을 갖는 돌기를 도시한다.

도 16은 도 15에 도시된 돌기들의 타입을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트를 도시한다.

도 17은 갭들에 의해 칼럼 내에서 분리되는 비-연속적인 돌기들을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 간략화된 상하도를 도시한다.

도 18은 돌기들을 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 근접 단면도를 도시한다.

도 19는 돌기들이 다수의 세그먼트들로 제작되는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 일 실시형태의 간략화된 상하도를 도시한다.

도 20은, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 상의 돌기들의 부가가 범프 높이 두께의 더 낮은 변화를 달성함으로써 더 균일한 도금을 촉진시킬 수 있다는 것을 나타내는 실험 데이터를 제공한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 명세서에서, "반도체 웨이퍼", "웨이퍼", "기판", "웨이퍼 기판", 및 "부분적으로 제조된 집적 회로" 라는 용어들은 상호교환가능하게 사용된다. 당업자는, "부분적으로 제조된 집적 회로" 라는 용어가 상부의 집적 회로 제조의 많은 스테이지들 중 임의의 스테이지 동안의 실리콘 웨이퍼를 지칭할 수 있음을 이해할 것이다. 다음의 상세한 설명은, 본 발명이 웨이퍼 상에 구현된다는 것을 가정한다. 종종, 반도체 웨이퍼들은 200, 300 또는 450mm의 직경을 갖는다. 그러나, 본 발명은 그렇게 제한되지 않는다. 워크피스는 다양한 형상들, 사이즈들, 및 재료들을 가질 수도 있다. 반도체 웨이퍼들에 부가하여, 본 발명의 이점을 취할 수도 있는 다른 워크피스들은, 인쇄 회로 보드들 등과 같은 다양한 물품들을 포함한다.

[0026] 다음의 설명에서, 다수의 특정한 세부사항들이 제공된 실시형태들의 완전한 이해를 제공하기 위해 기재되어 있다. 기재된 실시형태들은 이들 특정한 세부사항들 중 몇몇 또는 모두 없이도 실시될 수도 있다. 다른 예시들에서, 잘 알려진 프로세스 동작들은 기재된 실시형태들을 불필요하게 불명료하게 하지 않게 하기 위해 상세히 설명되지 않았다. 기재된 실시형태들이 특정한 실시형태들과 함께 설명될 것이지만, 기재된 실시형태들을 제한하도록 의도되지 않음을 이해할 것이다.

[0027] 다음의 설명에서, 기재된 실시형태들의 상단 및 바닥 피쳐들 (상부 및 하부 피쳐들 등과 같은 유사한 용어들) 또는 엘리먼트들을 지칭할 경우, 상단 및 바닥이라는 용어들은 편의를 위해 간단히 사용되며, 본 발명의 참조 또는 구현의 단일 프레임만을 나타낸다. 상단 및 바닥 컴포넌트들이 중력에 관해 반전되고 및/또는 상단 및 바닥 컴포넌트들이 좌측 및 우측 또는 우측 및 좌측 컴포넌트들이 되는 구성들과 같은 다른 구성들이 가능하다. 기판 상으로 하나 이상의 금속들을 전기도금하기 위한 장치 및 방법들이 여기에 설명된다. 실시형태들은 일반적으로 설명되며, 여기서, 기판은 반도체 웨이퍼이지만, 본 발명은 그렇게 제한되지 않는다.

[0028] 기재된 실시형태들은, 매우 균일한 도금된 층들이 획득되도록 도금 동안 전해질 유체역학의 제어를 위해 구성되는 전기도금 장치 및 그 제어를 포함하는 전기도금 방법들을 포함한다. 특정한 구현들에서, 기재된 실시형태들은, 층돌 흐름 (워크피스 표면에 지향된 또는 수직인 흐름) 및 전단 흐름 (워크피스 표면에 평행한 속도를 갖는 "크로스 흐름" 또는 흐름으로서 종종 지칭됨) 의 조합들을 생성하는 방법들 및 장치를 이용한다.

[0029] 기재된 실시형태들은, 웨이퍼의 도금 표면과 CIRP의 상단 사이의 작은 채널 (크로스 흐름 매니폴드) 을 제공하는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (CIRP) 를 사용한다. CIRP는, 그들 중, 1) 이온 전류가 CIRP 아래에 일반적으로 위치된 애노드로부터 웨이퍼로 흐르게 하고, 2) 유체가 CIRP를 통해 상향으로 및 웨이퍼 표면을 향해 일반적으로 흐르게 하고; 3) 크로스 흐름 매니폴드 영역으로부터 떨어져 및 외부로 전해질의 흐름을 한정하고 견디는 많은 기능들을 제공한다. 크로스 흐름 매니폴드 영역 내의 흐름은, CIRP 내의 스루-홀들로 주입된 유체 뿐만 아니라, CIRP 상에 및 웨이퍼의 일 측면에 통상적으로 위치된 크로스 흐름 주입 매니폴드로부터 도래하는 유체를 포함한다.

- [0030] 여기에 기재된 실시형태들에서, CIRP의 상단 외관이 변형되어, 그에 의해, 웨이퍼의 외관에 걸쳐 및 도금 피쳐들 내에서 최대 증착 레이트 및 도금 균일도를 개선시킨다. CIRP의 상단 외관에 대한 변형은 스텝 또는 돌기들의 집합의 형태를 취할 수도 있다. 도 1a는 상부에 돌기들 (151)의 집합을 갖는 CIRP (150)의 등각도를 제공한다. 이들 CIRP 변형들은 더 상세히 후술된다.
- [0031] 특정한 구현들에서, 크로스 흐름 매니폴드에 크로스 흐름을 적용하기 위한 메커니즘은 유입구이며, 예를 들어, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 주변 상의 또는 근방의 적절한 흐름 지향 및 분배 수단을 갖는다. 유입구는 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 기관-대면 표면을 따라 크로스 유동 전해질을 지향시킨다. 유입구는 방위각으로 비대칭이며, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 원주를 부분적으로 따른다. 유입구는 하나 이상의 갭들 또는 캐비들, 예를 들어, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 외부에 방사상으로 위치된 크로스 흐름 주입 매니폴드로서 지칭된 환형 캐비티를 포함할 수도 있다. 다른 엘리먼트들은 크로스 흐름 주입 매니폴드와 함께 작동하기 위해 선택적으로 제공된다. 이들은 크로스 흐름 주입 흐름 분배 샤워헤드, 크로스 흐름 한정링, 및 흐름-지향 핀들을 포함할 수도 있으며, 이들은 도면들과 함께 추가적으로 후술된다.
- [0032] 특정한 실시형태들에서, 장치는 기관 도금 외관을 향한 또는 수직인 방향의 전해질의 흐름이, 전기도금 동안 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 홀들을 빠져나가는 적어도 약 3cm/s (예를 들어, 적어도 약 5cm/s 또는 적어도 약 10cm/s)의 평균 흐름 속도를 생성할 수 있도록 구성된다. 특정한 실시형태들에서, 장치는, 기관의 도금 외관의 중앙 포인트에 걸쳐 약 3cm/초 이상 (예를 들어, 약 5cm/s 이상, 약 10cm/s 이상, 약 15cm/s 이상, 또는 약 20cm/s 이상)의 평균 횡단 전해질 속도를 생성하는 조건들 하에서 동작하도록 구성된다. 특정한 실시형태에서, 이들 유동율들 (즉, 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 홀들을 빠져나오는 유동율 및 기관의 도금 외관에 걸친 유동율)은 약 20L/분의 전체 전해질 유동율 및 대략 12인치 직경의 기관을 이용하는 전기도금 셀에서 적절하다. 여기에서의 실시형태들은 다양한 기관 사이즈들을 이용하여 실시될 수도 있다. 몇몇 경우들에서, 기관은 약 200mm, 약 300mm, 또는 약 450mm의 직경을 갖는다. 추가적으로, 여기에서의 실시형태들은 광범위하게 다양한 전체 유동율들로 실시될 수도 있다. 특정한 구현들에서, 전체 전해질 유동율은 약 1 내지 60L/분 사이, 약 6 내지 60L/분 사이, 약 5 내지 25L/분 사이, 또는 약 15 내지 25L/분 사이이다. 도금 동안 달성되는 유동율들은, 사용되는 펌프의 사이즈 및 용량과 같은 특정한 하드웨어 제약들에 의해 제한될 수도 있다. 당업자는, 기재된 기술들이 더 큰 펌프들을 이용하여 실시된 경우, 여기에 인용된 유동율들이 더 높을 수도 있음을 이해할 것이다.
- [0033] 몇몇 실시형태들에서, 전기도금 장치는, 2개의 챔버들 각각에서 상이한 전해질 조성들, 전해질 순환 루프들, 및/또는 유체역학들이 존재하는 분리된 애노드 및 캐소드 챔버들을 포함한다. 이온적으로 삼투가능한 멤브레인은, 챔버들 사이의 하나 이상의 컴포넌트들의 직접적인 대류 전달 (흐름에 의한 대량 이동)을 방해하고, 챔버들 사이에서 원하는 분리를 유지하는데 이용될 수도 있다. 단지 양이온들 (양이온 교환 멤브레인) 또는 단지 음이온 (음이온 교환 멤브레인)과 같은 이온들의 전달을 선택적으로 허용하면서, 멤브레인은 벌크 전해질 흐름을 차단하고, 유기 첨가제들과 같은 특정한 종의 전달을 배제할 수도 있다. 특정한 예로서, 몇몇 실시형태들에서, 멤브레인은, 델러웨이 위밍턴 소재의 Dupont로부터의 양이온 교환 멤브레인 NAFION™, 또는 관련 이온적으로 선택적인 폴리머를 포함한다. 다른 경우들에서, 멤브레인은 이온 교환 재료를 포함하지 않고, 대신 마이크로-다공성 재료를 포함한다. 종래에, 캐소드 챔버 내의 전해질은 "캐소드액"으로서 지칭되고, 애노드 챔버 내의 전해질은 "애노드액"으로서 지칭된다. 빈번하게, 애노드액 및 캐소드액은 상이한 조성들을 가지며, 애노드액은 도금 첨가물들 (예를 들어, 가속기, 억제기, 및/또는 레벨러)이 거의 없거나 없고, 캐소드액은 상당한 농도들의 그러한 첨가제들을 함유한다. 또한, 금속 이온들 및 산들의 농도는 종종, 2개의 챔버들 사이에서 상이하다. 분리된 애노드 챔버를 포함하는 전기도금 장치의 일 예는, 2000년 11월 3일자로 출원된 미국 특허 제 6,527,920호 [대리인 도켓 NOVLP007]; 2002년 8월 27일자로 출원된 미국 특허 제 6,821,407호 [대리인 도켓 NOVLP048], 및 2009년 12월 17일자로 출원된 미국 특허 제 8,262,871호 [대리인 도켓 NOVLP308]에 설명되어 있으며, 이들 각각은 여기에 그 전체가 참조로서 포함된다.
- [0034] 몇몇 실시형태들에서, 멤브레인은 이온 교환 재료를 포함할 필요가 없다. 몇몇 예들에서, 멤브레인은 메사추세츠 윌밍턴 소재의 Koch Membrane에 의해 제조된 폴리테트라플루오로에틸렌과 같은 마이크로-다공성 재료로부터 제작된다. 이러한 멤브레인 타입은 주석-은 도금 및 금 도금과 같은 비활성 애노드 애플리케이션들에 가장 두드러지게 적용가능하지만, 니켈 도금과 같은 가용성 애노드 애플리케이션들에 대해 또한 사용될 수도 있다.
- [0035] 특정한 실시형태들에서 및 여기의 다른 곳에서 더 완전히 설명되는 바와 같이, 캐소드액은 전기도금 셀 내의 2

개의 메인 통로들 중 하나를 통해 흐를 수도 있다. 제 1 통로에서, 캐소드액은, CIRP 아래에 위치되고 (필수적이지는 않지만) 일반적으로 멤브레인 및/또는 멤브레인 프레임-홀더 위에 위치되는 "CIRP 매니폴드 영역" 으로서 지칭되는 매니폴드 영역으로 피드된다. CIRP 매니폴드 영역으로부터, 캐소드액은 CIRP 내의 다양한 홀들을 통해 (크로스 흐름 또는 크로스 흐름 매니폴드 영역으로서 종종 지칭되는) 기관 갭으로의 CIRP로 상향으로 전달되며, 웨이퍼 표면을 향한 방향으로 이동한다. 제 2 크로스-흐름 전해질-피딩 통로에서, 전해질은 크로스 흐름 주입 매니폴드 영역의 일 측으로부터 그 영역으로 피드된다. 크로스 흐름 주입 매니폴드로부터, 전해질은 CIRP로 기관 갭 (즉, 크로스 흐름 매니폴드) 에 전달되며, 여기서, 그것은 기관의 표면에 매우 평행한 방향으로 기관의 표면 위에 흐른다.

[0036] 여기에 설명된 몇몇 양태들이 다양한 타입들의 도금 장치에서 이용될 수도 있지만, 간략화 및 명확화를 위해, 예들의 대부분은 웨이퍼-외관-하향 "분수 (fountain)" 도금 장치에 관심이 있을 것이다. 그러한 장치에서, 도금될 워크피스 (통상적으로, 여기에 제공된 예들에서는 반도체 웨이퍼) 는 일반적으로, (몇몇 경우들에서, 전체 도금 프로세스 중 몇몇 부분 또는 그 프로세스 동안 실제 수평으로부터 몇도만큼 변할 수도 있는) 실질적으로 수평 배향을 가지며, 도금 동안 회전하도록 전력공급될 수도 있어서, 전해질 대류 패턴을 향해 일반적으로 수직으로 산출된다. 웨이퍼의 중앙으로부터 에지까지의 충돌 흐름 질량 뿐만 아니라 그의 중앙에 대한 그의 에지에서 회전중인 웨이퍼의 고유한 더 높은 각속도의 적분 (integration) 은 방사상으로 증가하는 전단 (웨이퍼 평행) 흐름 속도를 생성한다. 셀들/장치의 분수 도금 클래스의 멤버의 일 예는, CA 샌호세 소재의 노벨러스 시스템 아이엔씨에 의해 제조로부터 그 회사로부터 입수가 가능한 Sabre[®] 전기도금 시스템이다. 부가적으로, 분수 전기도금 시스템들은, 예를 들어, 2001년 8월 10일자로 출원된 미국 특허 제 6,800,187호 [대리인 도켓 NOVLP020] 및 2008년 11월 7일자로 출원된 제 8,308,931호 [대리인 도켓 NOVLP299] 에 설명되어 있으며, 이들은 그 전체가 여기에 참조로서 포함된다.

[0037] 도금될 기관은 일반적으로 평평하거나 실질적으로 평평하다. 여기에 사용된 바와 같이, 트렌치들, 비아들, 포토레지스트 패턴들 등과 같은 피쳐들을 갖는 기관은 실질적으로 평평한 것으로 고려된다. 종종, 이들 피쳐들은 현미경 스케일로 존재하지만, 이것이 반드시 항상 그러한 경우일 필요는 없다. 많은 실시형태들에서, 기관의 표면의 하나 이상의 부분들은 전해질에 대한 노출로부터 마스킹될 수도 있다.

[0038] 도 1b의 다음의 설명은, 여기에 설명된 장치 및 방법들을 이해하는데 도움을 주기 위한 일반적인 비-제한적인 맥락을 제공한다. 도 1b는 반도체 웨이퍼들을 전기화학적으로 처리하기 위한 웨이퍼 홀딩 및 위치결정 장치 (100) 의 사시도를 제공한다. 장치 (100) 는 (여기에 "클램셀" 컴포넌트로서 종종 지칭되는) 웨이퍼 인게이지 컴포넌트들을 포함한다. 실제 클램셀은 컵 (102), 및 압력이 웨이퍼와 씨일 (seal) 사이에 인가될 수 있게 하여, 그에 의해 컵에 웨이퍼를 고정시키는 콘 (103) 을 포함한다.

[0039] 컵 (102) 은 상단 플레이트 (105) 에 접속되는 스트럿 (strut) 들 (104) 에 의해 지지된다. 이러한 어셈블리 (102 내지 105), 집합적으로는 어셈블리 (101) 는 스피들 (106) 을 통해 모터 (107) 에 의하여 구동된다. 모터 (107) 는 탑재 브라켓 (109) 에 부착된다. 스피들 (106) 은 도금 동안 회전을 허용하기 위해 (이러한 도면에 도시되지 않은) 웨이퍼에 토크를 송신한다. 스피들 (106) 내의 에어 실린더 (미도시) 는 또한, 컵 내에하우징된 씨일링 부재 (씨일 (lipseal)) 와 웨이퍼 사이에 씨일을 형성하도록 컵과 콘 (103) 사이에 수직력을 제공한다. 이러한 설명의 목적들을 위해, 컴포넌트들 (102 내지 109) 을 포함하는 어셈블리는 웨이퍼 홀더 (111) 로서 집합적으로 지칭된다. 그러나, "웨이퍼 홀더" 의 개념이 일반적으로, 웨이퍼를 인게이지하고 그의 이동 및 위치결정을 허용하는 컴포넌트들의 다양한 조합들 및 서브-조합들로 확장함을 유의한다.

[0040] 제 2 플레이트 (117) 에 슬라이드가능하게 접속된 제 1 플레이트 (115) 를 포함하는 틸팅 (tilt) 어셈블리는, 탑재 브라켓 (109) 에 접속된다. 구동 실린더 (113) 는 피벗 접합부 (pivot joint) 들 (119 및 121) 에서 플레이트 (115 및 117) 양자에 각각 접속된다. 따라서, 구동 실린더 (113) 는 플레이트 (117) 에 걸쳐 플레이트 (115) (및 그에 따라 웨이퍼 홀더 (111)) 를 슬라이딩시키기 위한 힘을 제공한다. 웨이퍼 홀더 (111) 의 원단 (distal end) (즉, 탑재 브라켓 (109)) 은, 플레이트들 (115 및 117) 사이의 접촉 영역을 정의하는 원호 경로 (미도시) 를 따라 이동되며, 따라서, 웨이퍼 홀더 (111) 의 근단 (proximal end) (즉, 컵 및 콘 어셈블리) 은 가상 피벗 상으로 틸팅된다. 이것은, 도금 베스로의 웨이퍼의 각진 진입을 허용한다.

[0041] 전체 장치 (100) 는 웨이퍼 홀더 (111) 의 근단을 또 다른 액추에이터 (미도시) 를 통해 도금 용액으로 침지시키기 위해 위 또는 아래로 리프트된다. 따라서, 2-컴포넌트 위치결정 메커니즘은, 전해질에 수직인 궤적을 따른 수직 이동, 및 웨이퍼 (각진-웨이퍼 침지 능력) 에 대한 (전해질 표면에 평행한) 수평 배향으로부터의 편차를 허용하는 틸팅 이동 양자를 제공한다. 장치 (100) 의 이동 능력들 및 관련 하드웨어의 더 상세한 설명은,

2001년 5월 31일자로 출원되고 2003년 4월 22일자로 등록된 미국 특허 제 6,551,487호 [대리인 도켓 NOVLP022]에 설명되어 있으며, 그 특허는 그 전체가 여기에 참조로서 포함된다.

- [0042] 장치 (100)는 통상적으로, 애노드 (예를 들어, 구리 애노드 또는 비-금속 비활성 애노드) 및 전해질을하우징하는 도금 챔버를 갖는 특정한 도금 셀과 함께 사용된다. 도금 셀은 또한, 도금 셀을 통해 및 도금될 워크피스에 대해 전해질을 순환하기 위한 배관 (plumbing) 또는 배관 접속들을 포함할 수도 있다. 그것은 또한, 애노드 구획 (compartment) 및 캐소드 구획에 상이한 전해질 케미스트리들을 보유하도록 설계된 멤브레인들 또는 다른 분리기들을 포함할 수도 있다. 물리적 수단 (예를 들어, 밸브들을 포함하는 직접적인 펌핑, 또는 오버플로우 트로트 (trough))에 의해 애노드액을 캐소드액 또는 메인 도금 베스에 전달하는 수단이 또한 선택적으로 공급될 수도 있다.
- [0043] 다음의 설명은 클램셀의 컵 및 콘 어셈블리의 더 많은 세부사항을 제공한다. 도 1c는 단면 포맷으로 콘 (103) 및 컵 (102)을 포함하는 어셈블리 (100)의 부분 (101)을 도시한다. 이러한 도면이 컵 및 콘 제품 어셈블리의 실제 도면이 아니라 설명의 목적을 위한 스타일화된 도면임이 의미된다. 컵 (102)은 스크류들 (108)을 통해 부착된 스트럿들 (104)를 통하여 상단 플레이트 (105)에 의해 지지된다. 일반적으로, 컵 (102)은 웨이퍼 (145)가 상주하는 지지부를 제공한다. 그것은, 도금 셀로부터의 전해질이 웨이퍼와 접촉할 수 있는 개구를 포함한다. 웨이퍼 (145)가, 도금이 발생하는 곳인 전면측 (142)을 가짐을 유의한다. 웨이퍼 (145)의 주변은 컵 (102)상에 상주한다. 콘 (103)은 도금 동안 그것을 적소에 홀딩하기 위해 웨이퍼의 후면측 상에서 아래로 가압된다.
- [0044] 웨이퍼를 (101)로 로딩하기 위해, 콘 (103)은, 콘 (103)이 상단 플레이트 (105)에 터치할 때까지, 스핀들 (106)을 통해 그의 도시된 위치로부터 리프트된다. 이러한 위치로부터, 깎은, 웨이퍼 (145)가 삽입될 수 있고, 그에 따라 컵에 로딩될 수 있는 콘과 컵 사이에 생성된다. 그 후, 콘 (103)은 도시된 바와 같이 컵 (102)의 주변에 대해 웨이퍼를 인게이지하도록 하강되고, 웨이퍼의 외측 주변을 따라 립 씨일 (143)아래에 방사상으로 전기 접촉들의 세트 (도 1c에 도시되지 않음)에 맞물림된다. 스텝 또는 일련의 돌기들이 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (CIRP) 상에서 사용되는 실시형태들에서, 웨이퍼는 CIRP와 웨이퍼 또는 웨이퍼 홀더를 접촉시키는 것을 회피하기 위해 다소 상이하게 삽입될 수도 있다. 이러한 경우, 웨이퍼 홀더는 초기에, 전해질의 표면에 관해 일 각도로 웨이퍼를 삽입할 수도 있다. 다음으로, 웨이퍼 홀더는, 그것이 수평 위치에 있도록 웨이퍼를 회전시킬 수도 있다. 웨이퍼가 회전하는 동안, CIRP가 방해되지 않는 한, 그것은 전해질로 하향으로 계속 이동할 수도 있다. 웨이퍼 삽입의 최종 부분은 웨이퍼를 수직 아래로 삽입하는 것을 포함할 수도 있다. 이러한 수직 아래 이동은, 일단 웨이퍼가 그의 수평 배향에 있다면 (즉, 웨이퍼가 틸트되지 않은 이후) 행해질 수도 있다.
- [0045] 스핀들 (106)은, 콘 (103)이 웨이퍼 (145)에 인게이지하게 하기 위한 수직력 및 어셈블리 (101)를 회전시키기 위한 토크 양자를 송신한다. 이들 송신된 힘들은 도 1c에서 화살표들에 의해 표시된다. (도 1c의 상단의 파선 화살표들에 의해 표시된 바와 같이) 웨이퍼가 회전하는 동안, 웨이퍼 도금이 통상적으로 발생함을 유의한다.
- [0046] 컵 (102)은, 콘 (103)이 웨이퍼 (145)를 인게이지하는 경우 유체 기밀형 씨일 (fluid tight seal)을 형성하는 압축가능한 립 씨일 (143)을 갖는다. 콘 및 웨이퍼로부터의 수직력은 유체 기밀형 씨일을 형성하기 위해 립 씨일 (143)을 압축한다. 립 씨일은 전해질이 (여기서, 구리 또는 주석 이온들과 같은 오염 종들을 직접 실리콘으로 도입할 수 있는) 웨이퍼 (145)의 후면측에 접촉하고 장치 (101)의 민감형 컴포넌트들에 접촉하는 것을 방지한다. 또한, 웨이퍼 (145)의 후면측 (미도시)을 추가적으로 보호하기 위해 유체-기밀형 씨일들을 형성하는 컵과 웨이퍼의 계면 사이에 위치한 씨일들일 수도 있다.
- [0047] 콘 (103)은 또한 씨일 (149)을 포함한다. 도시된 바와 같이, 씨일 (149)은 인게이지된 경우, 콘 (103)의 에지 및 컵의 상부 영역 근처에 위치된다. 이것은 또한, 컵 위로부터 클램셀로 진입할 수도 있는 임의의 전해질로부터 웨이퍼 (145)의 후면측을 보호한다. 씨일 (149)은 콘 또는 컵에 부착될 수도 있고, 단일 씨일 또는 멀티-컴포넌트 시일일 수도 있다.
- [0048] 도금의 개시 시에, 콘 (103)은 컵 (102) 위로 상승되고, 웨이퍼 (145)는 어셈블리 (102)로 도입된다. 통상적으로 로봇 아암에 의해 웨이퍼가 컵 (102)으로 초기에 도입된 경우, 그의 전면측 (142)은 립 씨일 (143)상에 가볍게 상주한다. 도금 동안, 어셈블리 (101)는 균일한 도금을 달성하는 것을 돕기 위해 회전한다. 후속 도면들에서, 어셈블리 (101)는 더 단순화된 형태로, 및 도금 동안 웨이퍼 도금 표면 (142)에서 전해질의 유체 역학을 제어하기 위한 컴포넌트들과 관련하여 도시되어 있다.

- [0049] 도 1d는 웨이퍼 홀더 (101) 에 의해 홀딩, 위치 및 회전되는 웨이퍼 (145) 로 금속을 도금하기 위한 도금 장치 (725) 의 단면도를 도시한다. 장치 (725) 는, 예를 들어, 구리 애노드 (160) 및 애노드액을 갖는 애노드 챔버를 갖춘 듀얼 챔버 셀인 도금 셀 (155) 을 포함한다. 애노드 챔버 및 캐소드 챔버는, 예를 들어, 지지 부재 (735) 에 의해 지지된 양이온 멤브레인 (740) 에 의해 분리된다. 여기에 설명된 바와 같이, 도금 장치 (725) 는 CIRP (410) 를 포함한다. 흐름 전환기 (325) 는 CIRP (41) 의 상단 상에 존재하며, 여기에 설명된 바와 같은 횡단 전단 흐름을 생성하는 것을 돕는다. 캐소드액은 흐름 포트들 (710) 을 통해 (멤브레인 (740) 위의) 캐소드 챔버로 도입된다. 흐름 포트들 (710) 로부터, 캐소드액은 여기에 설명된 바와 같이 CIRP (410) 를 통과하고, 웨이퍼 (145) 의 도금 표면 상으로의 충돌 흐름을 생성한다. 캐소드액 흐름 포트들 (710) 에 부가하여, 부가적인 흐름 포트 (710a) 는 흐름 전환기 (325) 의 갭/유출구에 원단인 위치의 그의 출구에서 캐소드액을 도입한다. 이러한 예에서, 흐름 포트 (710a) 의 출구는 흐름 형성화 플레이트 (410) 내의 채널로서 형성된다. 기능 결과는, 웨이퍼 표면에 걸친 횡단 흐름을 향상시키고, 그에 의해, 웨이퍼 (145) (및 흐름 플레이트 (410)) 에 걸친 흐름 벡터들을 정규화시키기 위해, 캐소드액 흐름이 CIRP (410) 와 웨이퍼 도금 표면 (145) 사이에 형성된 도금 영역으로 직접 도입된다는 것이다.
- [0050] 여기에 기재된 실시형태들을 추가적으로 예시 및 설명하기 위해 다수의 도면들이 제공된다. 다른 것들 중에서, 도면들은 기재된 전기도금 장치와 연관된 구조 엘리먼트들 및 흐름 경로들의 다양한 도면들을 포함한다. 이들 엘리먼트들에는, 도 2 내지 도 19를 설명할 시에 일관적으로 사용되는 특정한 명칭들/참조 번호들이 주어진다. 도 2는 웨이퍼 홀더 (254), 크로스 흐름 한정링 (210), 크로스 흐름 링 캐스킷 (238), 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 를 갖는 채널화된 이온적으로 저항성있는 (CIRP) 플레이트 (206), 및 유동적 조정 로드들 (274) 을 갖는 멤브레인 프레임 (274) 을 포함하는 특정한 실시형태들에 존재하는 수 개의 엘리먼트들을 도입한다. 도 2에서, 이들 엘리먼트들은 이들 피스들이 함께 어떻게 피트 (fit) 되는지를 나타내기 위한 확대도로 제공된다.
- [0051] 다음의 실시형태들은, 대부분의 부분에 대해, 전기도금 장치가 별개의 애노드 챔버를 포함한다고 가정한다. 설명된 피쳐들은 캐소드 챔버에 포함된다. 도 3a, 도 3b 및 도 4에 관해, 캐소드 챔버의 바닥 표면은, 캐소드 챔버로부터 애노드 챔버를 분리시키는 멤브레인 프레임 (274) 및 멤브레인 (202) (즉, 그것이 매우 얇기 때문에, 멤브레인이 도면들에 실제로 도시되지 않았지만, 그의 위치 (202) 는 멤브레인 프레임 (274) 의 하부 표면에 위치되는 것으로 도시되어 있음) 을 포함한다. 임의의 수의 가능한 애노드 및 애노드 챔버 구성들이 이용될 수도 있다.
- [0052] 다음의 설명에서의 대부분의 포커스는 크로스 흐름 매니폴드 또는 매니폴드 영역 (226) 에서 캐소드액을 제어하는 것에 있다. 이러한 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 은 또한, 갭 또는 웨이퍼 갭 (226) 에 대한 CIRP로서 지칭될 수도 있다. 캐소드액은 2개의 별개의 진입 포인트들, (1) 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 내의 채널들 및 (2) 크로스 흐름 개시 구조 (250) 를 통해 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 진입한다. CIRP (206) 내의 채널들을 통해 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 도달하는 캐소드액은, 통상적으로 실질적으로 수직한 방향으로 워크피스의 외관을 향해 지향된다. 그러한 채널-전달된 캐소드액은, 채널화된 플레이트 (206) 에 관해 통상적으로 느리게 (예를 들어, 약 1 내지 30rpm 사이에서) 회전하는 워크피스의 외관에 충돌하는 작은 분사 (jet) 들을 형성할 수도 있다. 대조적으로, 크로스 흐름 개시 구조 (250) 를 통해 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 도달하는 캐소드액은 워크피스의 외관에 실질적으로 평행하게 지향된다.
- [0053] 상기 설명에 표시된 바와 같이, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) (때때로, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트, CIRP, 높은 저항 가상 애노드, 또는 HRVA로서 종종 지칭됨) 는, 웨이퍼 계면의 비교적 근처에서 큰 국부화된 이온 시스템 저항을 나타내고 (및 그에 의해 전기장을 제어 및 향상화하고) 전해질 흐름 특징들을 제어하기 위해, 도금 동안 작동 전극 (웨이퍼 또는 기관) 및 카운터 전극 (애노드) 사이에 위치된다. 여기에서의 다양한 도면들은, 기재된 장치의 다른 구조적 피쳐들에 관해 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 상대적인 위치를 도시한다. 그러한 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 (206) 의 일 예는, 2008년 11월 7일자로 출원된 미국 특허 제 8,308,931호 [대리인 도켓 NOVL299] 에 설명되어 있으며, 그 특허는 그 전체가 여기에 참조로서 이전에 포함되었다. 여기에 설명된 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트는, 비교적 낮은 도전성을 포함하는 것들 또는 매우 얇은 저항성 시드층을 포함하는 것들과 같은 웨이퍼 표면들 상의 방사 도금 균일도를 개선시키는데 적절하다. 많은 실시형태들에서, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트는, 상술된 및 추가적으로 후술되는 바와 같이 스텝 또는 일련의 돌기들을 포함하도록 구성된다.
- [0054] "멤브레인 프레임" (274) (종종, 다른 문헌들에서는 애노드 멤브레인 프레임으로서 지칭됨) 은 캐소드 챔버로부터 애노드 챔버를 분리시키는 멤브레인 (202) 을 지지하기 위해 몇몇 실시형태들에서 이용되는 구조 엘리먼트이다. 그것은 여기에 기재된 특정한 실시형태들에 관한 다른 피쳐들을 가질 수도 있다. 특히, 도면들의 실시형

태들을 참조하면, 그것은, CIRP 매니폴드 (208) 또는 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 전해질을 전달하기 위한 흐름 채널들 (258 또는 262) 을 포함할 수도 있다. 추가적으로, 멤브레인 프레임 (274) 은 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 크로스 유동 전해질을 전달하도록 구성된 샤워헤드 플레이트 (242) 를 포함할 수도 있다. 멤브레인 프레임 (274) 은 또한, 전해질의 최상단 레벨을 결정 및 조절하는데 유용한 셀 독 벽 (cell weir wall) (282) 을 포함할 수도 있다. 여기에서의 다양한 도면들은, 기재된 크로스 흐름 장치와 연관된 다른 구조 피쳐들의 맥락에서 멤브레인 프레임 (274) 을 도시한다.

[0055] 멤브레인 프레임 (274) 은, 캐소드 챔버로부터 애노드 챔버를 분리시키는 것을 담당하는 통상적으로 이온 교환 멤브레인인 멤브레인 (202) 을 홀딩하기 위한 단단한 구조 부재이다. 설명된 바와 같이, 애노드 챔버는 제 1 조성의 전해질을 포함할 수도 있지만, 캐소드 챔버는 제 2 조성의 전해질을 포함한다. 멤브레인 프레임 (274) 은 또한, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 (206) 로의 유동 전달을 제어하는 것을 돕는데 사용될 수도 있는 복수의 유동적 조정 로드 (rod) 들 (270) (종종 흐름 수축 (constricting) 엘리먼트들로서 지칭됨) 을 포함할 수도 있다. 멤브레인 프레임 (274) 은 캐소드 챔버의 최바닥 부분 및 애노드 챔버의 최상단 부분을 정의한다. 설명된 컴포넌트들은 모두 애노드 챔버 및 캐소드 챔버 멤브레인 (202) 위의 전기화학적 도금 셀의 워크피스 측 상에 위치된다. 그들 모두는 캐소드 챔버의 일부인 것으로서 보여질 수 있다. 그러나, 크로스 흐름 주입 장치의 특정한 구현들이 분리된 애노드 챔버를 이용하지 않고 따라서 멤브레인 프레임 (274) 이 본질적인 것이 아님을 이해해야 한다.

[0056] 워크피스와 멤브레인 프레임 (274) 사이에 일반적으로 위치된 것은, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 뿐만 아니라, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 에 각각 부착될 수도 있는 크로스 흐름 링 캐스켓 (238) 및 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 이다. 더 상세하게, 크로스 흐름 링 캐스켓 (238) 은 CIRP (206) 상단에 직접 위치될 수도 있고, 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 은 크로스 흐름 링 캐스켓 (238) 위에 위치되고 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 상단 표면에 부착될 수도 있어서, 캐스켓 (238) 을 효율적으로는 개재 (sandwich) 한다. 여기에서의 다양한 도면들은, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 에 관해 배열된 크로스 흐름 한정링 (210) 을 도시한다. 추가적으로, CIRP (206) 는 추가적으로 후술되는 바와 같이, 스텝 또는 일련의 돌기들을 포함할 수도 있다.

[0057] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 최상단 관련 구조 피쳐는 워크피스 또는 웨이퍼 홀더이다. 특정한 실시형태들에서, 워크피스 홀더는, 램 리처지 코포레이션으로부터의 상술된 Sabre[®] 전기도금 틀에 구현된 설계와 같은 콘 및 컵 클램셀 타입 설계들에서 일반적으로 사용되는 컵 (254) 일 수도 있다. 도 2, 도 8 및 도 8b는, 예를 들어, 장치의 다른 엘리먼트들에 관한 컵 (254) 의 상대적인 배향을 도시한다.

[0058] 도 3a는 여기에 기재된 실시형태에 따른 전기도금 장치의 크로스 흐름 유입구 측의 근접한 단면도를 도시한다. 도 3b는 여기에서의 실시형태에 따른 전기도금 장치의 크로스 흐름 유출구 측의 근접한 단면도를 도시한다. 도 4는 여기에서의 특정한 실시형태들에 따른, 유입구 및 유출구 측들 양자를 도시하는 도금 장치의 단면도를 도시한다. 도금 프로세스 동안, 캐소드액은 멤브레인 프레임 (274) 상의 멤브레인 (202) 의 상단과 멤브레인 프레임 (274) 사이의 영역을 채우고 점유한다. 이러한 캐소드액 영역은, 3개의 서브-영역들로 세분될 수 있다: 1) (애노드 챔버 양이온 멤브레인을 이용하는 설계들을 위해) 분리된-애노드-챔버의 양이온-멤브레인 (202) (이러한 엘리먼트는 또한, 하부 매니폴드 영역 (208) 로서 때때로 지칭됨) 위의 및 CIRP (206) 아래의 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 영역 (208), 2) 웨이퍼와 CIRP (206) 의 상부 표면 사이의 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226), 및 3) 클램셀/컵 (254) 외부 및 셀 독 벽 (282) (때때로, 멤브레인 프레임 (274) 의 물리적 부분인) 내부의 "전해질 격납 영역" 또는 상부 셀 영역. 웨이퍼가 침지되지 않고 클램셀/컵 (254) 이 아래의 위치에 있지 않은 경우, 제 2 영역 및 제 3 영역이 단일 영역으로 결합된다.

[0059] 도 3b는 채널 (262) 을 통해 CIRP 매니폴드 (208) 를 피드하는 단일 유입구 홀의 단면도를 도시한다. 점선은 유체 흐름의 경로를 표시한다.

[0060] 캐소드액은, 셀의 베이스에 위치되고 단일 파이프에 의해 피드될 수도 있는 중앙 캐소드액 유입구 매니폴드 (미도시) 에서 전기도금 셀에 전달될 수도 있다. 이곳으로부터, 캐소드액은 2개의 상이한 흐름 경로들 또는 스트림들로 분리될 수도 있다. 하나의 스트림 (예를 들어, 12개의 피더 홀들 중 6개) 은, CIRP 매니폴드 영역 (208) 으로 채널들 (262) 을 통해 캐소드액을 흐르게 한다. 캐소드액이 CIRP 매니폴드 (208) 로 전달된 이후, 그것은 크로스 흐름 매니폴드 (226) 로 및 CIRP 내의 마이크로채널들을 통해 위로 전달된다. 다른 스트림 (예를 들어, 다른 6개의 피더 홀들) 은 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 로 캐소드액을 흐르게 한다. 이곳으로부터, 전해질은 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 의 (특정한 실시형태들에서 약 100을 초과하는 수일 수도 있는) 분배

홀들 (246) 을 통과한다. 크로스 흐름 샤워헤드 홀들 (246) 을 떠난 이후, 캐소드액의 흐름 방향은 (a) 웨이퍼에 수직인 것으로부터 (b) 웨이퍼에 평행한 것으로 변한다. 흐름 방향에서의 이러한 변화는, 흐름이 크로스 흐름 한정링 (210) 유입구 캐비티 (250) 내의 표면에 충돌하고 그에 의해 한정되는 경우 발생한다. 최종적으로, 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 에 진입할 시에, 중앙 캐소드액 유입구 매니폴드 내의 셀의 베이스에서 초기에 분리되는 2개의 캐소드액 흐름들이 재결합된다.

[0061] 도 3a, 도 3b 및 도 4에 도시된 실시형태들에서, 캐소드 챔버에 진입하는 캐소드액의 일부는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 에 직접 제공되고, 일부는 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 에 직접 제공된다. 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 에 전달된 캐소드액의 (항상 전부는 아니지만 종종) 적어도 일부는, 플레이트 (206) 내의 다양한 마이크로채널들을 통과하고, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 도달한다. 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 내의 채널들을 통해 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 진입하는 캐소드액은, 실질적으로 수직하게 지향된 분사들로서 크로스 흐름 매니폴드에 진입한다 (몇몇 실시형태들에서, 채널들은 일 각도로 제작되어서, 그들이 웨이퍼의 표면에 완전히 수직은 아니며, 예를 들어, 분사의 각도는 웨이퍼 표면 법선에 관해 최대 약 45도까지일 수도 있음). 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 에 진입하는 캐소드액의 일부는 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 직접 전달되며, 여기서, 그것은 웨이퍼 아래의 수평으로 배향된 크로스 흐름으로서 진입한다. 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로의 그의 경로 상에서, 크로스 유동 캐소드액은 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 및 (특정한 실시형태에서, 약 0.048" 의 직경을 갖는 약 139개의 분배 홀들 (246) 을 포함하는) 크로스 흐름 샤워헤드 플레이트 (242) 를 통과하고, 그 후, 크로스 흐름 한정링 (210) 의 진입 캐비티 (250) 의 작동들/지오메트리에 의해 수직으로 상향인 흐름으로부터 웨이퍼 표면에 평행한 흐름으로 재지향된다.

[0062] 크로스 흐름 및 분사들의 절대 각도들은, 정확히 수평 또는 정확히 수직 또는 서로 정확히 90° 로 배향될 필요가 없다. 그러나, 일반적으로, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 내의 캐소드액의 크로스 흐름은 일반적으로 위크피스의 방향을 따르며, 마이크로채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 상단 표면으로부터 방출된 캐소드액의 분사들의 방향은 위크피스의 표면을 향해/표면에 수직하게 일반적으로 흐른다. 웨이퍼 표면 상의 크로스 흐름 및 충돌 흐름의 이러한 혼합은 더 균일한 도금 결과들을 촉진하는데 도움을 준다. 특정한 실시형태들에서, 돌기들은, 그것이 웨이퍼 표면을 향한 방향으로 재지향되도록 유동 전해질을 걸쳐 방해하는 것을 돕는데 사용된다.

[0063] 설명된 바와 같이, 캐소드 챔버에 진입하는 캐소드액은 (i) 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 로부터 CIRP (206) 내의 채널들을 통해 및 그 후 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로 흐르는 캐소드액과, (ii) 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 로, 샤워헤드 (242) 내의 홀들 (246) 을 통해, 및 그 후 크로스 흐름 매니폴드 (226) 로 흐르는 캐소드액 사이에서 분리된다. 크로스 흐름 주입 매니폴드 영역 (222) 으로부터 직접 진입하는 흐름은, 크로스 흐름 측면 유입구들 (250) 로서 종종 지칭되는 크로스 흐름 한정링 입구 포트들을 통해 진입할 수도 있고, 웨이퍼에 평행하게 및 셀의 일 측면으로부터 방출된다. 대조적으로, CIRP (206) 의 마이크로채널들을 통해 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 으로 진입하는 유체의 분사들은, 웨이퍼의 아래 및 크로스 흐름 매니폴드 (226) 아래로부터 진입하고, 분사한 유체는, 웨이퍼에 평행하게, 및 크로스 흐름 유출구 또는 유출구로서 또한 종종 지칭되는 크로스 흐름 한정링 출구 포트 (234) 를 향해 흐르도록 크로스 흐름 매니폴드 (226) 내에서 전환 (재지향) 된다.

[0064] 특정한 실시형태에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) (여기서, 그것은 그 후, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로 전달됨) 로 직접 캐소드액을 전달하기 위한 6개의 별개의 피드 채널들 (258) 이 존재한다. 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에서 크로스 흐름을 달성하기 위해, 이들 채널들 (258) 은 방위각으로 비-균일한 방식으로 크로스 흐름 매니폴드 (226) 로 빠져나간다. 상세하게, 그들은 크로스 흐름 매니폴드 (226) 의 특정한 측면 또는 방위각 영역 (예를 들어, 유입구 측면) 에서 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 진입한다.

[0065] 도 3a에 도시된 특정한 실시형태에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 로 캐소드액을 직접 전달하기 위한 유체 경로들 (258) 은, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 에 도달하기 전에 4개의 별개의 엘리먼트들을 통과한다: (1) 셀의 애노드 챔버 벽 내의 전용 채널들, (2) 멤브레인 프레임 (274) 내의 전용 채널들, (3) 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 (206) 내의 전용 채널들 (이들 전용 채널들은 CIRP 매니폴드 (208) 로부터 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로 캐소드액을 전달하기 위해 사용되는 1-D 마이크로채널들과는 별개임), 및 마지막으로 (4) 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 내의 유체 경로들. 이들 엘리먼트들이 상이하게 구성되는 경우, 캐소드액은 이들 별개의 엘리먼트들 각각을 통해 흐르지 않을 수도 있다.

- [0066] 설명된 바와 같이, 멤브레인 프레임 (274) 을 통과하고 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 를 피드하는 흐름 경로들의 일부들은, 멤브레인 프레임 내의 크로스 흐름 피드 채널들 (258) 로서 지칭된다. 유사하게, 멤브레인 프레임 (274) 을 통과하고 CIRP 매니폴드를 피드하는 흐름 경로들의 일부는, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 또는 CIRP 매니폴드 피드 채널들 (262) 를 피드하는 크로스 흐름 피드 채널들 (262) 로서 지칭된다. 즉, "크로스 흐름 피드 채널" 이라는 용어는, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 를 피드하는 캐소드액 피드 채널들 (258) 및 CIRP 매니폴드 (208) 를 피드하는 캐소드액 피드 채널들 (262) 양자를 포함한다. 이들 흐름들 (258 및 262) 사이의 하나의 차이는 상술되었다: CIRP (206) 를 통한 흐름의 방향은 초기에 웨이퍼로 지향되고, 그 후, 웨이퍼 및 크로스 흐름 매니폴드 내의 크로스 흐름의 존재로 인해 웨이퍼에 평행하게 턴 (turn) 되지만, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 로부터 및 크로스 흐름 한정링 진입 포트들 (250) 을 통해 외부로 도래하는 크로스 흐름 부분은, 크로스 흐름 매니폴드에서 웨이퍼에 실질적으로 평행하게 시작한다. 임의의 특정한 모델 또는 이론으로 유지되기를 원하지는 않지만, 충돌 및 평행 흐름의 이러한 결합 및 혼합은, 리세스된/삽입된 피쳐 내의 실질적으로 개선된 흐름 관통을 용이하게 하고, 그에 의해, 대량 전달을 개선시키는 것으로 믿어진다. CIRP 표면 상으로의 일련의 돌기들의 포함은 그러한 혼합을 추가적으로 향상시킬 수 있다. 웨이퍼 아래의 공간적으로 균일한 대류 흐름 필드를 생성하고 웨이퍼를 회전시킴으로써, 각각의 피쳐 및 각각의 다이는 회전 및 도금 프로세스의 과정에 걸쳐 거의 동일한 흐름 패턴을 나타낸다.
- [0067] 크로스 유동 전해질을 전달하기 위한 흐름 경로는, 그것이 플레이트 (206) 내의 크로스 흐름 피드 채널 (258) 을 통과하는 경우 수직 상향 방향에서 시작한다. 다음으로, 이러한 흐름 경로는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 몸체 내에 형성된 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 에 진입한다. 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 는, 다양한 개별적인 피드 채널들 (258) 로부터 (예를 들어, 6개의 개별적인 크로스 흐름 피드 채널들 각각으로부터) 크로스 흐름 샤워헤드 플레이트 (242) 의 다양한 다수의 흐름 분배 홀들 (246) 으로 유체를 분배할 수 있는 플레이트 (206) 내의 딥 아웃 (dig out) 채널일 수도 있는 방위각 캐비티이다. 이러한 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 주변 또는 에지 영역의 각진 섹션을 따라 위치된다. 예를 들어, 도 3a 및 도 4 내지 도 6을 참조한다. 도 3a 및 도 4가 위에 도입되었다. 도 5는 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 위에 위치한 샤워헤드 플레이트 (242) 를 도시한다. 도 6은, 도금 장치의 다양한 다른 엘리먼트들의 맥락에서 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 위의 샤워헤드 플레이트 (242) 를 유사하게 도시한다.
- [0068] 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 는 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이, 플레이트의 주변 영역의 약 90 내지 180° 의 각도에 걸친 C-형상 구조를 형성한다. 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 의 각도는 약 120 내지 170° 이고, 더 특정한 실시형태들에서는 약 140 내지 150° 사이에 있다. 이들 또는 다른 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 의 각도는 적어도 약 90° 이다. 많은 구현들에서, 샤워헤드 (242) 는 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 와 대략적으로 동일한 각도로 퍼져있다. 추가적으로, (많은 경우들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222), 샤워헤드 플레이트 (242), 샤워헤드 홀들 (246), 및 크로스 흐름 한정링 (210) 내의 개구들 중 하나 이상을 포함하는) 전체 유입구 구조 (250) 는 이들 동일한 각도들로 퍼져있다.
- [0069] 몇몇 실시형태들에서, 주입 매니폴드 (222) 내의 크로스 흐름은 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 내에서 연속적으로 유동적으로 커플링된 캐비티를 형성한다. 이러한 경우, 크로스 흐름 주입 매니폴드를 피드하는 크로스 흐름 피드 채널들 (258) 모두는 하나의 연속적인 및 접속된 크로스 흐름 주입 매니폴드 챔버로 빠져나온다. 다른 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 및/또는 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 는 (6개의 분리된 세그먼트들을 도시하는) 도 5에 도시된 바와 같이, 2개 이상의 각으로 별개이고 완전히 또는 부분적으로 분리된 세그먼트들로 분리된다. 몇몇 실시형태들에서, 각으로 분리된 세그먼트들의 수는 약 1 내지 12 사이이거나 약 4 내지 6 사이이다. 특정한 실시형태에서, 이들 각으로 별개인 세그먼트들의 각각은 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 에 배치된 별개의 크로스 흐름 피드 채널 (258) 에 유동적으로 커플링된다. 따라서, 예를 들어, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 내에 6개의 각으로 별개이고 분리된 서브영역들이 존재할 수도 있으며, 각각은 별개의 크로스 흐름 피드 채널 (258) 에 의해 피드된다. 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 의 이들 별개의 서브영역들의 각각은 동일한 체적 및/또는 동일한 각도를 갖는다.
- [0070] 많은 경우들에서, 캐소드액은 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 를 빠져나가고, 많은 각으로 분리된 캐소드액 유출구 포트들 (홀들) (246) 을 갖는 크로스 흐름 샤워헤드 플레이트 (242) 를 통과한다. 예를 들어, 도 2, 도 3a 및 도 6을 참조한다 (캐소드액 유출구 포트들/홀들 (246) 은 모든 도면들에 도시되지는 않음). 특정한 실시

형태들에서, 크로스 흐름 샤워헤드 플레이트 (242) 는, 예를 들어, 도 6에 도시된 바와 같이, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 로 통합된다. 몇몇 실시형태들에서, 샤워헤드 플레이트 (242) 는, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 의 상단에 접촉되거나, 볼트로 조여지거나, 그렇지 않으면 부착된다. 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 의 상단 표면은, (CIRP (206) 상의 임의의 스텝 또는 돌기들을 배제하는) 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 평면 또는 상단 표면과 수평 (flush) 이거나 위로 약간 상승된다. 이러한 방식으로, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 를 통해 흐르는 캐소드액은 초기에, 샤워헤드 홀들 (246) 을 통해 수직 방향으로 이동할 수도 있고, 그 후, 크로스 흐름 한정링 (210) 하에서 및 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로 측방향으로 이동될 수도 있어서, 웨이퍼의 표면과 실질적으로 평행한 방향으로 캐소드액이 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에 진입하게 한다. 다른 실시형태들에서, 샤워헤드 (242) 는, 샤워헤드 홀들 (246) 을 빠져나가는 캐소드액이 웨이퍼-평행 방향으로 이미 이동하고 있도록 배향될 수도 있다.

[0071] 특정한 실시형태에서, 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 는 약 140개의 각으로 분리된 캐소드액 유출구 홀들 (246) 을 갖는다. 더 일반적으로, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 내에서 균일한 크로스 흐름을 합당하게 설정하는 임의의 수의 홀들이 이용될 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 내에 약 50 내지 300 개 사이의 그러한 캐소드 유출구 홀들 (246) 이 존재한다. 특정한 실시형태들에서, 약 100 내지 200개의 그러한 홀들이 존재한다. 특정한 실시형태들에서, 약 120 내지 160개의 그러한 홀들이 존재한다. 일반적으로, 개별 포트들 또는 홀들 (246) 은 직경이 약 0.020 내지 0.10 인치들, 더 상세하게는 약 0.03 내지 0.06 인치들의 범위에 있을 수 있다.

[0072] 특정한 실시형태들에서, 이들 홀들 (246) 은 각으로 균일한 방식으로 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 의 전체 각도를 따라 배치된다 (즉, 홀들 (246) 사이의 공간은 셀 중앙과 2개의 인접한 홀들 사이의 고정각에 의해 결정됨). 다른 실시형태들에서, 홀들 (246) 은 각으로 비균일한 방식으로 각도를 따라 분배된다. 특정한 실시형태들에서, 그럼에도 불구하고, 각으로 비균일한 홀 분포는 선형 ("x-방향") 의 균일한 분포이다. 다른 방식으로, 후자의 경우에서, 홀 분포는, 크로스 흐름의 방향에 수직한 축 (이러한 축은 "x" 방향임) 상으로 투영 (project) 되면 홀들이 동등하게 이격되도록 한다. 각각의 홀 (246) 은 셀 중앙으로부터 동일한 방사 거리에 위치되고, 인접한 홀들로부터 "x" 방향으로 동일한 거리만큼 이격된다. 이들 각으로 비균일한 홀들 (246) 을 갖는 순 (net) 효과는, 전체 크로스 흐름 패턴이 훨씬 더 균일하다는 것이다. 대조적으로, 홀들이 각으로 균일한 방식으로 이격되는 경우, 예지 영역들이 균일한 크로스 흐름에 대해 필요한 것보다 더 많은 홀들을 가질 것이므로, 기관의 중앙 부분 위의 크로스 흐름은 예지 영역들 위의 크로스 흐름보다 더 낮을 것이다.

[0073] 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 를 빠져나가는 캐소드액의 방향은, 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 에 의해 추가적으로 제어된다. 특정한 실시형태들에서, 이러한 링 (210) 은 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 의 완전한 원주 위에 연장한다. 특정한 실시형태들에서, 도 3a, 도 3b 및 도 4에 도시된 바와 같이, 크로스 흐름 한정링 (210) 의 단면은 L-형상을 갖는다. 이러한 형상은 기관 홀더/컵 (254) 의 바닥 표면에 매칭하도록 선택될 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 은, 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 의 유출구 홀들 (246) 과 유체 연통하는 지향성 핀들 (266) 과 같은 일련의 흐름 지향 엘리먼트들을 포함한다. 핀들 (266) 은 도 7에 명확히 도시되어 있지만, 도 3a 및 도 4에서 또한 관측될 수 있다. 지향성 핀들 (266) 은, 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 의 상부 표면 아래 및 인접한 지향성 핀들 (266) 사이에서 매우 격리된 유체 통로들을 정의한다. 몇몇 경우들에서, 핀들 (266) 의 목적은, 크로스 흐름 샤워헤드 홀들 (246) 로부터 빠져나오는 흐름을, 그렇지 않으면 방사상 내측 방향으로부터 "좌측-우측" 흐름 궤적 (좌측은 크로스 흐름의 유입구 측 (250) 이고, 우측은 유출구 측 (234) 임) 으로 재지향 및 한정하는 것이다. 이것은, 흐름 패턴에 걸쳐 실질적으로 선형을 달성하는 것을 돕는다. 크로스 흐름 샤워헤드 (242) 의 홀들 (246) 을 빠져나가는 캐소드액은, 지향 핀들 (266) 의 배향에 의해 초래되는 흐름 스트림라인을 따라 지향 핀들 (266) 에 의해 지향된다. 특정한 실시형태들에서, 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 의 모든 지향 핀들 (266) 은 서로 평행하다. 이러한 평행 배열은, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 내에서 균일한 크로스 흐름 방향을 달성하는 것을 돕는다. 다양한 실시형태들에서, 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 의 지향 핀들 (266) 은 크로스 흐름 매니폴드 (226) 의 유입구 (250) 및 유출구 (234) 측 양자를 따라 배치된다. 다른 경우, 핀들 (266) 은 크로스 흐름 매니폴드 (226) 의 유입구 영역을 따라서만 배치될 수도 있다.

[0074] 표시된 바와 같이, 도 3b 및 도 4에 도시된 바와 같이, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 에서 흐르는 캐소드액은 웨이퍼 크로스 흐름 한정링 (210) 의 유입구 영역 (250) 으로부터 링 (210) 의 유출구 측 (234) 으로 전달된다. 유출구 측 (234) 에서, 특정한 실시형태들에서, 유입구 측 상의 지향 핀들 (266) 에 평행할 수도 있고 그 핀들

과 정렬될 수도 있는 다수의 지향 핀들 (266) 이 존재한다. 크로스 흐름은 유출구 측 (234) 상의 지향 핀들 (266) 에 의해 생성된 채널들을 통해 및 그 후, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 바깥으로 전달된다. 그 후, 흐름은, 일반적으로 방사상 외측의 캐소드 챔버의 다른 영역으로 및 웨이퍼 홀더 (254) 및 크로스 흐름 한정링 (210) 위에서 전달되며, 유체는, 수집 및 재순환을 위해 덕 (282) 위에서 흐르기 전에, 멤브레인 프레임의 상부 덕 벽 (282) 에 의해 수집되고 임시적으로 보유된다. 따라서, 도면들 (예를 들어, 도 3a, 도 3b 및 도 4) 이 크로스 흐름 매니폴드에 진입하고 빠져나오는 캐소드액의 전체 회로의 부분적인 경로만을 도시함을 이해해야 한다. 도 3b 및 도 4에 도시된 실시형태에서, 예를 들어, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로부터 빠져나오는 유체가 작은 홀들을 통과하거나 유입구 측 상의 피드 채널들 (258) 과 유사한 채널들을 다시 통과하는 것이 아니라, 오히려, 그것이 전술된 누산 영역에 누산되는 경우 일반적으로 웨이퍼에 평행한 방향에서 외측으로 전달됨을 유의한다.

[0075] 도 6의 실시형태를 참조하면, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로 보여지는 상면도가 도시되어 있다. 이러한 도면은, 샤워헤드 (242) 와 함께 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 내의 삽입된 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 의 위치를 도시한다. 샤워헤드 (242) 상의 유출구 홀들 (246) 이 도시되지 않았지만, 그러한 유출구 홀들이 존재함을 이해한다. 크로스 흐름 주입 매니폴드 흐름에 대한 유동적 조정 로드들 (270) 이 또한 도시되어 있다. 크로스 흐름 한정링 (210) 은 이러한 도면에는 인스톨되지 않았지만, 크로스 흐름 한정링 (210) 과 CIRP (206) 의 상부 표면 사이에서 씨일링하는 크로스 흐름 한정링 씨일링 캐스킷 (238) 의 요약이 도시되어 있다. 도 6에 도시된 다른 엘리먼트들은, (예를 들어, 캐소드 셸드 삽입을 위해 사용될 수도 있는) CIRP (206) 의 애노드 측 상에 크로스 흐름 한정링 조임기 (218), 멤브레인 프레임 (274), 및 스크류 홀들 (278) 을 포함한다.

[0076] 몇몇 실시형태들에서, 크로스 흐름 한정링 유출구 (234) 의 지오메트리가 크로스 흐름 패턴을 추가적으로 최적화시키기 위해 튜닝될 수도 있다. 예를 들어, 크로스 흐름 패턴이 한정링 (210) 의 에지로 분기하는 경우에는, 크로스 흐름 한정링 유출구 (234) 의 외측 영역들 내의 개방 영역을 감소시킴으로써 정정될 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 유출구 매니폴드 (234) 는 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 와 매우 유사한 분리된 섹션들 또는 포트들을 포함할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 유출구 섹션들의 수는 약 1 내지 12 사이 또는 약 4 내지 6 사이이다. 포트들은 방위각으로 분리되어, 유출구 매니폴드 (234) 을 따라 상이한 (일반적으로 인접한) 위치들을 점유한다. 포트들 각각을 통한 상대적인 유동율은 몇몇 경우들에서 독립적으로 제어될 수도 있다. 이러한 제어는, 예를 들어, 유입구 흐름에 관련하여 설명된 제어 로드들에 유사한 제어 로드들 (270) 을 사용함으로써 달성될 수도 있다. 다른 실시형태에서, 유출구의 상이한 섹션들을 통한 흐름은 유출구 매니폴드의 지오메트리에 의해 제어될 수 있다. 예를 들어, 각각의 측면 에지 근처의 덜 개방된 영역 및 중앙 근처의 더 많이 개방된 영역을 갖는 유출구 매니폴드는, 용액 흐름 패턴을 초래할 것이며, 여기서, 더 많은 흐름이 유출구의 중앙 근처에 존재하고, 더 적은 흐름이 유출구의 에지 근처에 존재한다. 유출구 매니폴드 (234) 내의 포트들을 통해 상대적인 유동율을 제어하는 다른 방법들 (예를 들어, 펌프들, 프로세스 제어 밸브들 등) 이 또한 사용될 수도 있다.

[0077] 설명된 바와 같이, 캐소드액 챔버에 진입하는 벌크 캐소드액은, 다수의 채널들 (258 및 262) 을 통해 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 및 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 로 별개로 지향된다. 특정한 실시형태들에서, 이들 개별적인 채널들 (258 및 262) 을 통한 흐름들은, 적절한 메커니즘에 의해 서로 독립적으로 제어된다. 몇몇 실시형태들에서, 이러한 메커니즘은 유체를 개별 채널들로 전달하기 위한 별개의 펌프들을 수반한다. 다른 실시형태들에서, 단일 펌프는 메인 캐소드액 매니폴드를 피드하는데 사용되며, 조정가능한 다양한 흐름 제한 엘리먼트들은, 다양한 채널들 (258 및 262) 사이 및 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 와 CIRP 매니폴드 (208) 영역들 사이의 및/또는 셸의 각진 주변을 따른 상대적인 흐름들을 조절하기 위해 채널들 중 하나 이상에서 제공될 수도 있다. 도면들에 도시된 다양한 실시형태들에서, 하나 이상의 유동적 조정 로드들 (270) (중중 흐름 제어 엘리먼트들로서 또한 지칭됨) 은 독립적인 제어가 제공되는 채널들에 배치된다. 도시된 실시형태들에서, 유동적 조정 로드 (270) 는, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 또는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 을 향한 그의 흐름 동안 캐소드액이 수축되는 각진 공간을 제공한다. 완전히 움츠러든 (retract) 상태에서, 유동적 조정 로드 (270) 는 흐름에 대한 무저항을 본질적으로 제공한다. 완전히 인게이지된 상태에서, 유동 조정 로드 (270) 는 흐름에 대한 최대 저항을 제공하며, 몇몇 구현들에서는 채널을 통한 모든 흐름을 중지한다. 중간 상태들 또는 위치들에서, 로드 (270) 는, 유체가 채널의 내부 직경과 유체 조정 로드의 외측 직경 사이의 제한된 환형 공간을 통해 흐를 경우, 흐름의 수축의 중간 레벨들을 허용한다.

- [0078] 몇몇 실시형태들에서, 유동 조정 로드들 (270) 의 조정은, 전기도금 셀의 오퍼레이터 또는 제어기가 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 또는 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 매니폴드 (208) 중 어느 하나의 흐름을 선호하게 한다. 특정한 실시형태들에서, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 로 직접 캐소드액을 전달하는 채널들 (258) 내의 유동 조정 로드들 (270) 의 독립적인 조정은, 오퍼레이터 또는 제어기가 크로스 흐름 매니폴드 (226) 로의 유체 흐름의 방위각 컴포넌트를 제어하게 한다.
- [0079] 도 8a-8b는 도금 컵 (254) 에 대한 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 및 대응하는 크로스 흐름 유입구 (250) 의 단면도들을 도시한다. 크로스 흐름 유입구 (250) 는, 크로스 흐름 한정링 (210) 의 위치에 의해 적어도 부분적으로 정의된다. 상세하게, 유입구 (250) 는, 크로스 흐름 한정링 (210) 이 종료하는 경우 시작하는 것으로 고려될 수도 있다. 도 8a에서, 한정링 (210) 종료 포인트 (및 유입구 (250) 시작 포인트) 는 웨이퍼의 에지 아래에 있지만, 도 8b에서, 종료/시작 포인트는 도 8a의 설계와 비교하여, 도금 컵 아래 및 웨이퍼 에지로부터 추가적으로 방사상 외측에 있다. 또한, 도 8a의 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 는, 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 으로의 유체 진입의 그 포인트 근처에서 몇몇 난류를 형성할 수도 있는 (여기서, 일반적으로 좌측 화살표는 상향 상승을 시작함) 크로스 흐름 링 캐비티 내에 스텝을 갖는다. 특정한 경우들에서, 웨이퍼 에지 근방의 유체 궤적들의 연장을 최소화하며, 도금 용액이 크로스 흐름 주입 매니폴드 영역 (222) 로부터 천이하고, 웨이퍼 표면에 걸쳐 흐르기 전에 더 균일하게 될 용액 흐름에 대한 몇몇 거리 (예를 들어, 약 10 내지 15mm) 를 제공함으로써, 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 에 진입하게 하는 것이 유리할 수도 있다.
- [0080] 도 9는 도금 장치의 유입구 부분의 근접도를 제공한다. 이러한 도면은, 특정한 엘리먼트들의 상대적인 지오메트리들을 도시하도록 제공된다. 거리 (a) 는 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 의 높이를 나타낸다. 이것은, (기판이 놓이는) 웨이퍼 홀더의 상단과 CIRP (206) 의 최상단 표면의 평면 사이의 거리이다. 여기에 정의된 바와 같이, 도 9의 CIRP (206) 가 스텝 또는 돌기들을 포함하지 않기 때문에, CIRP (206) 의 최상단 표면은 또한 CIRP 평면이다. 특정한 실시형태들에서, 이러한 거리는 약 2 내지 10mm 사이, 예를 들어, 약 4.75mm이다. 거리 (b) 는 노출된 웨이퍼 표면과 웨이퍼 홀더의 최바닥 표면 (웨이퍼 홀딩 컵의 바닥 표면) 사이의 거리를 나타낸다. 특정한 실시형태들에서, 이러한 거리는 약 1 내지 4mm 사이, 예를 들어, 약 1.75mm이다. 거리 (c) 는 크로스 흐름 한정링 (210) 의 상단 표면과 컵 (254) 의 바닥 표면 사이의 유체 갭의 높이를 나타낸다. 한정링 (210) 과 컵 (254) 의 바닥 사이의 이러한 갭은, 컵 (254) 이 도금 동안 회전하게 할 공간을 제공하고, 통상적으로, 유체가 그 갭 바깥으로 누설하는 것을 방지할만큼 가능한 작아서, 그에 의해 그것을 크로스 흐름 매니폴드 영역 (226) 내에 한정한다. 몇몇 실시형태들에서, 유체 갭은 높이가 약 0.5mm 이다. 거리 (d) 는, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 로 크로스 유동 캐소드액을 전달하기 위한 유체 채널의 높이를 나타낸다. 거리 (d) 는 크로스 흐름 한정링 (210) 의 높이를 포함한다. 특정한 실시형태들에서, 거리 (d) 는 약 1 내지 4mm 사이, 예를 들어, 약 2.5mm이다. 또한, 도 9에 도시된 것은, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222), 분배 홀들 (246) 을 갖는 샤워헤드 플레이트 (242), 및 크로스 흐름 한정링 (210) 에 부착된 지향 핀들 (266) 중 하나이다.
- [0081] 기재된 장치는 여기에 설명된 방법들을 수행하도록 구성될 수도 있다. 적절한 장치는, 여기에 설명되고 도시된 하드웨어, 및 본 발명에 따른 프로세스 동작들을 제어하기 위한 명령들을 갖는 하나 이상의 제어기들을 포함한다. 장치는, 그 중에서도 특히, 컵 (254) 및 콘에서의 웨이퍼의 위치결정, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (206) 에 관한 웨이퍼의 위치결정, 웨이퍼의 회전, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 으로의 캐소드액의 전달, CIRP 매니폴드 (208) 로의 캐소드액의 전달, 크로스 흐름 주입 매니폴드 (222) 로의 캐소드액의 전달, 유동적 조정 로드들 (270) 의 저항/위치, 애노드 및 웨이퍼 및 임의의 다른 전극들로의 전류의 전달, 전해질 컴포넌트들의 혼합, 전해질 전달의 타이밍, 유입구 압력, 도금 셀 압력, 도금 셀 온도, 웨이퍼 온도, 및 프로세스 톨에 의해 수행된 특정한 프로세스의 다른 파라미터들을 제어하기 위한 하나 이상의 제어기들을 포함할 것이다.
- [0082] 시스템 제어기는 통상적으로, 하나 이상의 메모리 디바이스들, 및 장치가 본 발명에 따른 방법을 수행하기 위해 명령들을 실행하도록 구성된 하나 이상의 프로세서들을 포함할 것이다. 프로세서는 중앙 프로세싱 유닛 (CPU) 또는 컴퓨터, 아날로그 및/또는 디지털 입력/출력 접속들, 스테퍼 모터 제어기 보드들, 및 다른 유사한 컴포넌트들을 포함할 수도 있다. 본 발명에 따른 프로세스 동작들을 제어하기 위한 명령들을 포함하는 머신-판독가능 매체는 시스템 제어기에 커플링될 수도 있다. 적절한 제어 동작들을 구현하기 위한 명령들은 프로세서 상에서 실행된다. 이들 명령들은, 제어기와 연관된 메모리 디바이스들 상에 저장될 수도 있거나, 그들은 네트워크를 통해 제공될 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 시스템 제어기는 시스템 제어 소프트웨어를 실행한다.
- [0083] 시스템 제어 소프트웨어는 임의의 적절한 방식으로 구성될 수도 있다. 예를 들어, 다양한 프로세스 톨 컴포넌트 서브루틴들 또는 제어 오브젝트들은 다양한 프로세스 톨 프로세스들을 수행하기에 필요한 프로세스 톨 컴포넌트들의 동작을 제어하도록 기입될 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어는 임의의 적절한 컴퓨터 판독가능 프

로그래밍 언어로 코딩될 수도 있다.

- [0084] 몇몇 실시형태들에서, 시스템 제어 소프트웨어는 상술된 다양한 파라미터들을 제어하기 위한 명령들을 시퀀싱하는 입력/출력 제어 (IOC) 를 포함한다. 예를 들어, 전기도금 프로세스의 각각의 위상은 시스템 제어기에 의한 실행을 위한 하나 이상의 명령들을 포함할 수도 있다. 침지 프로세스 페이즈에 대한 프로세스 조건들을 셋팅하기 위한 명령들은 대응하는 침지 레시피 페이즈에 포함된다. 몇몇 실시형태들에서, 전기도금 레시피 페이즈들은 순차적으로 배열되므로, 전기도금 프로세스 페이즈에 대한 모든 명령들은 그 프로세스 페이즈와 동시에 실행된다.
- [0085] 다른 컴퓨터 소프트웨어 및/또는 프로그램들이 몇몇 실시형태들에서 이용될 수도 있다. 이러한 목적을 위한 프로그램들 또는 프로그램들의 섹션들의 예들은, 기관 위치결정 프로그램, 전해질 조성 제어 프로그램, 압력 제어 프로그램, 히터 제어 프로그램, 및 전위/전류 전력 공급 제어 프로그램을 포함한다.
- [0086] 몇몇 경우들에서, 제어기는 다음의 기능들 중 하나 이상을 제어한다: 웨이퍼 침지 (변환, 틸트, 회전), 탱크들 사이의 유체 전달 등. 웨이퍼 침지는, 예를 들어, 원하는 바와 같이 이동하기 위해 웨이퍼 리프트 어셈블리, 웨이퍼 틸트 어셈블리 및 웨이퍼 회전 어셈블리에 의해 제어될 수도 있다. 제어기는, 예를 들어, 특정한 밸브들이 개방 또는 폐쇄되고 특정한 펌프들이 턴 온 및 오프하도록 지시함으로써 탱크들 사이의 유체 전달을 제어할 수도 있다. 제어기들은, (예를 들어, 전류, 전류 밀도, 전위, 압력 등이 특정한 임계치에 도달하는 경우) 센서 출력, 동작의 타이밍 (예를 들어, 프로세스의 특정한 시간들에서 밸브들을 개방) 또는 사용자로부터의 수신 명령들에 기초하여 이들 양태들을 제어할 수도 있다.
- [0087] 상술된 장치/프로세스는, 예를 들어, 반도체 디바이스들, 디스플레이들, LED들, 광전지 패널들 등의 제작 또는 제조를 위한 리토그래픽 패터닝 툴들 또는 프로세스들과 함께 사용될 수도 있다. 필수적이지는 않지만 통상적으로, 이러한 툴들/프로세스들은 일반적인 제조 설비에서 함께 사용되거나 수행될 것이다. 막의 리토그래피 패터닝은 통상적으로 다음의 단계들 중 일부 또는 전부를 포함하며, 각각의 단계는 다수의 가능한 툴들을 이용하여 가능하게 된다: (1) 스피ن-온 (spin-on) 또는 스프레이-온 (spray-on) 툴을 사용하여 워크피스, 즉 기관 상에 포토레지스트의 인가; (2) 핫 플레이트 또는 용광로 (furnace) 또는 UV 경화 툴을 사용하여 포토레지스트의 경화; (3) 웨이퍼 스테퍼와 같은 툴로 가서, UV, 또는 x-레이 광에 포토레지스트를 노출시킴; (4) 레지스트를 선택적으로 제거하고, 그에 의해, 습식 벤치와 같은 툴을 사용하여 그것을 패터닝하기 위해 레지스트를 현상함; (5) 건식 또는 플라즈마-보조 에칭 툴을 사용함으로써 레지스트 패턴을 하부 막 또는 워크피스에 전사; 및 (6) RF 또는 마이크로웨이브 플라즈마 레지스트 스트리퍼와 같은 툴을 사용하여 레지스트를 제거.
- [0088] **채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 특성들**
- [0089] 전기적 기능
- [0090] 특정한 실시형태들에서, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트는, 기관 (캐소드) 근방에서 거의 일정하고 균일한 전류 소스를 근사 (approximate) 하며, 그로써, 몇몇 맥락들에서 높은 저항 가상 애노드 (HRVA) 로서 지칭될 수도 있다. 일반적으로, CIRP는 웨이퍼에 관해 근방에 위치된다. 대조적으로, 기관의 동일한 근접한 애노드는 웨이퍼로 및 웨이퍼에 걸쳐 거의 일정한 전류 밀도를 공급하기에 상당히 덜 적당할 것이지만, 애노드 금속 표면에서 일정한 전위 평면만을 지지할 것이며, 그에 의해, 애노드 평면으로부터 종단까지의 (예를 들어, 웨이퍼 상의 주변 접촉 포인트들까지의) 순 저항이 더 작은 경우 전류가 가장 크게 한다. 그러므로, 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트가 종종 높은-저항 가상 애노드 (HRVA) 로서 지칭되지만, 이것은 2개가 전기화학적으로 상호교환가능하다는 것을 암시하지는 않는다. 최상의 동작 조건들 하에서, CIRP는 가상의 균일한 전류 소스를 더 근접하게 근사하고 가상의 균일한 전류 소스로서 아마도 더 양호하게 설명될 것이며, 거의 일정한 전류는 CIRP의 상부 평면에 걸쳐 소싱 (source) 된다. CIRP가 확실히 "가상 전류 소스" 로서 부인가능한 경우, 즉, 그것이 애노드 전류가 발산하는 위치 또는 소스로서 부인될 수 있기 때문에, 그것이 전류가 발산하는 평면이고, 따라서 "가상 애노드" 로 고려될 수 있는 경우, 동일한 물리적 위치에 위치된 금속 애노드를 갖는 것과 비교한 경우에, 그것은, 추가적으로 유리하고 일반적으로 우월한 웨이퍼 균일도로 및 그의 외관에 걸쳐 거의 균일한 전류를 유도하는 (CIRP 외부 영역들에 관해 및 전해질에 관해) CIRP의 비교적 높은-이온-저항이다. 이온 전류 흐름에 대한 플레이트의 저항은, (전해질의 동일한 또는 거의 유사한 저항을 향상은 아니지만 종종 갖는) 플레이트의 다양한 채널들 내에 포함된 전해질의 증가한 특정한 저항, 증가된 플레이트 두께, 및 감소된 다공성 (예를 들어, 동일한 직경의 더 작은 홀들, 또는 더 작은 직경들을 갖는 동일한 수의 홀들 등을 가짐으로써 전류 통로에 대한 덜 부분적인 단면적) 에 따라 증가한다.

[0091] CIRP는 두께가 약 2 내지 25mm 사이, 예를 들어, 두께가 12mm일 수도 있다. 모두는 아니지만 많은 구현들에서, CIRP는, CIRP의 체적의 약 5퍼센트 미만을 나타내는 매우 큰 수의 마이크로 사이즈 (통상적으로 0.04" 미만) 스루-홀들을 포함하며, 상기 스루-홀들은, 그들이 CIRP의 몸체 내에서 상호접속 채널들을 형성하지 않도록 서로 공간적으로 및 이온적으로 격리된다. 그러한 스루-홀들은 "비-연통 스루-홀들" 로서 종종 지칭된다. 그들은 통상적으로, 웨이퍼의 도금된 표면에 반드시는 아니지만 종종 수직인 일 방향 또는 치수로 연장한다 (몇몇 실시 형태들에서, 비-연통 홀들은, CIRP 전면 표면에 일반적으로 평행한 웨이퍼에 관해 일 각도에 있음). 종종 스루-홀들 모두는 서로에 대해 실질적으로 평행하다. 몇몇 실시형태에서, CIRP 플레이트의 두께는 균일하지 않다. CIRP 플레이트는 그의 중앙보다 에지에서 더 두꺼울 수도 있거나, 그 역도 가능할 수도 있다. 웨이퍼로부터 더 떨어진 CIRP의 표면은, 플레이트의 로컬 유체 및 이온 흐름 저항에 맞춤화하도록 형상화될 수도 있다. 홀들은 종종 사각 어레이로 배열되지만, 공간적으로 평균적인 균일한 밀도 또는 홀들에 유도하는 다른 배열들이 또한 가능하다. 물론, 예를 들어, CIRP 중앙으로부터 에지로의 간격 증가 (또는 감소)를 갖고, 그에 의해, CIRP의 중앙으로부터의 거리로 저항을 증가 (또는 감소) 시킴으로써, 홀들의 밀도가 또한 변경될 수 있다. 다른 시간들에서, 레이아웃이 오프셋 나선 패턴에 존재한다. 스루-홀들이 내부의 표면에 평행한 유체 흐름 및 이온 전류 흐름 양자를 재구성하고, 웨이퍼 표면을 향해 전류 및 유체 흐름의 경로를 직선화하기 때문에, 이들 스루-홀들은 3-D 다공성 네트워크들과는 별개이며, 여기서, 채널들은 3차원으로 연장하고, 상호접속 공극 구조들을 형성한다. 그러나, 특정한 실시형태들에서, 공극들의 상호접속된 네트워크를 갖는 그러한 다공성 플레이트는 CIRP 대신에 사용될 수도 있다. 플레이트의 상단 표면으로부터 웨이퍼까지의 거리가 작은 경우 (예를 들어, 웨이퍼 반경의 약 1/10, 예를 들어, 5mm 미만의 사이즈의 갭), 전류 흐름 및 유체 흐름 양자의 분기가 로컬적으로 제한되고, 전해지고, CIRP 채널들과 정렬된다.

[0092] 특정한 실시형태들에서, CIRP는, 기관의 직경 (예를 들어, 스텝의 직경은 기관의 직경의 약 5%, 예를 들어, 약 1% 내에 있을 수도 있음) 과 대략적으로 동연인 스텝을 포함한다. 스텝은, 도금된 기관과 대략적으로 동연인 CIRP의 기관-대면측 상의 상승된 부분으로서 정의된다. CIRP의 스텝 부분은 또한, CIRP의 메인 부분 내의 스루-홀들과 매칭하는 스루-홀들을 포함한다. 이러한 실시형태의 일 예는 도 10a 및 도 10b에 도시되어 있다. 스텝 (902) 의 목적은, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 의 높이를 감소시키고, 그에 의해, 체적 유동율을 증가시킬 필요 없이 이러한 영역에서 이동하는 유체의 속도를 증가시키는 것이다. 스텝 (902) 은 또한 정체 (plateau) 영역으로 고려될 수도 있으며, CIRP (206) 그 자체의 상승된 영역으로서 구현될 수도 있다.

[0093] 많은 경우들에서, 스텝 (902) 의 직경은 기관 홀더 (254) (예를 들어, 스텝의 외측 직경은, 기관 홀더의 내측 직경보다 약 2 내지 10mm 사이로 더 작을 수도 있음) 및 크로스 흐름 한정링 (210) 의 내부 직경보다 약간 더 작아야 한다. (거리 (f) 로서 도시된) 직경에서의 이러한 차이가 없으면, 펀치 포인트는 갭 홀더 (254) 및/또는 크로스 흐름 한정링 (210) 및 스텝 (902) 사이에서 바라직하지 않게 형성될 수도 있으며, 여기서, 유체가 크로스 흐름 매니폴드 (226) 위로 및 내부로 흐르게 하는 것은 어렵거나 불가능하다. 이것이 이러한 경우인 경우, 유체는, 크로스 흐름 한정링 (210) 위의 및 기관 홀더/갭 (254) 의 바닥 표면 아래의 유체 갭 (904) 을 통해 바라직하지 않게 탈출할 수도 있다. 기관 홀더 (254) 가 CIRP (206) 및 도금 셀의 다른 엘리먼트들에 관해 회전할 수 있어야 하므로, 이러한 유체 갭 (904) 은 실제적인 것의 사항으로서 존재한다. 유체 갭 (904) 을 통해 탈출하는 캐소드액의 양을 최소화시키는 것이 바람직하다. 스텝 (902) 은, 약 1 내지 4mm 사이, 또는 약 1 내지 2mm 사이, 또는 약 2.5mm 미만의 크로스 흐름 매니폴드 높이에 대응할 수도 있는 약 2 내지 5mm 사이, 예를 들어, 약 3 내지 4mm 사이의 높이를 가질 수도 있다.

[0094] 스텝이 존재한 경우, 크로스 흐름 매니폴드의 높이가 CIRP (206) 의 상승된 스텝 (902) 과 웨이퍼의 도금 외관 사이의 거리로서 측정된다. 도 10a에서, 이러한 높이는 거리 (e) 로서 도시되어 있다. 기관이 도 10a에 도시되지 않은 경우, 기관의 도금 외관이 기관 홀더 (254) 의 립씨일 부분 (906) 상에 상주할 것임을 이해한다. 특정한 구현들에서, 스텝은, 유체가 크로스 흐름 매니폴드로 더 양호하게 전달되게 하기 위한 라운딩 (round) 된 에지를 갖는다. 이러한 경우, 스텝은 폭이 약 2 내지 4mm의 천이 영역을 포함할 수도 있으며, 여기서, 스텝의 표면은 라운딩/기울여진다. 도 10a가 라운딩된 스텝을 도시하지 않지만, 거리 (g) 는, 그러한 천이 영역이 위치될 곳을 나타낸다. 이러한 천이 영역의 방사상 내부에서, CIRP가 평평할 수도 있다. 도 10b에 도시된 바와 같이, CIRP의 비-상승된 부분은 CIRP의 전체 주변 부근에서 연장할 수도 있다.

[0095] 다른 실시형태들에서, CIRP는 그의 상부 표면 상에 돌기들의 집합을 포함할 수도 있다. 돌기는, CIRP 평면과 웨이퍼 사이의 크로스 흐름 매니폴드로 연장하는 CIRP의 기관-대면측 상에 배치/부착된 구조로서 정의된다. CIRP 평면 (또한 이온적으로 저항성있는 엘리먼트 평면으로서 지칭됨) 은 CIRP의 상단 표면으로서 정의되며, 임의의 돌기들을 배제한다. CIRP 평면은, 돌기들이 CIRP에 부착되는 곳이며, 또한, 유체가 크로스 흐름 매니폴드

로 CIRP를 빠져나가는 곳이다. 이러한 실시형태의 예들이 도 1a 및 도 11에 도시되어 있다. 도 1a는 크로스 흐름의 방향에 수직하게 배향된 돌기들 (151) 을 갖는 CIRP (150) 의 등각도를 도시한다. 도 11은 돌기들 (908) 을 갖는 CIRP (206) 을 갖춘 도금 장치의 유입구 부분의 근접도를 도시한다. CIRP (206) 는, 캐소드액이 크로스 흐름 매니폴드 (226) 위로 및 내부로 이동하게 하기 위해, 돌기들이 위치되지 않는 주변 영역을 포함할 수도 있다. 이러한 주변 비-돌기 영역은, 스텝과 컵 홀더 사이의 거리와 관련하여 상술된 바와 같은 폭을 가질 수도 있다. 많은 경우들에서, 돌기들은 도금될 기관의 도금 외관과 실질적으로 동연이다 (예를 들어, CIRP 상의 돌기 영역의 직경은, 기관의 직경의 약 5% 내 또는 약 1% 내에 있을 수도 있음).

[0096] 돌기들은 다양한 방식으로 배향될 수도 있지만, 많은 구현들에서, 돌기들은, CIRP의 홀들의 칼럼 사이에 위치한 길고 얇은 릿 (rib) 들의 형태이며, 돌기의 길이가 크로스 흐름 매니폴드를 통한 크로스 흐름에 수직하도록 배향된다. CIRP 홀들의 칼럼들 사이의 길고 얇은 돌기들을 갖는 CIRP의 근접도가 도 12에 도시되어 있다. 돌기들은, 웨이퍼로의 대량 전달을 개선시키고, 웨이퍼의 전체 외관에 걸친 대량 전달의 균일도를 개선시키기 위해 웨이퍼에 인접한 흐름 필드를 변경시킨다. 몇몇 경우들에서, 돌기들은 기존의 CIRP 플레이트들로 머시닝될 수도 있거나, 그들은 CIRP가 제조되는 시간과 동일한 시간에 형성될 수도 있다. 도 12에 도시된 바와 같이, 돌기들은, 그들이 기존의 1-D CIRP 스루-홀들 (910) 을 차단하지 않도록 배열될 수도 있다. 즉, 돌기들 (908) 의 폭이 CIRP (206) 내의 홀들 (910) 의 각각의 칼럼 사이의 거리보다 작을 수도 있다. 일 예에서, CIRP 홀들 (910) 은 2.69mm 떨어져 위치되며, 중앙-중앙에서, 홀들은 직경이 0.66mm이다. 따라서, 돌기들은 폭이 약 2mm 보다 작을 것이다 ($2.69 - 2 * (0.66 / 2) = 2.03$ mm). 특정한 경우들에서, 돌기들은 폭이 약 1mm보다 작을 수도 있다. 특정한 경우들에서, 돌기들은 적어도 약 3:1의 폭 대 길이의 애스펙트 비를 갖는다.

[0097] 많은 구현들에서, 돌기들은, 그들의 길이가 (여기서, "z" 방향으로서 종종 지칭되는) 웨이퍼의 외관에 걸친 크로스 흐름의 방향에 수직하거나 실질적으로 수직하도록 배향된다. 특정한 경우들에서, 돌기들은 상이한 각도 또는 각도들의 세트에 배향된다.

[0098] 광범위하게 다양한 돌기 형상들, 사이즈들 및 레이어아웃들이 사용될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 돌기들은, CIRP의 외관에 실질적으로 수직한 외관을 갖지만, 다른 실시형태들에서, 돌기들은, CIRP의 외관에 관해 일 각도로 위치한 외관을 갖는다. 더 추가적인 구현들에서, 돌기들은, 그들이 임의의 평평한 외관들을 갖지 않도록 형상화될 수도 있다. 몇몇 구현들은 다양한 돌기 형상들 및/또는 사이즈들 및/또는 배향들을 이용할 수도 있다.

[0099] 도 13은 CIRP (206) 상의 돌기들 (908) 의 단면도들로서 도시된 돌기 형상들의 예들을 제공한다. 몇몇 구현들에서, 돌기들은 일반적으로 직사각형으로 형상화된다. 다른 구현들에서, 돌기들은 삼각형, 실린더형, 또는 이들의 몇몇 조합이다. 돌기들은 또한, 머시닝된 삼각형 틱을 갖는 일반적으로 직사각형일 수도 있다. 특정한 실시형태들에서, 돌기들은, 웨이퍼에 걸친 크로스 흐름의 방향에 실질적으로 평행하게 배향된 그들을 통한 홀들을 포함할 수도 있다.

[0100] 도 14는 상이한 타입들의 스루-홀들을 갖는 돌기들의 수 개의 예들을 제공한다. 스루-홀들은 또한, 흐름 신뢰 구조, 절단부, 또는 절단 부분들로서 지칭될 수도 있다. 스루-홀들은, 흐름이 모든 방향들 (x-방향, y-방향 및 z-방향) 에서 콘볼루션 (convolute) 되도록 흐름 패턴을 두절시키는 것을 돕는다. 실시예 (a) 는 직사각형 패턴으로 절단된 상단 부분을 갖는 돌기를 도시하고, 실시예 (b) 는 직사각형 패턴으로 절단된 바닥 부분을 갖는 돌기를 도시하고, 실시예 (c) 는 직사각형 패턴으로 절단된 중간 부분을 갖는 돌기를 도시하고, 실시예 (d) 는 원/타원형 패턴들로 절단된 일련의 홀들을 갖는 돌기를 도시하고, 실시예 (e) 는 다이아몬드 패턴으로 절단된 일련의 홀들을 갖는 돌기를 도시하고, 실시예 (f) 는 사다리꼴 패턴으로 교대로 절단된 상단 및 바닥 부분들을 갖는 돌기를 도시한다. 실시예들 (d) 및 (f) 에 도시된 바와 같이, 홀들은 서로 라인에서 수평일 수도 있거나, 그들은 서로 오프셋될 수도 있다.

[0101] 도 15는 도 14의 실시예 (e) 의 실시형태와 유사한 교번 타입들의 절단부들을 갖는 돌기 (908) 의 일 예를 도시한다. 여기서, 2개의 타입들의 절단부들이 사용되며, 제 1 절단부 (921) 및 제 2 절단부 (922) 로서 지칭된다. 이러한 실시형태에서, 제 1 절단부 (921) 는 돌기 (908) 의 바닥 부분 상에 존재하고, 제 2 절단부 (922) 는 돌기 (908) 의 상단 부분에 존재한다. 전체 돌기는 (a) 약 1 내지 5mm 사이의 높이, 및 (b) 약 0.25 내지 2mm 사이의 두께를 가질 수도 있다. 제 1 절단부는 (c) 약 0.2 내지 3mm 사이의 높이, 및 (d) 약 2 내지 20mm 사이의 길이를 가질 수도 있다. 돌기 (908) 의 상단 부분 상에 위치한 제 2 절단부 (922) 는 또한 (e) 약 0.2 내지 3mm 사이의 높이, 및 (f) 약 2 내지 20mm 사이의 길이를 가질 수도 있다. (g) 인접한 제 1 절단부들 (921) 사이의 거리 (즉, 제 1 절단부들 (921) 의 기간) 는 약 4 내지 50mm 사이일 수도 있다. (h) 인접한 제 2 절단부

들 (922) 사이의 거리 (즉, 제 2 절단부들의 기간) 는 또한 약 4 내지 50mm 사이일 수도 있다. 이들 치수들은 이해의 목적을 위해 제공되며, 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 웨이퍼 평면 (w) 은 돌기 (908) 위에 도시되어 있다. CIRP에 부착된 돌기 (908) 의 베이스와 웨이퍼 평면 (w) 사이에는 크로스 흐름 매니폴드 (226) 이 존재한다.

[0102] 도 16은 도 15에 도시된 돌기 (908) 의 타입을 갖는 CIRP (206) 의 일 실시형태를 도시한다. 도 16에 또한 도시된 것은, 크로스 흐름 한정링 (210) 이다. 당업자는, 많은 상이한 타입들의 돌기들 및 절단부들이 기재된 실시형태들의 범위 내에서 사용될 수도 있음을 이해할 것이다.

[0103] 몇몇 구현들은, 2개 이상의 분리/불연속 돌기들이 CIRP 홀들의 동일한 칼럼에 위치되도록 갭들 (비-돌기 갭들로서 종종 지칭됨) 을 갖는 돌기들을 이용할 수도 있다. 도 17은 비-돌기 갭들 (912) 을 갖는 돌기들 (908) 을 갖춘 예시적인 CIRP (206) 를 도시한다. 돌기들 (908) 내의 갭들 (912) 은, 그들이 크로스 흐름의 방향에서 서로 실질적으로 정렬되지 않도록 설계될 수도 있다. 예를 들어, 도 17에서, 갭들 (912) 은 돌기들 (908) 의 인접한 칼럼들 사이에서 서로 정렬되지 않는다. 갭들 (912) 의 이러한 의도적인 오정렬은, 균일한 도금 결과들을 촉진하기 위해 크로스 흐름 매니폴드에서 충돌 흐름 및 크로스 흐름의 혼합을 장려하는 것을 도울 수도 있다.

[0104] 몇몇 구현들에서, CIRP 내의 홀들의 각각의 칼럼 사이에 돌기가 존재하지만, 다른 구현들에서, 더 적은 돌기들이 존재할 수도 있다. 예를 들어, 특정한 실시형태들에서, CIRP 홀들의 매 다른 칼럼에 대해 돌기, 또는 CIRP의 매 4번째 칼럼에 대해 돌기 등이 존재할 수도 있다. 추가적인 실시형태들에서, 돌기 위치들은 더 랜덤할 수도 있다.

[0105] 돌기들을 최적화시키는데의 하나의 관련 파라미터는 돌기의 높이, 또는 관련되게, 돌기의 상단과 웨이퍼 표면의 바닥 사이의 거리, 또는 돌기 높이 대 웨이퍼 채널 높이에 대한 CIRP의 비율이다. 특정한 구현들에서, 돌기들은 높이가 약 2 내지 5mm 사이, 예를 들어, 높이가 약 4 내지 5mm 사이에 있다. 돌기의 상단과 웨이퍼의 바닥 사이의 거리는 약 1 내지 4mm 사이, 예를 들어, 약 1 내지 2mm 사이, 또는 약 2.5mm 미만일 수도 있다. 돌기 높이 대 크로스 흐름 매니폴드의 높이의 비율은, 약 1:3 과 5:6 사이에 있을 수도 있다. 돌기들이 존재한 경우, 크로스 흐름 매니폴드의 높이는 웨이퍼의 도금 외관과 CIRP의 평면 사이의 거리로서 측정되며, 임의의 돌기들을 배제한다.

[0106] 도 18은 CIRP (206) 의 홀들 (910) 사이에 위치된 돌기들 (908) 을 갖는 CIRP (206) 의 예시적인 근접 단면도를 도시한다. 크로스 흐름 매니폴드 (226) 는 웨이퍼 평면 (w) 과 CIRP 평면 (914) 사이의 공간을 점유한다. 크로스 흐름 매니폴드 (226) 는 약 3 내지 8mm 사이, 예를 들어, 약 4 내지 6mm 사이의 높이를 가질 수도 있다. 특정한 실시형태에서, 이러한 높이는 약 4.75mm이다. 돌기들 (908) 은 CIRP (206) 내의 홀들 (910) 의 칼럼들 사이에 위치되며, 크로스 흐름 매니폴드 (226) 의 높이 (a) 보다 작은 상술된 바와 같은 높이 (b) 를 갖는다.

[0107] 도 19는 상이한 방식으로 배향된 돌기들 (908) 을 갖는 CIRP (206) 의 대안적인 실시형태의 상하 간략도를 도시한다. 이러한 실시형태에서, 각각의 돌기 (908) 는 2개의 세그먼트들 (931 및 932) 로 제작된다. 명확화의 목적을 위해, 단일 돌기 및 돌기 세그먼트들의 단일 세트만이 라벨링된다. 세그먼트들 (931 및 932) 은 서로 수직으로 배향되며, 동일하거나 실질적으로 유사한 (예를 들어, 서로 약 10% 내) 길이를 갖는다. 다른 실시형태들에서, 이들 세그먼트들 (931 및 932) 은 서로에 관해 상이한 각도로 배향될 수도 있으며, 상이한 길이들을 가질 수도 있다. 추가적인 실시형태들에서, 2개의 세그먼트들 (931 및 932) 은, 2개 (또는 그 이상) 의 별개의 타입들의 돌기들이 존재하도록 서로 접촉해제될 수도 있으며, 각각은 크로스 흐름에 관해 일 각도로 배향된다. 도 19에서, 표시된 바와 같이, 크로스 흐름의 방향은 좌측-우측이다. 돌기 (908) 의 각각의 세그먼트 (931 및 932) 는, 각도들 (a) 및 (b) 에 의해 도시된 바와 같이, 크로스 흐름에 관해 일 각도로 배향된다. 각도들 (a) 및 (b) 를 2등분한 라인은 크로스 흐름의 전체 방향을 나타내도록 의도된다. 특정한 경우들에서, 이들 각도들은 동일하거나 실질적으로 유사 (예를 들어, 서로 약 10% 내) 하다. 이러한 실시형태는, 예를 들어, 돌기들 (908) 이 크로스 흐름에 수직한 방향으로 개별적으로 배향되지 않기 때문에, 도 1a에 도시된 것과는 상이하다. 그러나, 각도들 a 및 b가 실질적으로 유사하기 때문에, 및 돌기 세그먼트들의 길이가 실질적으로 유사하기 때문에, 돌기들은 평균적으로 크로스 흐름의 방향에 수직하게 배향되는 것으로 고려될 수도 있다.

[0108] 다양한 경우들에서, CIRP는, 이온적으로 및 전기적으로 저항성있는 고체의 비-다공성 유전체 재료로 제작된 디스크이다. 재료는 또한, 도금 용액의 사용 시에 화학적으로 안정하다. 특정한 경우들에서, CIRP는, 약 6,000 내지 12,000 개 사이의 비-연통 스루-홀들을 갖는, 세라믹 재료 (예를 들어, 알루미늄 산화물, 주석 산화물, 티타늄 산화물, 또는 금속 산화물들의 혼합물들) 또는 플라스틱 재료 (예를 들어, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리비닐리덴 디플루오라이드 (PVDF), 폴리테트라플루오르에틸렌, 폴리술폰, 폴리비닐 염화물 (PVC), 폴리카보나

이트 등) 로 제작된다. 많은 실시형태들에서, 디스크는 웨이퍼와 실질적으로 동연이며 (예를 들어, 300mm 웨이퍼와 함께 사용된 경우 CIRP 디스크는 약 300mm의 직경을 가짐), 웨이퍼에 근접하게, 예를 들어, 웨이퍼-하향-대면 전기도금 장치 내의 웨이퍼 바로 아래에 상주한다. 바람직하게, 웨이퍼의 도금된 표면은 약 10mm내에, 더 바람직하게는 가장 근접한 CIRP 표면의 약 5mm 내에 상주한다. 이러한 목적을 위해, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 상단 표면은 평평하거나 실질적으로 평평할 수도 있다. 특정한 경우들에서, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 상단 및 바닥 표면들 양자는 평평하거나 실질적으로 평평하다.

[0109] CIRP의 다른 특성은, 스루-홀들의 직경 또는 주요 치수 및 CIRP와 기관 사이의 거리에 대한 그의 관련성이다. 특정한 실시형태들에서, 각각의 스루-홀의 직경 (또는 대부분의 스루-홀들의 직경, 또는 스루-홀들의 평균 직경) 은 도금된 웨이퍼 표면으로부터 CIRP의 가장 근접한 표면까지의 대략적인 거리보다 크지 않다. 따라서, 그러한 실시형태들에서, 스루-홀들의 직경 또는 주요 치수는, CIRP가 도금된 웨이퍼 표면의 약 5mm 내에 배치된 경우, 약 5mm를 초과하지 않아야 한다.

[0110] 상기와 같이, 플레이트의 전체 이온 및 흐름 저항은, 플레이트의 두께 및 홀들의 전체 다공성 (플레이트를 통한 흐름에 이용가능한 영역들의 일부) 및 사이즈/직경 양자에 의존한다. 하부 다공성들의 플레이트들은 더 높은 충돌 흐름 속도들 및 이온 저항들을 가질 것이다. 동일한 다공성의 플레이트들을 비교하면, 더 작은 직경 1-D 홀들 (및 그에 따른 더 큰 수의 1-D 홀들) 을 갖는 것은, 동일한 갭에 걸쳐 확산할 수 있는 포인트 소스들로서 더 많이 작동하는 더 개별적인 전류 소스들이 존재하기 때문에, 웨이퍼 상의 전류의 더 마이크로-균일한 분포를 가질 것이고, 또한 더 높은 총 압력 드롭 (높은 점착성 흐름 저항) 을 가질 것이다.

[0111] 그러나, 특정한 경우들에서, 상술된 바와 같이, 이온적으로 저항성있는 플레이트는 다공성이다. 플레이트 내의 공극들은 독립적인 1-D 채널들을 형성하지 않을 수도 있지만, 대신 상호접속될 수도 있거나 상호접속되지 않을 수도 있는 스루-홀들의 메시 (mesh) 를 형성할 수도 있다. 여기에 사용된 바와 같이, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트 (CIRP) 및 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트라는 용어들은, 달리 나타내지 않는다면 이러한 실시형태를 포함하도록 의도된다.

[0112] 스루-홀들을 통한 수직 흐름

[0113] 웨이퍼에 근접한 이온적으로 저항성있지만 이온적으로 삼투가능한 엘리먼트 (CIRP) (206) 의 존재는, 특정한 애플리케이션들에서 단자 효과 (terminal effect) 를 실질적으로 감소시키고, 방사 도금 균일도를 개선시키며, 여기서, 단자 효과들은, 웨이퍼 시드층 내의 전기 전류의 저항이 셀의 캐소드액 내의 저항과 비교하여 큰 경우와 같이, 동작적/관련적이다. CIRP는 또한 동시에, 흐름 확산 매니폴드 플레이트로서 작동함으로써 웨이퍼 표면에서 상향으로 지향된 전해질의 실질적으로 공간적으로-균일한 충돌 흐름을 갖기 위한 능력을 제공한다. 중요하게, 동일한 엘리먼트가 웨이퍼로부터 멀리 배치되면, 이온 전류의 균일도 및 흐름 개선들은 실질적으로 덜 두드러지거나 존재하지 않는다.

[0114] 추가적으로, 비-연통 스루-홀들이 CIRP 내에서의 이온 전류의 측방향 이동 또는 유체 이동을 허용하지 않기 때문에, 중심-에지 전류 및 흐름 이동들은 CIRP 내에서 차단되어, 방사 도금 균일도에서의 추가적인 개선을 유도한다.

[0115] 몇몇 실시형태들에서, CIRP 도금은, 인트라-셀 (intra-cell) 전해질 흐름 저항, 흐름 제어 및 그에 의한 흐름 형상화 엘리먼트 (종종 터보플레이트로서 지칭됨) 로서 주로 또는 배타적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 단자 효과들의 균형을 맞추고 및/또는 셀 내의 흐름과 커플링된 도금 첨가제들의 전기장 또는 마찰 저항력들을 조절함으로써, 플레이트가 방사 증착 균일도를 맞춤화하는지에 관계없이, 이러한 지정이 사용될 수도 있다. 따라서, 예를 들어, 시드 금속 두께가 일반적으로 크고 (예를 들어, >1000Å 두께) 금속이 매우 높은 레이트들로 증착되고 있는 TSV 및 WLP 도금에서, 전해질 흐름의 균일한 분포는 매우 중요하지만, 웨이퍼 시드 내의 옴 전압 드롭으로부터 발생하는 방사 비균일 제어는 (적어도 부분적으로, 더 두꺼운 시드층들이 사용되는 것보다 중앙-에지 비균일도들이 덜 심각하기 때문에) 보상하기에 덜 필요할 수도 있다. 따라서, CIRP 플레이트는 이온적으로 저항성있는 이온적으로 삼투가능한 엘리먼트 및 흐름 형상화 엘리먼트 양자로서 지칭될 수 있으며, 이온 전류의 흐름을 수정, 재료의 대류 흐름을 수정 등을 행함으로써 증착-레이트 정정 기능을 제공할 수 있다.

[0116] 웨이퍼와 채널화된 플레이트 사이의 거리

[0117] 특정한 실시형태들에서, 웨이퍼 홀더 및 관련 위치결정 메커니즘은 채널화된 이온적으로 저항성있는 엘리먼트의 평행한 상부 표면에 매우 근접한 회전 웨이퍼를 홀딩한다. 도금 동안, 기관은, 그것이 이온적으로 저항성있는 엘리먼트에 평행하거나 실질적으로 평행하도록 (약 10° 내) 일반적으로 위치된다. 기관이 특정한 피쳐들을 상

부에 가질 수도 있지만, 기관 및 이온적으로 저항성있는 엘리먼트가 실질적으로 평행한지를 결정할 시에 기관의 일반적으로 평평한 형상만이 고려된다.

[0118] 통상적인 경우들에서, 분리 거리는 약 1 내지 10밀리미터이거나, 약 2 내지 8밀리미터이다. 이러한 작은 플레이트 대 웨이퍼 거리는, 패턴의 개별적인 홀들의 근접한, 특히 웨이퍼 회전의 중심에 근접한 "충돌" 과 연관된 웨이퍼 상에 도금 패턴을 생성할 수 있다. 그러한 환경들에서, (두께 또는 도금된 텍스처에서의) 도금 링들의 패턴이 웨이퍼 중앙 근방에서 발생할 수도 있다. 이러한 현상을 회피하기 위해, 몇몇 실시형태들에서, CIRP 내의 (특히 웨이퍼 중앙에 및 그 근처의) 개별적인 홀들은, 특히 작은 사이즈, 예를 들어, 약 1/5 미만의 플레이트 대 웨이퍼 갭을 갖도록 구성될 수 있다. 웨이퍼 회전과 커플링된 경우, 작은 공극 사이즈는, 플레이트로부터의 분사로서 충돌 유체가 올라오는 흐름 속도의 시간 평균을 허용하고, 작은 스케일의 비균일도들 (예를 들어, 대략 몇 마이크로미터의 비균일도들) 을 감소시키거나 회피한다. 상기 예방에도 불구하고, 및 사용된 도금 베스의 속성들 (예를 들어, 증착된 특정한 금속, 도전성들, 및 이용된 베스 첨가제들) 에 의존하여, 몇몇 경우들에서, 증착은, 시간 평균 노출로서 마이크로-비-균일도 패턴 (예를 들어, 중앙 링들을 형성함), 및 가변 두께를 갖고, 사용된 개별 홀 패턴에 대응하는 근접-충돌-패턴에서 (예를 들어, 웨이퍼 중앙 주변의 "불스 아이 (bull's eye)" 의 형상에서) 발생하는 경향이 있을 수도 있다. 비균일하고 증착에 영향을 주는 충돌 흐름 패턴을 유한한 홀 패턴이 생성하면, 이것이 발생할 수 있다. 이러한 경우에서, 웨이퍼 중앙에 걸쳐 측방향 흐름을 도입하는 것 및/또는 중앙 및/또는 중앙 근처에서 정규 패턴의 홀들을 정확히 변경하는 것 양자는, 그렇지 않으면 발견되었던 마이크로-비균일도들의 임의의 부호 (sign) 를 매우 제거하는 것으로 발견되었다.

[0119] 채널화된 플레이트의 다공성

[0120] 다양한 실시형태들에서, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트는, 일반적인 동작 체적 유동율들에서, 점착성 흐름 저항 후압 (backpressure) 및 높은 수직 충돌 유동율들을 제공하기에 충분히 낮은 다공성 및 공극 사이즈를 갖는다. 몇몇 경우들에서, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 약 1 내지 10% 는, 휴체가 웨이퍼 표면에 도달하게 하는 개방된 영역이다. 특정한 실시형태들에서, 플레이트의 약 2 내지 5% 가 개방 영역이다. 특정한 예에서, 플레이트 (206) 의 개방 영역은 약 3.2%이고, 유효한 총 개방 단면적은 약 23cm^2 이다.

[0121] 채널화된 플레이트의 홀 사이즈

[0122] 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 다공성은 많은 상이한 방식으로 구현될 수 있다. 다양한 실시형태들에서, 그것은 작은 직경의 많은 수직 홀들을 이용하여 구현된다. 몇몇 경우들에서, 플레이트는 개별 "드릴된" 홀들로 구성되지 않지만, 연속적으로 다공성인 재료의 소결 (sintered) 플레이트에 의해 생성된다. 그러한 소결 플레이트들의 예들은, 여기에 그 전체가 참조로서 포함되는 미국 특허 제 6,964,792호 [대리인 도ocket NOVLPO23] 에 설명되어 있다. 몇몇 실시형태들에서, 드릴된 비-연통 홀들은 약 0.01 내지 0.05 인치들의 직경을 갖는다. 몇몇 경우들에서, 홀들은 약 0.02 내지 0.03 인치들의 직경을 갖는다. 상술된 바와 같이, 다양한 실시형태들에서, 홀들은, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트와 웨이퍼 사이의 갭 거리에 고작 (at most) 0.2배인 직경을 갖는다. 홀들은 일반적으로, 단면이 원형이지만, 그럴 필요는 없다. 추가적으로, 구성을 용이하게 하기 위해, 플레이트 내의 모든 홀들은 동일한 직경을 가질 수도 있다. 그러나, 이것은 그러한 경우일 필요는 없으며, 홀들의 개별 사이즈 및 로컬 밀도 양자는, 특정한 요건들이 지시할 수도 있는 경우에 플레이트 표면에 걸쳐 변할 수도 있다.

[0123] 일 예로서, 고체 플레이트는, 내부에 제공된 큰 수, 예를 들어, 적어도 약 1000 또는 적어도 약 3000 또는 적어도 약 5000 또는 적어도 약 6000 (0.026 인치 직경의 9465개의 홀들이 유용한 것으로 발견됨) 개의 작은 홀들을 갖는 적절한 세라믹 또는 플라스틱 재료 (일반적으로, 유전체 절연 및 기계적으로 강건한 재료) 로 제작되었다. 언급된 바와 같이, 몇몇 설계들은 약 9000개의 홀들을 갖는다. 플레이트의 다공성은, 높은 충돌 속도를 생성하는데 필요한 총 유동율이 너무 크지 않도록 통상적으로 약 5퍼센트 미만이다. 더 낮은 홀들을 사용하는 것은, 더 큰 홀들과 비교하여 플레이트에 걸쳐 큰 압력 드롭을 생성하는 것을 도와서, 플레이트를 통한 더 균일한 상향 속도를 생성하는 것을 돕는다.

[0124] 일반적으로, 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트에 걸친 홀들의 분포는 균일한 밀도를 갖고 랜덤하지 않다. 그러나, 몇몇 경우들에서, 홀들의 밀도는, 특히 방사 방향에서 변할 수도 있다. 특정한 실시형태에서, 더 완전히 후술되는 바와 같이, 회전 기관의 중앙을 향해 흐름을 지향시키는 플레이트의 영역 내에서 더 큰 밀도 및/또는 직경의 홀들이 존재한다. 추가적으로, 몇몇 실시형태들에서, 회전 웨이퍼의 중앙에 또는 그 근처에서 전해질을 지향시키는 홀들은, 웨이퍼 표면에 관해 비-우측 (non-right) 각도의 흐름을 유도할 수도 있다. 추가적으로, 이러한 영역에서의 홀 패턴들은, 제한된 수의 홀들과 웨이퍼 회전 사이의 가능한 상호작용을 어드레싱

하기 위해, 비균일한 도금 "링들" 의 랜덤한 또는 부분적으로 랜덤한 분포를 가질 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 흐름 전환기 또는 한정링의 개방된 세그먼트 근방의 홀 밀도는, 부착된 흐름 전환기 또는 한정링의 개방된 세그먼트로부터 더 떨어진 채널화된 이온적으로 저항성있는 플레이트의 영역들 상에서 더 낮다.

[0125] 여기에 설명된 구성들 및/또는 접근법들이 속성상 예시적이며, 다수의 변경들이 가능하기 때문에, 이들 특정한 실시형태들 또는 예들이 제한된 관점에서 고려되지 않다는 것이 이해될 것이다. 여기에 설명된 특정한 루틴들 또는 방법들이 임의의 수의 프로세싱 전략들 중 하나 이상을 나타낼 수도 있다. 그로써, 도시된 다양한 동작들은 도시된 시퀀스에서, 다른 시퀀스들에서, 병렬로 수행될 수도 있거나, 몇몇 경우들에서는 생략될 수도 있다. 유사하게, 상술된 프로세스들의 순서는 변경될 수도 있다.

[0126] 본 발명의 사항은, 다양한 프로세스들, 시스템들 및 구성들, 및 다른 특성들, 기능들, 동작들, 및/또는 여기에 기재된 속성들 뿐만 아니라 본 발명의 임의의 및 모든 등가물들의 모든 신규하고 자명하지 않은 조합들 및 서브-조합들을 포함한다.

[0127] 실시예들 및 실험

[0128] 모델링 결과들 및 온-웨이퍼 실험 결과들은, 기재된 실시형태들이 도금 프로세스의 균일도를 실질적으로 증가시킬 수 있다는 것을 제안한다. 도 20은 구리 전기도금을 위한 몇몇 실험 결과들의 요약을 나타낸다. 2개의 상이한 증착 레이트들의 각각에서, 2개의 상이한 CIRP 설계들이 (돌기들을 이용하여 및 돌기들을 없이) 테스트되었다.

[0129] 제 1 CIRP 설계는, 스텝 또는 돌기들이 사용되지 않았던 제어 설계였다. 제 2 CIRP 설계는, CIRP 홀들의 인접한 칼럼들 사이에 위치되고, 크로스 흐름에 수직한 방향으로 배향된 2.5mm 높이의 돌기들의 집합을 포함했다. 크로스 흐름 매니폴드의 높이는 약 4.75mm 였다. 테스트된 2개의 구리 증착 레이트들은 2.4 및 3.2 μ m/분이었다. 즉, 각각의 실험 동안 전달된 전류는 평균적으로 약 2.4 내지 3.2 μ m/분의 금속을 증착하는데 필요한 전류의 레벨이었다. 실험들에서 사용된 도금 케미스트리는, 약 140g/L 의 황산 농도 및 (황산구리로부터) 약 40g/L 의 구리 이온 (Cu^{2+}) 농도를 갖는 코네티컷 웨스트 헤븐 소재의 Enthone 로부터의 SC40 케미스트리였다. 캐소드액에서의 R1 및 R2 첨가제들의 농도는, 각각 20 및 12 mL/L 였다. 캐소드액의 유동율은 약 20L/분이었다. 기판은 약 4RPM의 레이트로 회전되었다. 크로스 흐름 한정링의 상부 표면과 도금 컵의 하부 표면 사이의 유체 갭은 약 0.5mm 였다. 도금 프로세스는 약 30 $^{\circ}$ C 로 구동되었다. 사후-도금 범프 높이는 각각의 웨이퍼의 표면에 걸친 많은 상이한 위치들에서 측정되었다.

[0130] 모든 경우들에서, 범프 높이들은, 웨이퍼의 에지 근처에서 다소 두꺼웠고, 웨이퍼의 중앙 근처에서 얇았다. 그러나, 두께에서의 변화는, 양자의 증착 레이트들에서 제어 CIRP에 대한 것보다 돌기들을 갖는 CIRP에 대해 더 작았다. 따라서, 돌기들을 갖는 CIRP는 범프 높이 두께 분포에서 명확한 개선을 나타냈다. 공면 (coplanarity) 은 제어 경우와 돌기 경우 사이에서 실질적으로 동일했지만, 집중적인 대량 전달 (예를 들어, 구리에 대해 >4 μ m/분의 증착 레이트들) 의 조건들 하에서 돌기들에 대해 우수한 것으로 기대된다. 다이 공면은 주어진 다이에 대해 $1/2 \times (\text{최대 범프 높이} - \text{최소 범프 높이}) / \text{평균 범프 높이}$ (($1/2 \times (\text{Max Bump Height} - \text{Min Bump Height}) / \text{Avg Bump Height}$) 로서 정의된다. 도 20에서 보고된 웨이퍼 공면은 주어진 웨이퍼에 대한 모든 다이 공면의 평균이다. 이러한 경우, 특정한 테스트 웨이퍼에 대해 대략 170개의 다이가 존재했다.

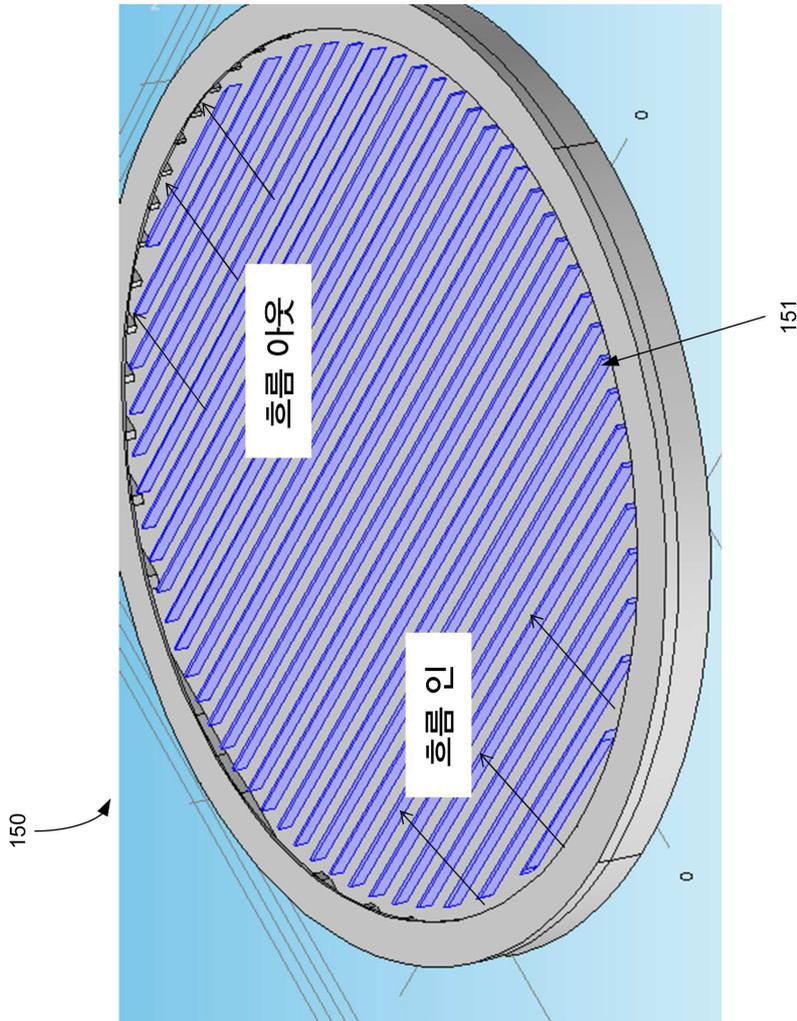
[0131] 돌기들의 효율성을 나타내는 부가적인 모델링 결과들은, 상기 참조로서 포함되었던 미국 가출원 제 61/736,499 호에 포함되어 있다.

[0132] 다른 실시형태들

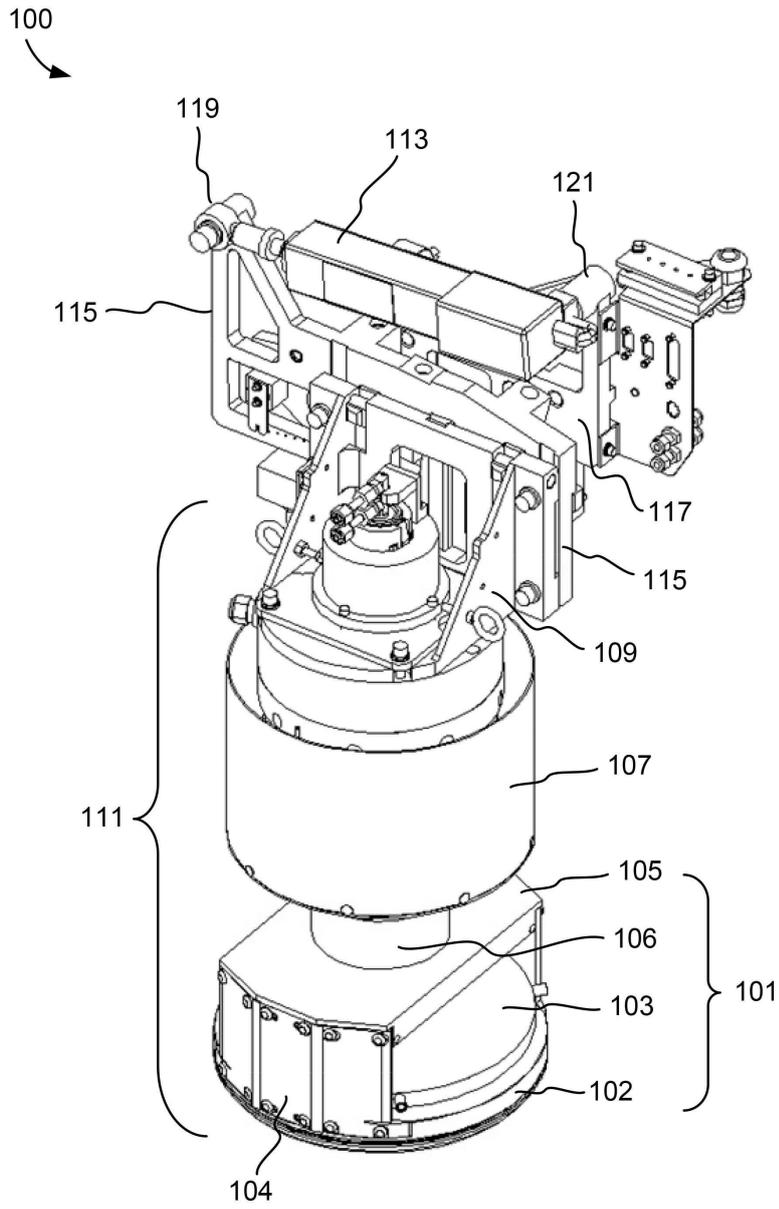
[0133] 상술한 것은 특정한 실시형태들의 완전한 설명이지만, 다양한 변형들, 대안적인 구성들 및 등가물들이 사용될 수도 있다. 따라서, 상기 설명 및 도면들이 첨부된 청구항들에 의해 정의된 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 취해지지 않아야 한다.

도면

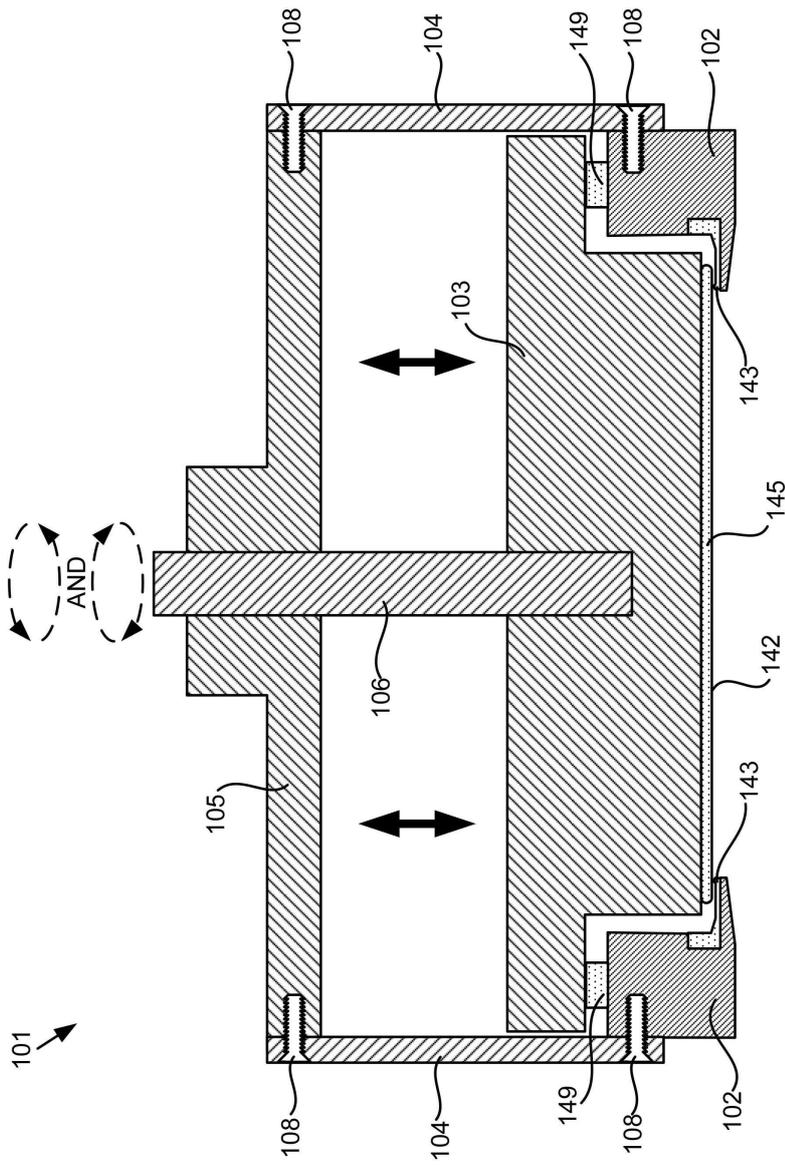
도면1a



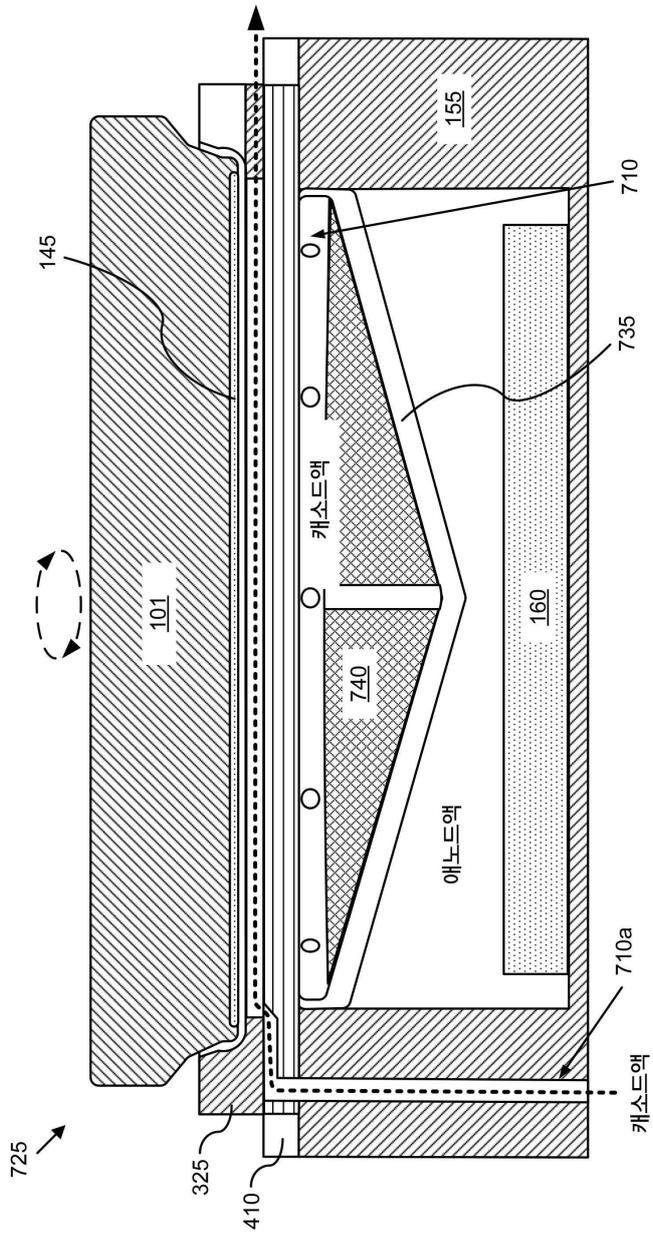
도면1b



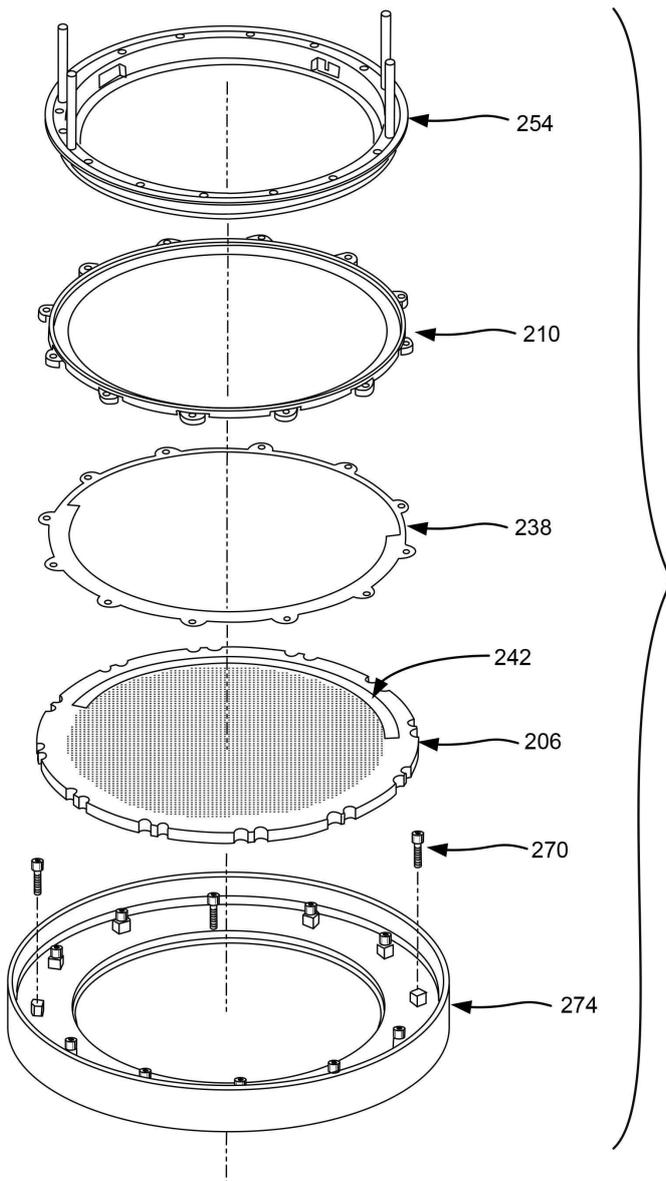
도면1c



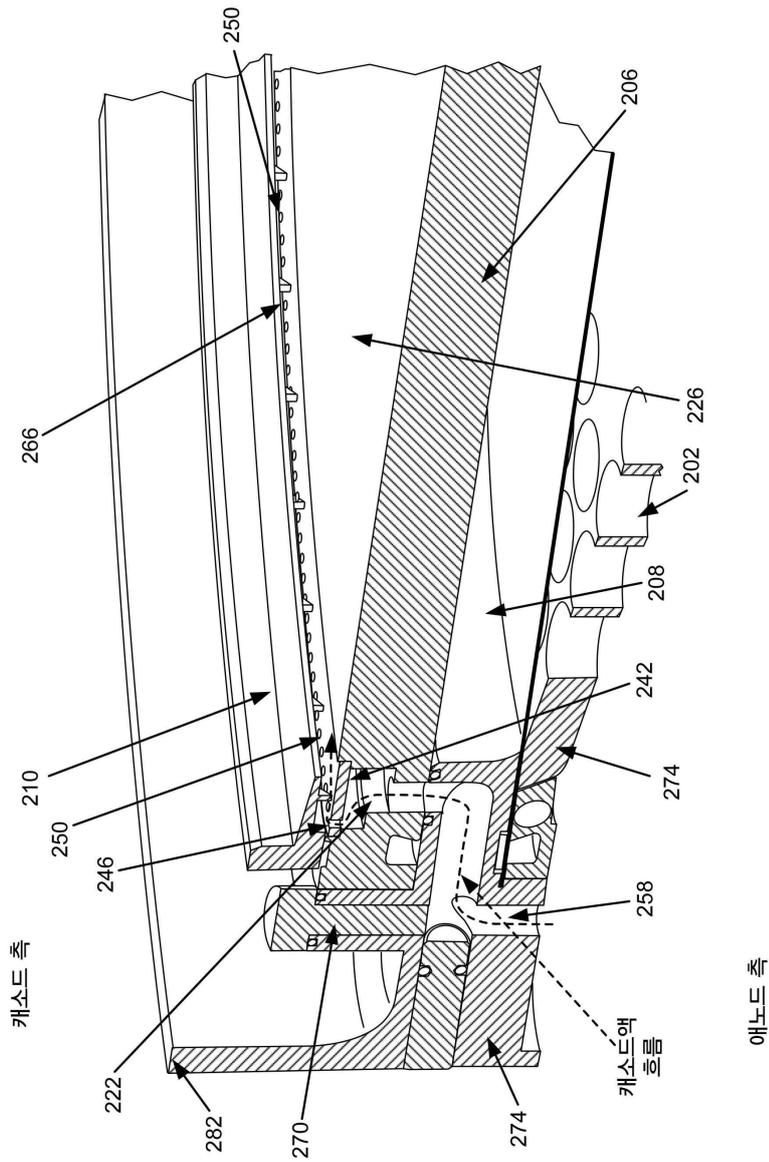
도면1d



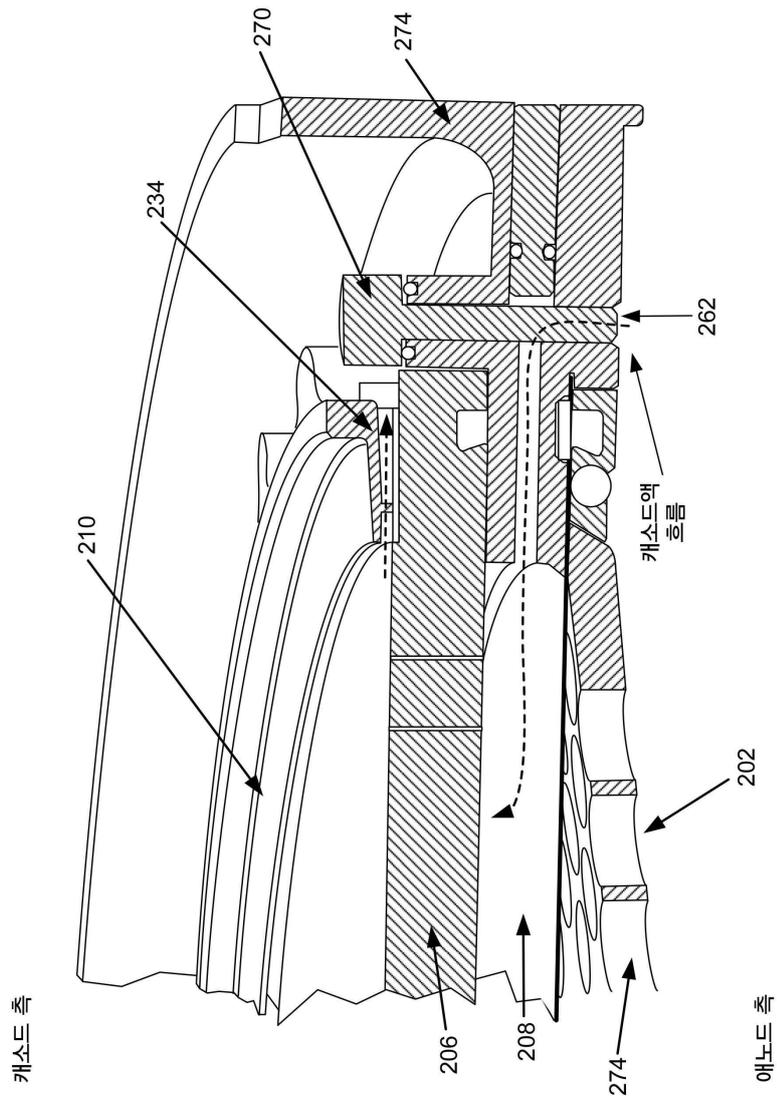
도면2



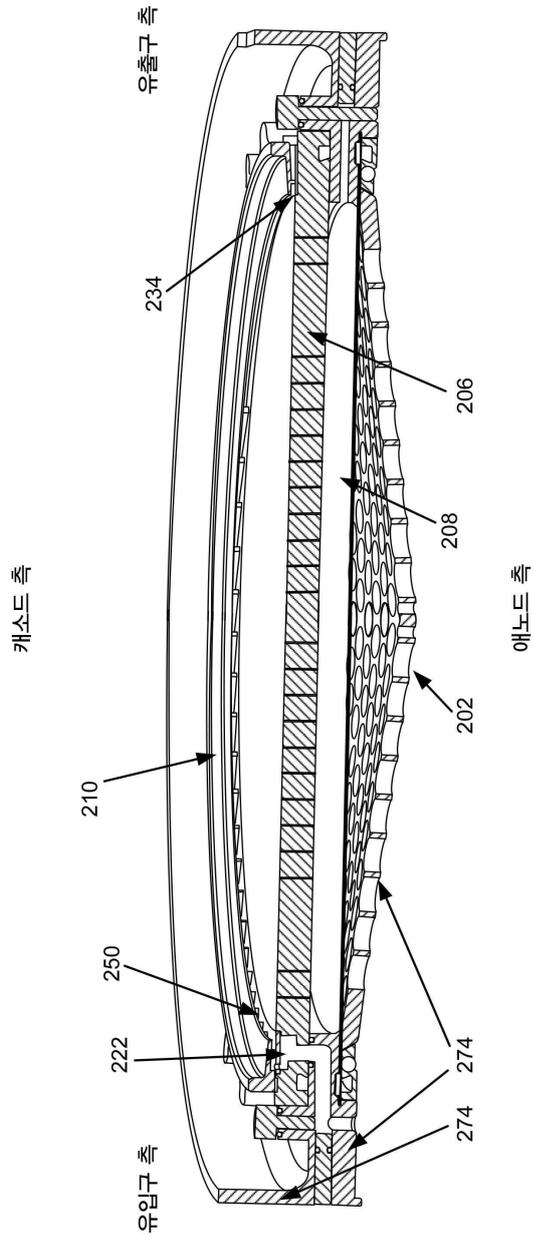
도면3a



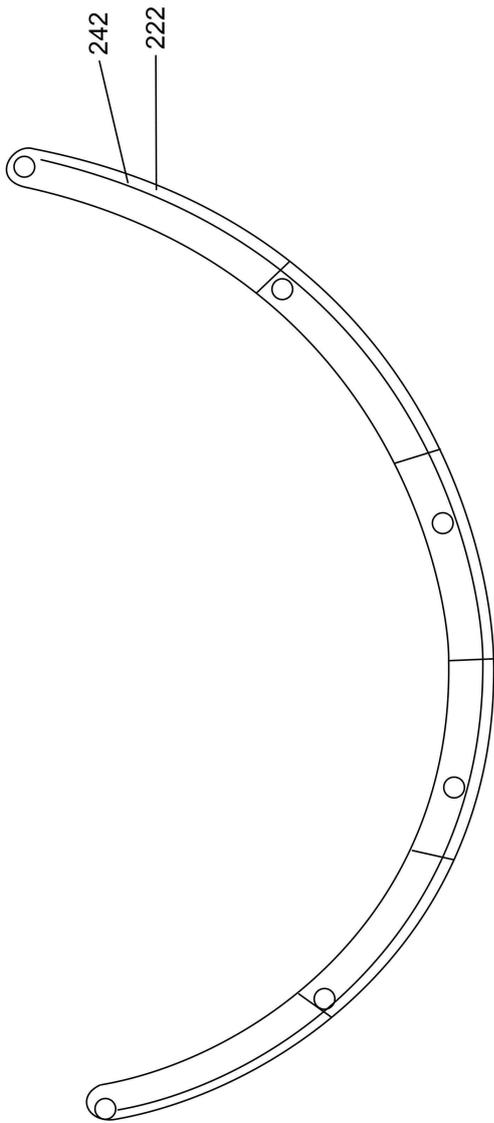
도면3b



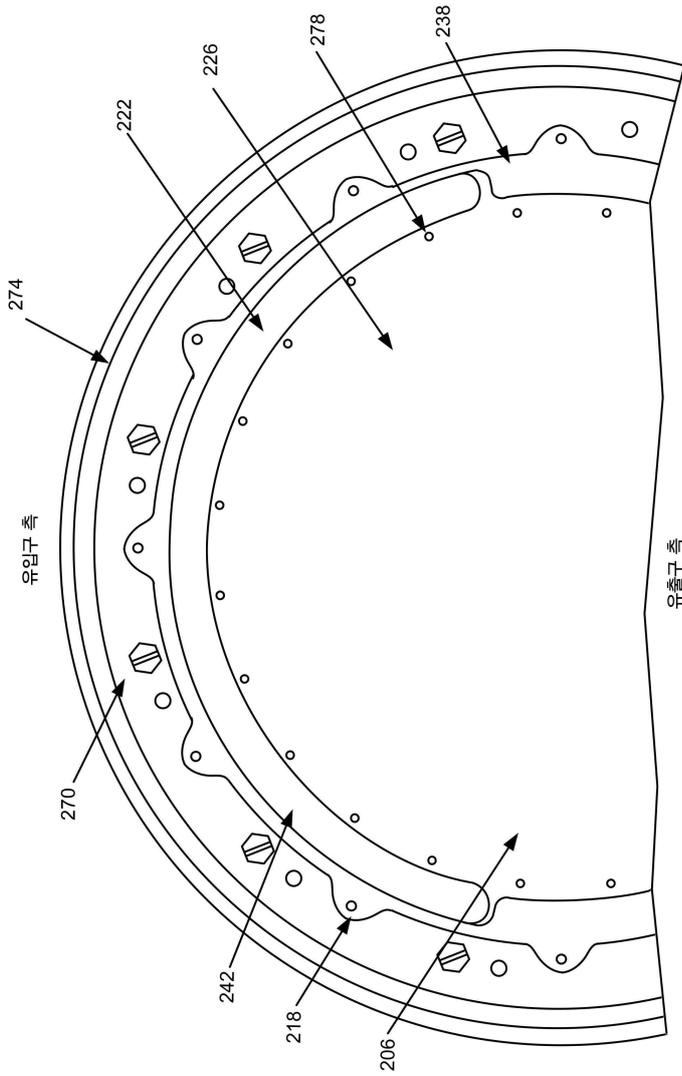
도면4



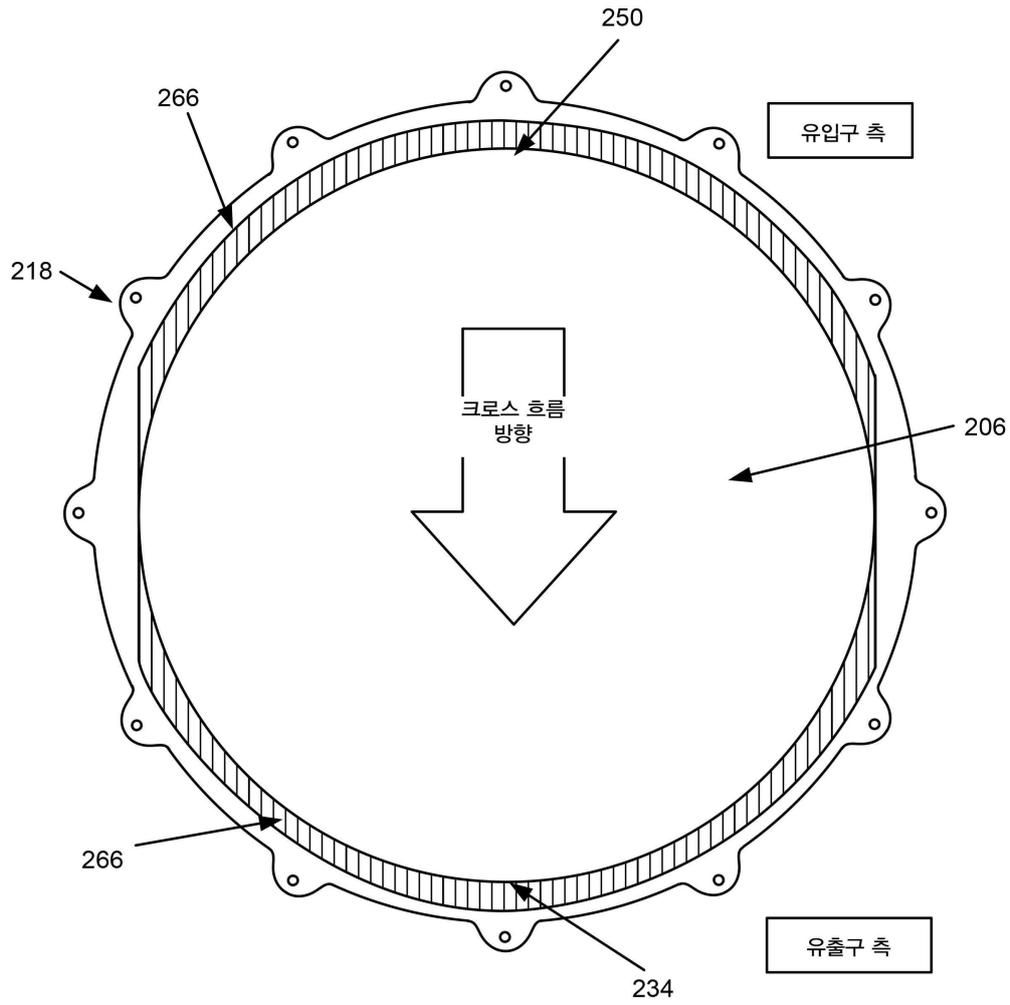
도면5



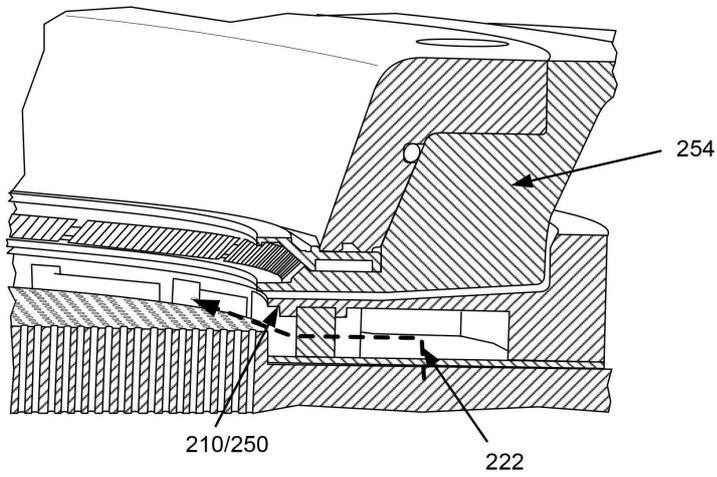
도면6



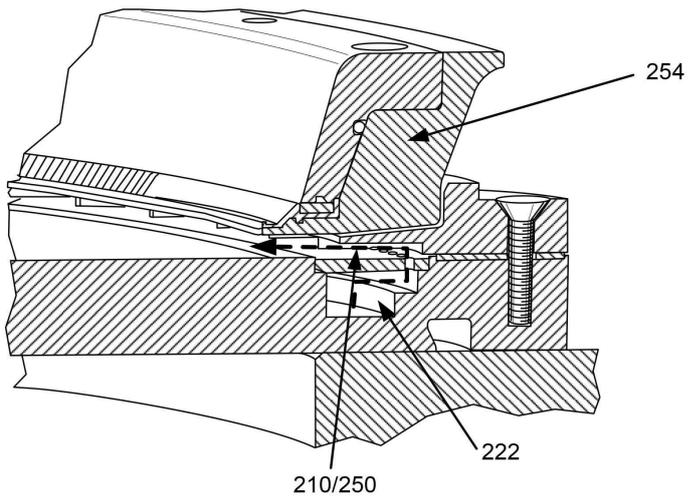
도면7



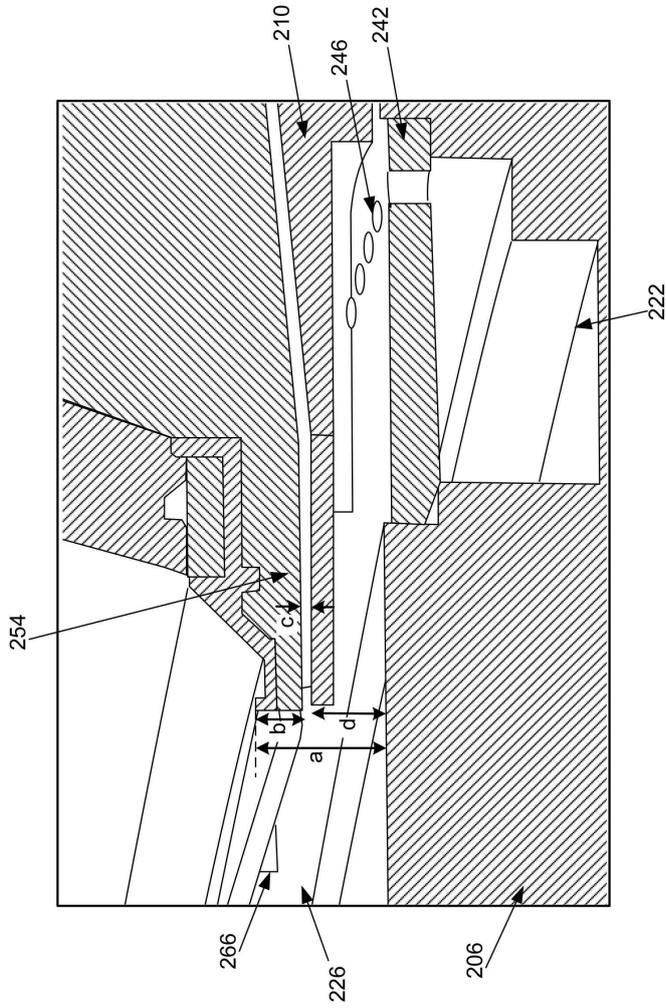
도면8a



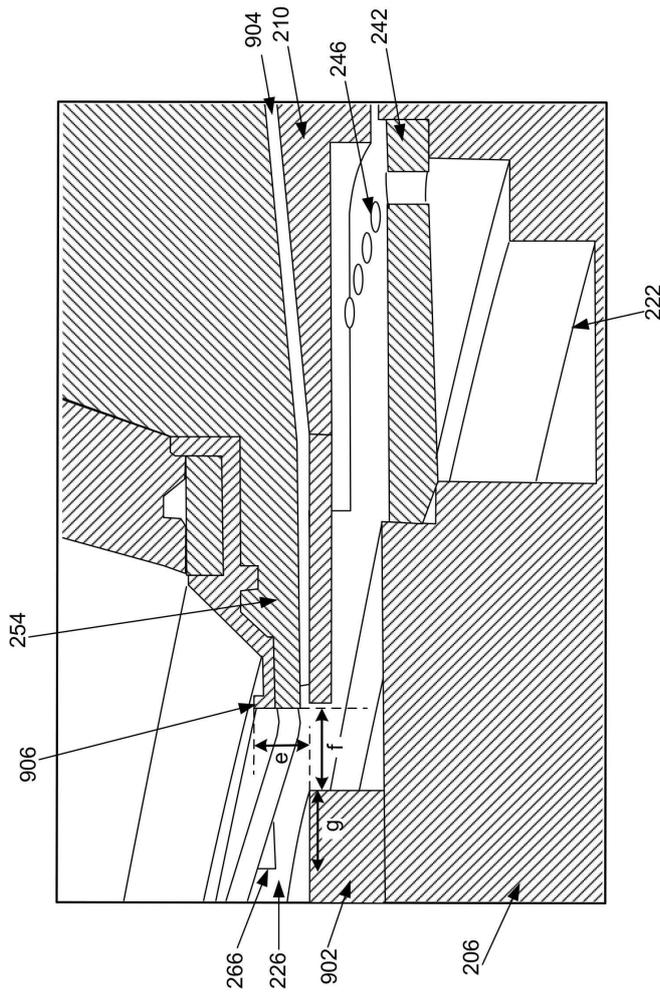
도면8b



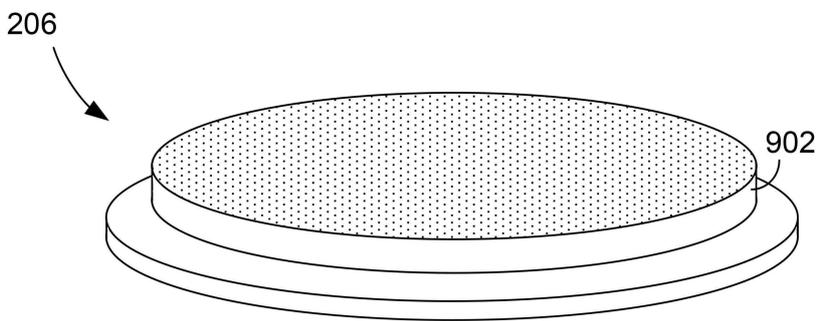
도면9



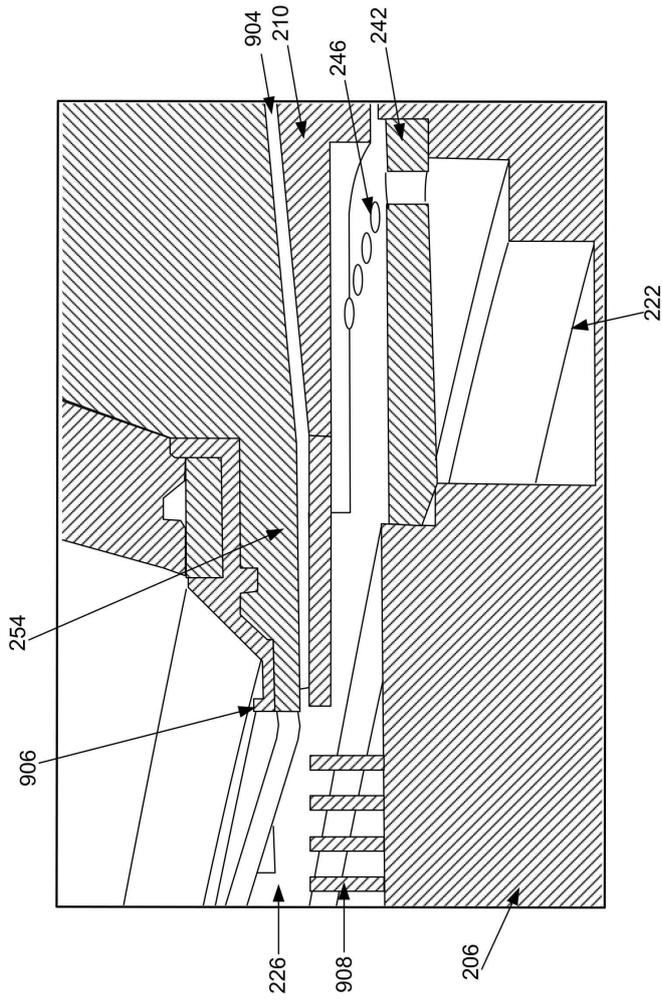
도면10a



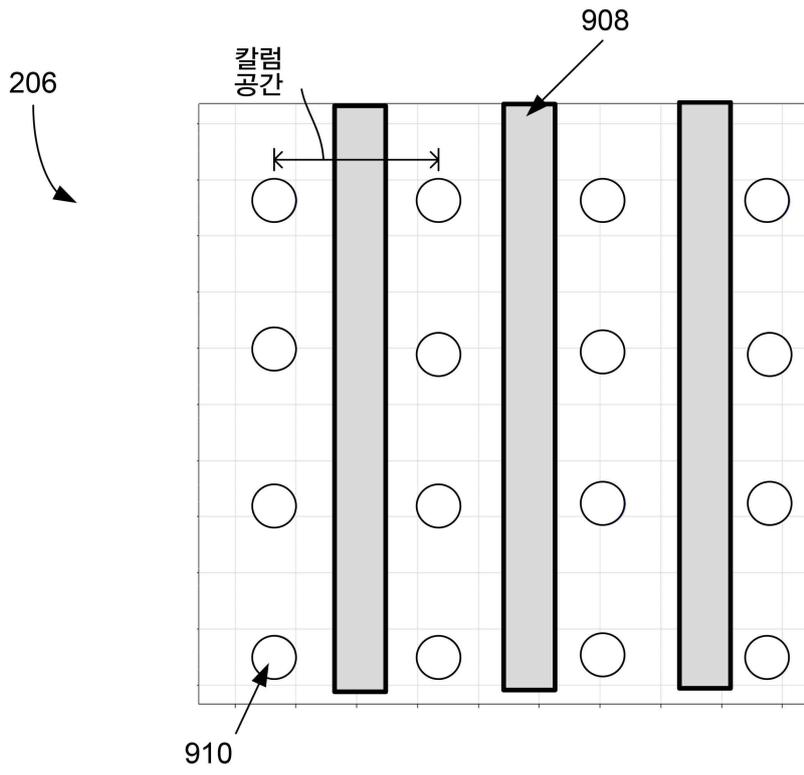
도면10b



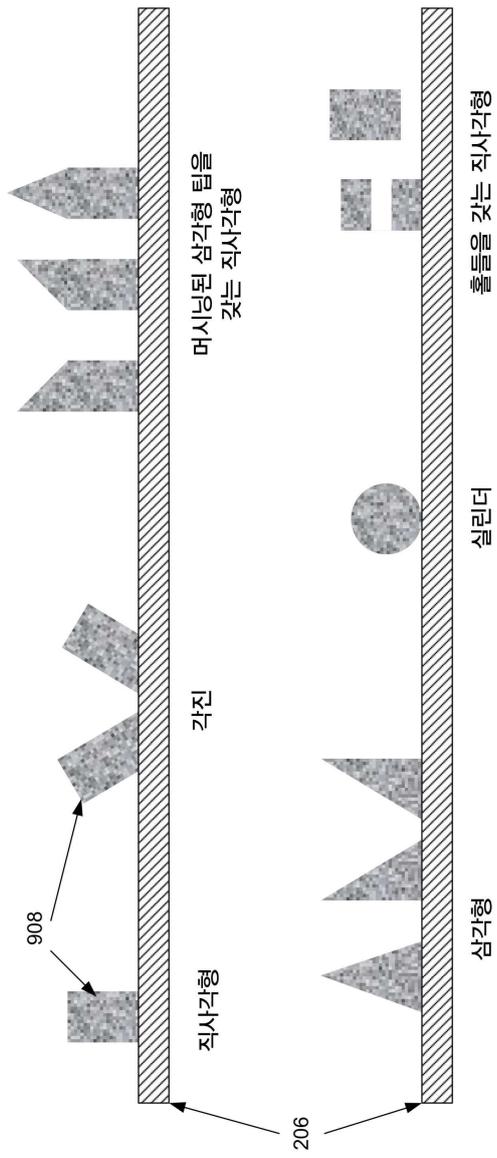
도면11



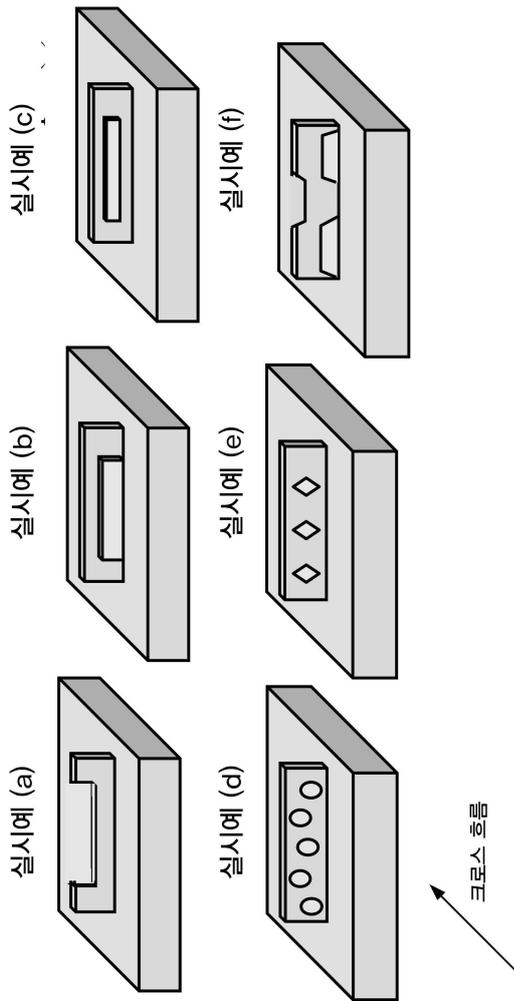
도면12



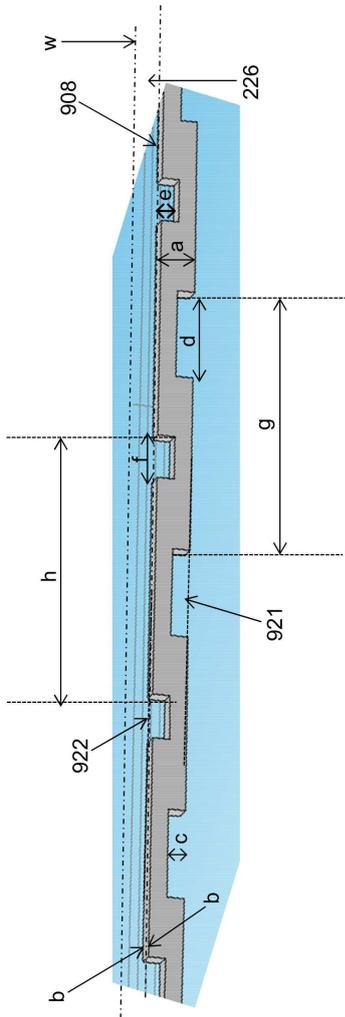
도면13



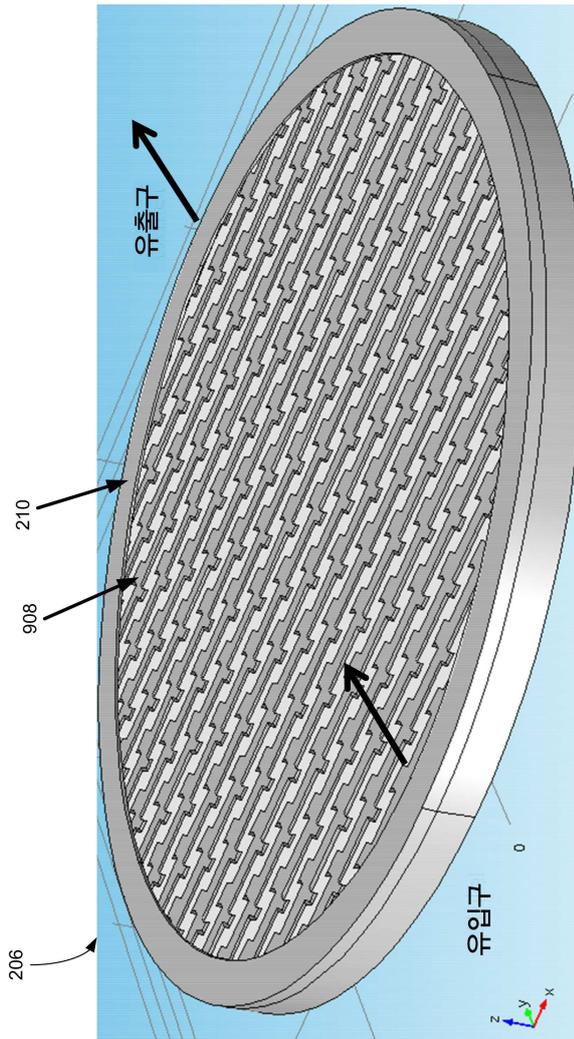
도면14



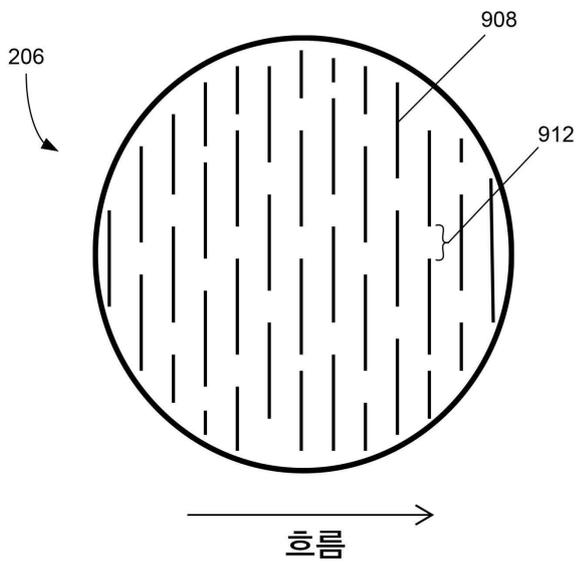
도면15



도면16



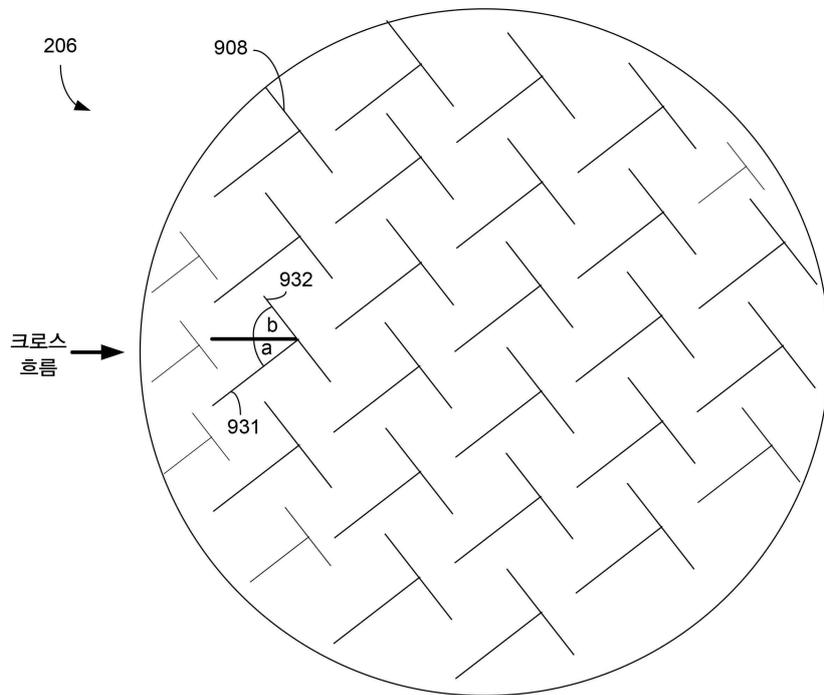
도면17



도면18



도면19



도면20

메트릭들	베이스라인 CIRP		2.5mm 돌기 CIRP	
3D 두께 변화 ($\frac{1}{2} \times 3\sigma$)/AVG	2.4 μ m/min 3.2 μ m/min	8.2% 8.7%	2.4 μ m/min 3.2 μ m/min	5.5% 6.7%
동일평면 $\frac{1}{2} \times (\text{Max-Min})/\text{AVG}$	2.4 μ m/min 3.2 μ m/min	6.1% 6.8%	2.4 μ m/min 3.2 μ m/min	6.0% 6.8%