



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0045040
(43) 공개일자 2012년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/68 (2006.01) H01L 21/683 (2006.01)
H01L 21/324 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7005562(분할)
(22) 출원일자(국제) 2003년12월19일
심사청구일자 2012년02월29일
(62) 원출원 특허 10-2005-7011663
원출원일자(국제) 2003년12월19일
심사청구일자 2008년12월04일
(85) 번역문제출일자 2012년02월29일
(86) 국제출원번호 PCT/CA2003/001959
(87) 국제공개번호 WO 2004/057650
국제공개일자 2004년07월08일
(30) 우선권주장
60/434,670 2002년12월20일 미국(US)
60/468,659 2003년05월08일 미국(US)

(71) 출원인
맷슨 테크놀로지 캐나다 인코퍼레이티드
캐나다 브리티시 컬럼비아 브이6피 6티7 밴쿠버
웨스트 켄트 애비뉴 3-605
(72) 발명자
캠 데이비드 말콤
캐나다 브리티시 컬럼비아 브이5알 2더블유8 밴쿠버
웨스트 14 애비뉴 3775
샘피어 길라우메
캐나다 브리티시 컬럼비아 브이6엠 4에이4 밴쿠버
바인 스트리트 404-6001
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박장원

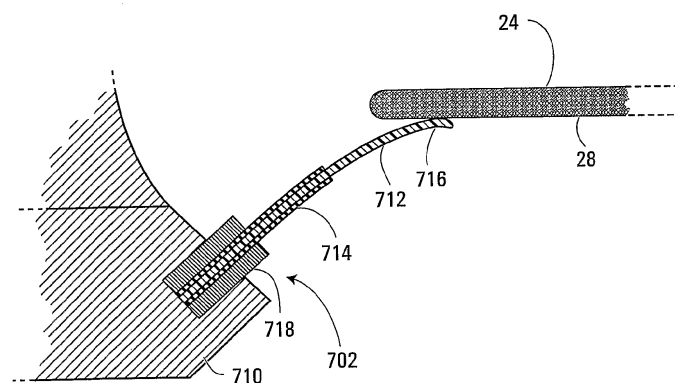
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 피가공물 지지 방법

(57) 요약

반도체 웨이퍼와 같은 피가공물을 지지하는 방법을 개시한다. 반도체 피가공물을 지지하는 방법은, 피가공물의 표면을 피가공물의 나머지 부분에 대해 가열함으로써 피가공물의 열-유도 거동을 발생시키는 단계로서, 상기 가열은 피가공물의 표면을 조사하는 단계를 포함하며, 상기 조사 단계는 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 시간 동안 표면을 조사하여 표면을 피가공물의 나머지 부분보다 높은 온도로 가열하는 단계를 포함하며, 상기 열-유도 거동을 발생시키는 단계는 피가공물의 외측 둘레 영역과 피가공물의 중앙부의 서로에 대한 수직 거동을 발생시키는 단계를 포함하는, 피가공물의 열-유도 거동을 발생시키는 단계와; 피가공물을 지지하면서, 피가공물의 외측 둘레 영역과 피가공물의 중앙부의 서로에 대한 수직 거동을 포함하는 피가공물의 상기 열-유도 거동을 가능하게 하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도22



(72) 발명자

칼루드예르키크 류보미르

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이6이 4엔2 밴쿠버 멜
빌 스트리트 2002-1238

스튜어트 그레고리

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이5에이치 4이4 버너
비 윌링던 애비뉴 905-6455

뭉블로비크 플라덴

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이6지 2더블유5 밴쿠
버 마리나사이드 크레센트 701-1288

트란 텡

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이3엠 0브이9 서레이
스트리트 8739-140비

데츠 세르기

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이7씨 1피6 리치몬드
로얄모어 애비뉴 3860

코마사 토니

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이6에이치 2엔2 밴쿠
버 오크 스트리트 4249

루돌프 마르크

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이5지 1와이3 밴쿠버
웨스트 17 애비뉴 935

시베레 조세프

캐나다 브리티쉬 컬럼비아 브이5씨 3와이2 버너비
리지론 드라이브 4890

특허청구의 범위

청구항 1

반도체 피가공물을 지지하는 방법으로서,

- 피가공물의 표면을 피가공물의 나머지 부분에 대해 가열함으로써 피가공물의 열-유도 거동을 발생시키는 단계로서,

상기 가열은 피가공물의 표면을 조사하는 단계를 포함하며,

상기 조사 단계는 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 시간 동안 표면을 조사하여 표면을 피가공물의 나머지 부분보다 높은 온도로 가열하는 단계를 포함하며,

상기 열-유도 거동을 발생시키는 단계는 피가공물의 외측 둘레 영역과 피가공물의 중앙부의 서로에 대한 수직 거동을 발생시키는 단계를 포함하는, 피가공물의 열-유도 거동을 발생시키는 단계와;

- 피가공물을 지지하면서, 피가공물의 외측 둘레 영역과 피가공물의 중앙부의 서로에 대한 수직 거동을 포함하는 피가공물의 상기 열-유도 거동을 가능하게 하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 피가공물 지지 방법.

명세서

기술분야

[0001] <관련 출원의 상호 참조>

[0002] 본 출원은 2002년 12월 20일 출원된 미국 특허 출원 제60/434,670호와 2003년 5월 8일 출원된 미국 가특허 출원 제60/468,659호의 우선권을 주장하는 출원으로서, 상기 출원들을 본 명세서에 참고로 포함한다.

[0003] 본 발명은 피가공물을 지지하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0004] 여러 응용 장치에서 피가공물을 지지시키는 것이 필요하다. 일례로, 마이크로프로세서와 같은 반도체의 제조에 있어서는 대표적으로 반도체 웨이퍼가 피가공물에 속하는데, 그러한 반도체 웨이퍼는 어닐링 또는 기타 다른 열처리 공정용의 열처리 공정 챔버 내에 지지되어야 한다. 일반적으로 웨이퍼는 다수의 지지핀(석영이 대표적임)이나 하나의 보호링(guard ring)(웨이퍼 자체의 재료와 유사한 반도체 재료로 제조되는 것이 보편적임)에 의해 챔버 내에 지지된다. 지지핀이나 보호링과의 물리적 접촉은 열처리 중에 웨이퍼에 온도 구배를 야기하고, 그로 인해 웨이퍼의 결정 격자나 웨이퍼 내의 장치에 손상을 주기 때문에, 여러 가지 통상의 시스템에서의 지지핀이나 보호링은 반도체 칩을 제조하는 데 사용되지 않는 좁은 "제외 영역" 또는 폐기 영역의 한정된 영역 내에서 웨이퍼의 외부 가장자리에서만 웨이퍼와 접촉한다. 제외 영역은 웨이퍼의 외주 가장자리로부터 짧은 거리(예, 3mm)만큼만 반경 방향 내측으로 연장된다. 그러나 적어도 일부의 종래 시스템에서의 지지핀은 제외 영역이 아닌 위치에서도 웨이퍼와 접촉한다. 일례로, 어떤 종래의 시스템에서는 웨이퍼의 중심으로부터 웨이퍼의 반경의 약 2/3의 거리에서 웨이퍼와 접촉하는 접촉핀을 채택하고 있다. 따라서, 웨이퍼를 지지하기 위하여 제외 영역을 사용하는 것이 많은 적용례에서 유리하기는 하지만, 그것은 본질적인 것이 아니라고 생각된다.

[0005] 반도체 칩의 장치 크기 및 성능 요건들을 증가시키는 요구들이 있어 왔고, 그 결과 이와 같이 발전된 요건들을 만족시키고자 하는 새로운 열처리법이 나타나고 있으며 기존의 열처리법은 수정되고 있다. 그러나 이와 같이 나타나는 열처리법의 일부 특정 적용례에서는 반도체 웨이퍼를 지지하는 종래의 방법이 더 이상 적절치 않게 되었다.

[0006] 위와 같은 새로이 나타나는 열처리법의 예에 대해서는, 캄(Camm) 등에게 특허 허여된 2003년 7월 15일자 미국 특허 제6,594,446호와, 2002년 8월 1일자로 공개 번호 US2002/0102098호로 공개된 본 출원인이 포괄 소유하고 있는 미국 특허 출원 제10/005,186호에 개시되어 있는바, 이들을 본 명세서에 참고로 포함한다. 이와 같은 방법 중 한 가지 방법은, 웨이퍼 전체가 중간 온도까지 비교적 균일하게 가열될 수 있도록 웨이퍼를 통한 열전도 시간보다 느린 속도로 웨이퍼를 중간 온도까지 예비 가열하는 단계를 포함한다. 이와 같은 예비 가열 단계는 웨이

퍼를 일레로 초당 100℃ 내지 400℃와 같은 온도 변화율(ramp rate)로 가열하기 위하여 아크 램프로 웨이퍼의 배면측 또는 기판측 표면을 조사(照射)함으로써 달성된다. 예비 가열 단계에 이어서, 웨이퍼의 상부측 또는 장치측 표면을 실질적으로 보다 높은 어닐링 온도까지, 웨이퍼를 통한 열전도 시간보다 아주 빠른 속도로 가열하고, 이에 따라 대부분의 웨이퍼가 비교적 차가운 중간 온도에 근접한 온도로 유지되면서 웨이퍼의 상부측 표면 영역이 최종 어닐링 온도까지 가열된다. 이는 웨이퍼의 상부측 표면을 플래쉬 램프로부터 나오는 고출력 플래쉬에 비교적 짧은 지속 시간 동안, 일레로 1 밀리초 정도 노출되게 함으로써 달성된다. 이어서 보다 차가운 웨이퍼의 나머지 부분은 히트 싱크(heat sink)로서 작용하여 상부측 표면의 신속한 냉각을 용이하게 한다.

[0007] 임의의 예비 가열 단계를 필수적으로 포함하지 않는 기타 다른 어닐링 방법은, 웨이퍼의 나머지 부분을 아주 낮은 온도로 유지하면서 웨이퍼의 장치측 표면을 일레로 엑시머 레이저나 마이크로웨이브 펄스를 이용하여 어닐링 온도까지 신속하게 가열하는 단계를 포함한다. 이와 같은 방법의 한 가지 변형례는 피가공물의 표면을 가로질러 레이저 선을 주사하고 그 주사가 실행됨에 따라 그 선에 의해 둘러싸인 피가공물의 영역을 신속하게 가열하는 것을 포함한다.

[0008] 그러나 본 발명자들은 위와 같은 어닐링 방법들 중 어떤 특정의 실시예는 이전에는 발견되거나 인식된 적이 없는 특별한 문제점과 난제가 야기될 수 있음을 알아내었다. 특히, 본 발명자들은, 피가공물을 지지하는 종래의 방법은 위와 같은 어닐링 방법의 어떤 적용례에서는 이하에서 상세히 설명하는 바와 같이 적절치 않다는 점을 발견하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서, 향상된 피가공물 지지 방법 및 시스템이 필요하다. 또한 본 명세서에서 논의된 난제를 해결하는 데 도움을 줄 수 있는 향상된 피가공물 열처리 방법도 필요하다.

과제의 해결 수단

[0010] 웨이퍼의 장치측 표면을 웨이퍼의 나머지 부분의 온도보다 실질적으로 높은 온도까지 신속하게 가열하는 단계를 포함하는, 이상에서 설명한 바와 같은 어닐링 방법에 따르면, 웨이퍼의 장치측 표면이 웨이퍼의 나머지 부분보다 높은 속도로 열팽창된다. 본 발명자들은, 웨이퍼의 장치측 표면의 온도와 웨이퍼의 나머지 부분의 온도 사이의 온도차는 그 크기에 따라서는 "열적 만곡(thermal bowing)" 현상을 야기할 수 있고, 그로 인해 일반적으로는 평탄한 웨이퍼 자체가 돔 형상, 즉 웨이퍼의 중심부가 가장자리부에 비해 비교적 융기되어 있는 돔 형상으로 변형될 수 있다는 점을 발견하였다. 돔 형상은, 웨이퍼의 장치측 표면과 웨이퍼의 나머지 부분 사이의 온도 구배의 결과인 열응력을 최소화하는, 이른바 최소 응력 형상을 나타내는 것이다. 그러나 웨이퍼의 장치측 표면이 가열될 때의 극단적인 신속성(일레로 1밀리초 정도의 플래쉬의 경우, 웨이퍼에서의 통상의 열전도 시간에 비해 훨씬 빠름)으로 인해, 웨이퍼 변형은, 웨이퍼의 가장자리가 웨이퍼를 챔버 내에 지지하는 지지핀 상에 큰 하향력을 가하기에 충분할 정도로 신속하게 발생할 수 있다. 종래의 지지핀은 통상적으로는 강성이기 때문에, 지지핀과 웨이퍼의 가장자리 사이의 반작용력은 웨이퍼를 손상시킨다. 그와 같은 반작용력은 또한 웨이퍼 자체를 지지핀으로부터 수직 방향으로 띄우고, 그 결과 웨이퍼가 아래로 떨어지면서 핀에 부딪혀 웨이퍼에 손상이 가해진다. 또한 종래의 지지핀은 그와 같은 반작용력을 이겨낼 수 있도록 설계되지 않았기 때문에 파단되는 경향이 있고, 그 결과 웨이퍼가 챔버 내에서 떨어져서 손상되거나 파괴된다. 또한, 열 만곡이 일어날 때의 신속성으로 인해, 웨이퍼의 여러 영역에 가해지는 초기 속도는 웨이퍼로 하여금 평형을 이룬 최소 응력 돔 형상을 지나치게 하며 진동하게 하고, 결국은 웨이퍼에 추가적인 응력과 잠재적 손상이 가해진다.

[0011] 피가공물의 열-유도 거동의 크기는 온도 도약(temperature jump), 즉 웨이퍼 전체가 가열되는 중간 온도와, 웨이퍼의 장치측 표면만이 아주 더 신속하게 가열되는 후속하는 온도와의 사이의, 온도차의 크기에 비례하여 증가하는 경향이 있다. 따라서, 강성의 고정형 지지핀 또는 링을 채택하는 종래의 지지 시스템을 사용하게 되면, 웨이퍼의 손상이나 파단 없이 얻을 수 있는 온도 도약의 크기에 바람직하지 않은 제한이 가해진다.

[0012] 본 발명은 본 발명의 제1 태양에 따르는 피가공물 지지 방법을 제공함으로써 위와 같은 요구를 해소한다. 본 발명의 피가공물 지지 방법은 피가공물의 열-유도 거동을 허용하면서 피가공물을 지지하는 단계를 포함한다. 바람직하기로는, 열-유도 거동을 방지하기보다는 오히려 허용함으로써 피가공물이 응력 최소화 형상으로 자연스럽게 변형되게 하여 피가공물 내의 응력을 감소시키는 것이다. 동시에, 열-유도 거동을 허용하면서도 피가공물을 계속 지지함으로써 피가공물이 바라는 영역에 유지되게 한다.

- [0013] 지지에는 지지 부재의 가동성 계합부를 피가공물과 계합(契合)시키는 것이 포함되고, 상기 가동성 계합부는 피가공물을 지지하면서 피가공물의 열-유도 거동을 허용할 수 있도록 움직일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 한 가지 중요한 적용례에 있어서, 피가공물에는 반도체 웨이퍼가 포함된다. 따라서, 계합에는, 웨이퍼를 지지하면서 웨이퍼의 열-유도 거동이 허용될 수 있도록 지지 부재의 가동성 계합부를 반도체 웨이퍼와 계합시키는 것이 포함된다.
- [0015] 본 발명의 방법은 피가공물의 열-유도 거동에 응답한 가동성 계합부의 이동을 자동적으로 허용하는 것을 포함한다.
- [0016] 열-유도 거동을 허용하는 것에는, 열-유도 거동 중에 피가공물을 지지하면서 피가공물 내의 응력을 최소화하기 위해 가동성 계합부의 이동을 허용하는 것이 포함된다.
- [0017] 열-유도 거동을 허용하는 것에는, 피가공물의 무게 중심을 소정 범위 내에 유지하면서 피가공물의 외부 영역의 이동을 허용하는 것이 포함된다. 유지에는 피가공물의 무게 중심의 이동을 최소화하는 것이 포함한다.
- [0018] 피가공물의 열-유도 거동을 허용하는 것에는, 피가공물의 열 만곡을 허용하는 것이 포함된다. 선택적으로, 이와 같은 피가공물의 열-유도 거동의 허용은 일례로 피가공물의 열 굽힘을 허용하는 것을 포함한다.
- [0019] 계합은, 강성의 가동성 지지 부재의 일부를 계합부로 하여 피가공물과 계합시키는 것을 포함한다.
- [0020] 지지 부재는 가요성으로 할 수 있고 구속부와 비구속부를 구비하고, 이 경우에 있어서 계합은 비구속부를 피가공물에 계합시키는 것을 포함한다.
- [0021] 계합은 지지 부재의 가동성 계합부를 피가공물에 탄성 계합시키는 것을 포함한다. 이들 실시예에 있어서는, 바람직하기로는, 피가공물의 열 만곡이 발생하였을 때에 피가공물의 외부 가장자리가 탄성적으로 계합된 가동성 계합부 상으로 눌러지게 하고, 그로 인해 계합부가 피가공물의 가장자리와 함께 하향으로 이동하게 해서, 피가공물이 그 원형 형상으로 복귀함에 따라서 피가공물의 외부 가장자리와 함께 탄성적으로 다시 올라가게 한다. 이와 같은 탄성 지지는 피가공물로 하여금 열 만곡되게 하고, 그로 인해 만곡 이동의 개시시에 웨이퍼 자체가 계합부로부터 상향으로 띄워지는 경향을 감소 또는 제거하면서도 내부 응력을 감소시킬 수 있다.
- [0022] 계합은 다수의 지지 부재 각각에 대응한 다수의 가동성 계합부를 피가공물과 계합시키는 것을 포함한다. 일례로, 계합은 적어도 3개의 지지 부재 각각에 대응한 적어도 3개의 가동성 계합부를 피가공물에 계합시키는 것을 포함한다. 이와 유사하게, 계합은 적어도 4개의 지지 부재 각각에 대응한 적어도 4개의 가동성 계합부를 피가공물에 계합시키는 것을 포함한다.
- [0023] 본 발명의 방법은 피가공물의 변형을 억제하는 단계도 추가로 포함할 수 있다. 억제는 피가공물의 적어도 한 가지 자연 변형을 억제하는 것을 포함한다. 이와 같은 억제에는, 피가공물의 2차 자연 변형 형태를 억제하는 것이 포함되거나, 혹은 예를 들어 피가공물의 1차 자연 변형 형태를 억제하는 것이 포함된다.
- [0024] 억제에는 피가공물의 운동 에너지를 흡수하는 것이 포함된다.
- [0025] 계합에는 다수의 지지핀 각각에 대응한 다수의 팁을 피가공물에 계합시키는 것이 포함된다. 이와 같은 계합에는 지지핀의 팁을 피가공물의 외주 영역에 계합시키는 것이 포함된다. 이 경우에 있어서, 본 발명의 방법은 피가공물의 외주 영역의 열-유도 거동에 응답하여 지지핀의 팁의 이동을 자동적으로 허용하는 것을 포함한다.
- [0026] 계합은 가동성 계합부들 각각을 피가공물에 탄성 계합시키는 것을 포함한다. 이와 같은 계합에는, 가동성 계합부 각각이 피가공물의 열-유도 거동 중에 피가공물과의 접촉을 유지할 수 있도록 지지 부재들 각각에 힘을 인가시키는 것이 포함된다.
- [0027] 힘 인가에는, 지지 부재들 각각에 토크를 인가시키는 것이 포함된다. 토크 인가에는, 지지 부재의 피벗 지점과 계합부 사이에 개재된 각 지지 부재 상의 위치에 상향력을 인가시키는 것이 포함된다. 선택적으로, 토크 인가에는 지지 부재의 피벗 지점이 지지 부재 상의 위치와 계합부 사이에 개재될 수 있도록 각 지지 부재 상의 위치에 하향력을 인가하는 것이 포함된다.
- [0028] 힘 인가에는 제1 및 제2의 반대되는 토크를 지지 부재들 각각에 인가하기 위하여 제1 및 제2 힘을 인가하는 것이 포함되는데, 여기서 상기 제2 토크는 평형 위치의 지지 부재에 의해 지나쳐서 대향되게 작용한다.
- [0029] 힘 인가는 스프링 힘의 인가를 포함한다. 이와 같은 힘 인가는 지지 부재들 각각에 연결된 스프링으로 힘을 인가하는 것을 포함한다. 일례로, 이와 같은 힘 인가에는 지지 부재들 각각에 연결된 일정 힘 스프링으로 정하중

력을 인가하는 것이 포함된다.

- [0030] 계합에는, 피가공물을 조사 가열시킬 수 있는 적어도 어떤 조사 과장에 대해 투명한 재료를 포함하는 다수의 지지판 각각에 대응한 다수의 지지팁을 피가공물에 계합시키는 것이 포함된다. 따라서, 일례로 계합에는 광학적으로 투명한 재료를 포함하는 다수의 지지판의 다수의 팁을 피가공물에 계합시키는 것이 포함된다.
- [0031] 계합에는, 석영을 포함하는 다수의 지지판의 다수의 팁을 피가공물에 계합하는 것이 포함된다. 선택적으로, 지지판은 사파이어를 포함하거나 금속을 포함한다. 일례로 지지판은 텅스텐을 포함할 수도 있다.
- [0032] 계합에는, 다수의 지지판의 다수의 코팅 팁을 피가공물에 계합시키는 것이 포함된다. 이와 같은 계합에는, 일례로, 다수의 텅스텐 지지판의 다수의 텅스텐 질화물 코팅 팁을 피가공물에 계합시키는 것이 포함된다. 선택적으로, 팁은 일례로 텅스텐 탄화물 코팅으로 구성할 수 있다.
- [0033] 계합에는, 다수의 지지판의 다수의 평활면 팁(smooth-surfaced tip)을 피가공물에 계합시키는 것을 포함한다. 바람직하게도, 상기 평활면 팁은 지지판과 피가공물 사이의 마찰을 감소시키게 된다. 이는 결국 피가공물의 굽힘 가능성을 줄이고, 그에 따라 굽힘 입자에 의한 오염이나 피가공물의 표면이 바람직하지 않게 조면화되는 것을 피할 수 있다. 마찰의 감소는 피가공물이 받는 응력을 감소시키는 데 도움이 된다. 상기 평활면 팁은 일례로 용융, 연마, 또는 코팅 팁을 포함한다.
- [0034] 본 발명의 방법은 피가공물의 열-유도 거동에 응답하여 가동성 계합부를 이동시키는 것도 포함한다. 가동성 계합부의 이동에는 지지 부재의 이동이 포함된다. 여기에는, 지지 부재 각각을 위해서, 지지 부재에 연결된 액추에이터로 전류를 인가하는 것이 포함된다. 전류 인가는 지지 부재에 연결된 보이스 코일 액추에이터(voice coil actuator)에 전류를 인가하는 것을 포함한다. 선택적으로, 전류 인가에는 지지 부재에 연결된 압전 액추에이터 또는 리니어 서보 액추에이터에 전류를 인가하는 것이 포함된다.
- [0035] 본 발명의 방법은 액추에이터의 가동 부재의 선형 이동을 지지 부재의 호형 이동으로 변환시키는 것도 추가로 포함한다.
- [0036] 이동에는 피가공물의 중량과 피가공물에 가해진 상향력 간의 차이를 최소화시키기 위해 다수의 지지 부재의 위치들을 다수의 지지 부재의 다수의 계합부에 의해 조정하는 것이 포함된다. 바람직하기로는, 이러한 실시예에서, 지지 부재에 의해 피가공물에 가해진 상향력은 피가공물 상에 하향으로 가해지는 중력과 균형을 이루기에 거의 충분하기는 하지만, 현저하게 크지는 않다. 이로 인해 피가공물 자체가 띄워지는 경향이 추가로 감소된다.
- [0037] 이동에는 피가공물의 중량과 피가공물에 가해진 상향력 간의 차이를 유지하기 위해 지지 부재의 위치들을 지지 부재의 계합부에 의해 소정의 범위 이내로 조정하는 것이 포함된다.
- [0038] 열-유도 거동에 응답하는 계합부의 이동에는 열-유도 거동의 사전 예상치에 응답하여 지지 부재가 이동하게 하는 것이 포함된다.
- [0039] 선택적으로, 열-유도 거동에 응답하는 계합부의 이동에는 열 유동 이동의 검출된 변수에 응답하여 지지 부재가 이동하게 하는 것이 포함된다.
- [0040] 따라서, 본 발명의 방법은 피가공물의 열-유도 거동을 검출하는 것도 추가로 포함한다. 검출은, 다수의 지지 부재들 각각에 연결된 다수의 액추에이터 각각에 있어서, 피가공물의 거동에 의해 지지 부재의 계합부에 인가된 힘으로 인해 야기된 전류를 검출하는 것을 포함한다.
- [0041] 계합부의 이동은 액추에이터 각각에 전류를 인가하는 것을 포함한다.
- [0042] 전류 검출은 지지 부재들 각각에 연결된 다수의 보이스 코일 액추에이터 각각의 전류를 검출하는 것을 포함하고, 계합부의 이동은 보이스 코일 액추에이터에 전류를 인가하는 것을 포함한다.
- [0043] 전류 검출은, 각 액추에이터에 있어서, 소정의 전류 수준으로부터 벗어난 전류의 편차를 검출하는 것을 포함하고; 계합부의 이동은, 각 지지 부재에 있어서, 상기 편차를 최소화하기 위해 지지 부재의 위치를 조정하는 것을 포함한다. 편차의 검출은 액추에이터와 통신하는 프로세서 회로에서의 편차를 검출하는 것을 포함한다.
- [0044] 계합은, 제1 다수의 지지 부재들 각각의 제1 다수의 가동성 계합 부재를 피가공물의 하면에 계합시키는 것과, 제2 다수의 지지 부재들의 제2 다수의 가동성 계합 부재를 피가공물의 상면에 계합시키는 것을 포함한다. 이와 같은 계합에는, 제1 및 제2 다수의 계합부를 피가공물의 외주 영역에서 피가공물의 하면 및 상면에 계합시키는

것이 포함된다.

- [0045] 이동은 피가공물과 계합부 사이에 인가된 힘을 최소화하기 위하여 계합부를 이동시키는 것을 포함한다. 일례로, 이동에는 피가공물의 하중과 제1 다수의 계합부와 피가공물 사이에 인가된 힘과의 차이를 최소화시키기 위하여 피가공물의 하면에 계합된 제1 다수의 지지 부재의 제1 다수의 계합부를 이동시키는 것이 포함된다. 이와 유사하게, 이동에는 피가공물과 제2 다수의 계합부 사이에 인가된 힘을 최소화시키기 위하여 피가공물의 상면에 계합된 제2 다수의 지지 부재의 제2 다수의 계합부를 이동시키는 것이 포함된다.
- [0046] 필요에 따라서는, 계합된 형태의 수동/능동 지지 방법을 채용할 수 있다. 일례로, 계합에는 지지 부재의 계합부를 피가공물에 탄성 계합시키는 것이 포함되고, 이동에는 지지 부재를 열-유도 거동에 응답하여 이동시키는 것이 포함된다. 탄성 계합에는 계합부가 피가공물과의 접촉을 유지할 수 있도록 하기 위해 지지 부재의 각각의 피벗 지점을 중심으로 지지 부재에 토크를 인가하는 것이 포함되고, 이동에는 지지 부재의 피벗 지점들을 이동시키는 것이 포함된다. 토크 인가에는 지지 부재의 피벗 지점이 아닌 다른 위치에서 지지 부재에 스프링 힘을 인가하는 것이 포함되고, 이동에는 지지 부재를 이동시키기 위하여 다수의 지지 부재에 연결된 다수의 액추에이터에 전류를 인가하는 것이 포함된다. 다수의 지지 부재는 다수의 가요성 지지 부재를 포함하고, 그 가요성 지지 부재 각각은 구속부와 비구속부를 구비한다. 이러한 경우, 탄성 계합은 가요성 지지 부재의 비구속부를 피가공물에 탄성 계합시키는 것을 포함하고, 이동은 지지 부재의 구속부를 이동시키는 것을 포함한다. 이동은 다수의 구속부에 연결된 다수의 액추에이터에 전류를 인가하는 것을 포함한다.
- [0047] 보다 일반적으로, 다수의 지지 부재는 구속부와 비구속부를 각각 구비하는 다수의 가요성 지지 부재를 포함하고, 다수의 가동성 계합부의 계합은 가요성 지지 부재의 비구속부를 피가공물에 계합시키는 것을 포함한다.
- [0048] 다수의 가요성 지지 부재는 다수의 섬유를 포함하고, 이 경우 계합은 상기 섬유들의 비구속부를 피가공물에 계합시키는 것을 포함한다. 일례로, 가요성 지지 부재는 석영 섬유 또는 사파이어 섬유를 포함한다.
- [0049] 본 발명의 방법은 가요성 지지 부재의 구속부들 각각을 구속하는 것도 추가로 포함한다.
- [0050] 구속에는, 피가공물의 외주 둘레에 배치된 다수의 구속기들에 구속부를 구속하는 것이 포함된다.
- [0051] 다수의 구속기들은 가요성 지지 부재의 개수보다 적은 수의 구속기로 구성되고, 구속에는 구속기 각각에 하나 이상의 가요성 지지 부재를 구속하는 것이 포함된다. 이러한 구속에는, 그 각각의 구속기에서, 일반적으로 서로 평행한 하나 이상의 가요성 지지 부재를 구속하는 것이 포함된다. 선택적으로, 이러한 구속에는, 서로가 일반적으로 발산하는 하나 이상의 가요성 지지 부재를 구속하는 것이 포함된다.
- [0052] 선택적으로, 다수의 구속기는 가요성 지지 부재와 동수의 구속기로 구성될 있고, 이 경우 구속에는 구속기들 중 대응하는 어느 한 구속기에 구속부를 각각 구속하는 것이 포함된다.
- [0053] 계합에는 비구속부 각각이 피가공물의 열-유도 거동 중에 피가공물과 접촉을 유지할 수 있도록 구속기 각각에 힘을 인가하는 것이 포함된다. 힘 인가에는 토크 인가가 포함된다. 이러한 인가에는 스프링 힘의 인가도 포함된다.
- [0054] 계합에는 계합부 각각을 피가공물의 하면에 피가공물의 평면에 대해서 10 내지 80도의 각도로 계합시키는 것이 포함된다. 보다 구체적으로는, 이러한 계합에는 피가공물의 평면에 대해 15 내지 35도의 각도로 계합시키는 것이 포함된다. 보다 더 구체적으로는, 이러한 계합에는 피가공물의 평면에 대해 25도의 각도로 계합시키는 것이 포함된다.
- [0055] 가요성 지지 부재들 각각은 그 단부에 구속부를 포함하고, 구속에는 비구속부가 피가공물의 중앙 영역을 향하여 내향으로 연장될 수 있도록 구속부를 구속하는 것이 포함된다.
- [0056] 비구속부 각각의 내부 팁은 피가공물의 외부 가장자리를 지나서 내향으로 연장되고, 이 경우 계합은 구속부와 내부 팁과의 사이의 비구속부를 따르는 중간 지점을 피가공물의 외부 가장자리와 계합시키는 것을 포함한다.
- [0057] 구속에는 피가공물을 둘러싸는 피가공물의 평판에 구속부를 구속하는 것이 포함된다. 구속에는 클램핑이 포함된다.
- [0058] 구속부 각각의 구속에는, 구속부를 피가공물의 평판에 고정시키고 비구속부는 피가공물의 평판에 형성된 피가공물 지지 구멍을 관통하여 피가공물을 향하여 내향으로 연장되게 하는 것이 포함된다.

- [0059] 구속에는, 비구속부가 하향으로 처지면서 피가공물의 중앙 영역을 향하여 대체로 수평 방향에서 내향으로 연장되도록 구속부를 대체로 수평 방향으로 구속하는 것이 포함된다.
- [0060] 계합에는 비구속부를 피가공물의 외부 가장자리에 계합시키는 것이 포함된다. 이러한 계합에는 비구속부를 피가공물의 외부 가장자리에 피가공물의 평면에 대해 약 10도 미만의 각도로 계합시키는 것이 포함된다.
- [0061] 다수의 가요성 지지 부재는 다수의 긴 가요성 지지 부재를 포함한다. 다수의 긴 가요성 지지 부재는 적어도 20개의 긴 가요성 지지 부재를 포함하고, 이 경우 구속에는 적어도 20개의 긴 가요성 지지 부재 각각을 피가공물의 평판에 구속시키는 것이 포함된다. 이와 유사하게, 다수의 긴 가요성 지지 부재는 적어도 50개의 긴 가요성 지지 부재를 포함하고, 이 경우 구속에는 적어도 50개의 긴 가요성 지지 부재 각각을 피가공물의 평판에 구속시키는 것이 포함된다.
- [0062] 가요성 지지 부재 각각은, 비구속부가 사이에 형성된 지지 부재의 양 단부에, 제1 구속부 및 제2 구속부를 포함하고, 이 경우 구속은 비구속부가 제1 구속부와 제2 구속부를 이격되게 구속하여 이들 사이의 곡선 경로에서 비구속부가 연장되게 하는 것을 포함한다.
- [0063] 구속에는, 제1 구속부와 제2 구속부를 구속하여 비구속부로 하여금 제1 구속부로부터 접촉 영역까지 피가공물을 향하여 상향 내향으로 곡선 경로를 따라서 연장되게 하고 또한 접촉 영역으로부터 제2 구속부까지 하향 외향으로 연장되게 하는 것을 포함한다.
- [0064] 구속에는, 비구속부가 곡선 경로를 따라서 연장될 수 있도록 제1 구속부와 제2 구속부를 구속하여서, 접촉 영역에서의 비구속부에 대한 접선이 인접하는 접촉 영역에서의 피가공물의 외주에 대한 접선에 실질적으로 평행하게 하는 것이 포함된다.
- [0065] 선택적으로, 구속에는, 비구속부가 곡선 경로를 따라서 연장될 수 있도록 제1 구속부와 제2 구속부를 구속하여서, 접촉 영역에서의 비구속부에 대한 접선이 피가공물의 중앙을 향하여 반경 반향에서 내향으로 연장되게 하는 것이 포함된다.
- [0066] 또 다른 선택적 예로서, 구속에는, 비구속부가 곡선 경로를 따라서 연장하여서, 피가공물의 평면 아래의 제1 구속부로부터 연장되며 피가공물의 하면에서 피가공물과 접촉하는 대체로 고리형인 제1 경로 부분, 피가공물 평판의 외부 가장자리와 내부 가장자리 사이에서 연장되는 대체로 고리형인 제2 경로 부분, 및 피가공물의 평면 위에서 연장되며 피가공물의 상면에서 피가공물과 접촉하는 대체로 고리형인 제3 경로 부분을 형성할 수 있도록, 제1 구속부와 제2 구속부를 구속하는 것이 포함되고, 여기서 상기 곡선 경로는 제2 구속부에서 종료된다.
- [0067] 본 발명의 방법은 또한 대체로 고리형인 제3 경로 부분을 피가공물의 상면 위에 형성된 공간으로부터 이동시키기 위해 제2 구속부를 후퇴시키는 것도 포함한다.
- [0068] 구속에는 제1 구속부와 제2 구속부를 고정하여서 이들 구속부의 이동을 방지하는 것이 포함된다.
- [0069] 구속에는 제1 구속부와 제2 구속부 중 적어도 하나의 구속부를 후퇴 가능하게 구속하는 것이 포함된다. 본 발명의 방법은 또한 비구속부를 효과적으로 짧게 하기 위하여 제1 구속부와 제2 구속부 중 적어도 하나의 구속부를 후퇴시키는 것도 포함한다. 이와 반대로, 본 발명의 방법은 또한 비구속부를 효과적으로 길게 하기 위하여 제1 구속부와 제2 구속부 중 적어도 하나의 구속부를 연장시키는 것도 포함한다.
- [0070] 다수의 가요성 지지 부재는 제1 다수의 가요성 지지 부재와 제2 다수의 가요성 지지 부재를 포함하고, 이 경우 다수의 가동성 계합부의 계합에는, 다수의 제1 가요성 지지 부재의 비구속부를 피가공물의 하면에 계합시키는 것과, 다수의 제2 가요성 지지 부재의 비구속부를 피가공물의 상면에 계합시키는 것이 포함된다.
- [0071] 본 발명의 방법은 또한 피가공물을 측방향으로 지지하는 것도 포함한다. 측방향으로 지지하는 것에는, 피가공물의 외부 가장자리에 대해서 각각의 위치에 다수의 측방향 지지 부재를 배치시키는 것이 포함된다. 배치에는, 다수의 측방향 지지 부재를 피가공물의 외부 가장자리와 탄성 계합시키는 것이 포함된다.
- [0072] 배치에는 다수의 가요성 섬유들을 각각의 위치에 배치시키는 것이 포함된다. 이와 같은 배치에는 가요성 섬유들을 피가공물의 평면에 실질적으로 수직인 각도로 배치시키는 것이 포함된다.
- [0073] 계합과 측방향 지지에는, 지지 부재의 수직 지지 계합부를 피가공물의 하면에 계합시키는 것과, 지지 부재의 측방향 지지 계합부를 피가공물의 외부 가장자리에 계합시키는 것이 포함된다.
- [0074] 계합과 측방향 지지에는, 다수의 지지 부재 각각의 다수의 수직 및 측방향 지지 계합부를 피가공물과 계합시키

는 것이 포함된다. 계합과 측방향 지지에는, 수직 및 측방향 지지 계합부를 피가공물과 탄성 계합시키는 것이 포함된다. 계합과 측방향 지지에는, 수직 및 측방향 지지 계합부와 마찬가지로 가요성 계합부를 계합시키는 것이 포함된다. 계합과 측방향 지지에는, 수직 및 측방향 지지 계합부와 마찬가지로 제1 및 제2 섬유를 계합시키는 것이 포함된다.

[0075] 위치시키기에는, 다수의 광섬유를 위치시키는 것이 포함된다. 이와 유사하게, 위치시키기에는, 일례로 다수의 석영 섬유 또는 사파이어 섬유를 위치시키는 것이 포함된다.

[0076] 본 발명의 다른 태양에 따르면, 피가공물을 열처리하는 방법이 제공된다. 본 발명의 열처리 방법은 피가공물의 열-유도 거동을 야기하기 위하여 피가공물의 표면을 피가공물의 나머지 부분에 대해서 가열하는 것을 포함한다. 가열에는 피가공물의 표면에 조사하는 것을 포함한다. 조사에는, 피가공물의 표면을 피가공물의 나머지 부분의 온도보다 높은 온도까지 가열하기 위하여 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 시간 동안 표면을 조사하는 것을 포함한다. 조사에는, 일례로 약 1밀리초간 미만 시간 동안 표면을 조사하는 것이 포함된다.

[0077] 조사에는, 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 제1 시간 동안 피가공물의 표면을 조사하여서 피가공물의 표면을 피가공물의 나머지 부분의 온도보다 높은 중간 온도까지 가열하는 것을 포함한다. 이어서, 조사에는 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 제2 시간 동안 피가공물의 표면을 조사하여서 피가공물의 표면을 중간 온도보다 높은 소정의 온도까지 가열하는 것을 포함하고, 여기서 상기 제2 시간은 피가공물의 적어도 일부 열 만곡이 허용될 수 있게 하기에 충분한 제1 시간에 이어져서 중간에 시작되는 것이다. 바람직하게도, 이와 같은 방법은 제1 시간 동안의 조사로 인한 피가공물의 내부 열 만곡의 크기를 줄이게 되며, 제2 시간 동안의 후속하는 조사는 피가공물의 변형을 억제하는 데 도움을 준다.

[0078] 조사에는 제1 시간 동안보다는 제2 시간 동안에 피가공물의 표면에 보다 더 많은 조사 에너지를 부여하는 것을 포함한다.

[0079] 조사에는 제1 시간의 종료에 이어서 수 밀리초간 내에 제2 시간을 개시하는 것을 포함한다.

[0080] 조사에는, 피가공물의 열 전도 시간보다 짧으나 피가공물의 적어도 일부 열 만곡을 허용하기에는 충분히 긴 중간 시간 동안에 피가공물의 표면을 연속하여 조사하는 것을 포함한다. 연속하여 조사하는 것에는, 중간 시간 동안에 조사의 강도를 변화시키는 것이 포함된다. 변화시키는 것에는, 중간 시간의 초기 중에는 중간 시간의 말기 중에 보다 큰 강도로 표면을 조사하는 것이 포함된다. 바람직하게도, 이와 같은 방법에 의하면 피가공물의 열 만곡의 크기를 줄일 수 있게 되고 피가공물의 후속하는 변형을 억제할 수 있게 된다.

[0081] 조사에는 표면을 플래쉬 램프로 조사하는 것이 포함된다.

[0082] 바람직하게도, 이와 같은 열처리 방법은, 본 발명자들이 찾아낸 이점, 즉 표면 가열 단계에서의 신속도의 여하에 따라서 피가공물의 열 만곡은 피가공물의 온도 증가를 유의적으로 지연시킬 수 있다는 이점을 취함으로써, 피가공물 내의 열 응력을 감소시키고 변형을 억제시키는 역할을 한다. 일례로, 한 가지 특정 예에 있어서, 제1 시간 동안의 조사가 약 1밀리초간 동안의 플래쉬 가열에 의해 달성되는 경우, 조사 표면의 피크 온도는 플래쉬의 중기($t = 1\text{ms}$)와 거의 동시에 발생한다. 그러나 그 때에 웨이퍼는 열 만곡을 막 시작하게 되고, 그에 따라 최대 열 만곡 크기 중 비교적 작은 비율의 열 만곡 크기만 얻어진다. 최대 열 만곡 크기는 거의 4 밀리초간 후에나 얻어지는데, 그 때 웨이퍼는 그 평형 형상을 지나쳐간다. 약 $t = 6\text{ms}$ 의 짧은 시간 후에도 여전히 웨이퍼는 상당히 만곡되지만, 상당한 복귀 속도로 평탄 위치로 복귀한다. 본 발명의 상기 태양의 일 실시예에 따르면, 웨이퍼의 장치측 표면은 제2 조사 플래쉬를 받게 되는데, 그 시간은 웨이퍼가 이미 제1 플래쉬로부터 열 만곡되고서 평탄 위치로 복귀하는 동안에 제2 조사 플래쉬에 따른 열 만곡이 발생될 수 있도록 맞추어진다.

[0083] 제2 플래쉬에 따른 열 만곡에 의해 생성된 웨이퍼 내의 응력은 감소되는데, 그 이유는 웨이퍼가 제1 플래쉬로 인해 이미 열 만곡되었기 때문이다. 제2 플래쉬에 따른 열 만곡은 웨이퍼가 그 평탄 위치로 복귀하려고 할 때의 웨이퍼의 기존의 복귀 속도에 반대되는 방향으로도 작용한다. 따라서, 제2 플래쉬에 따른 열 만곡은 제1 플래쉬에 의한 잔류 변형을 억제하게 된다. 이와 같은 두 단계의 플래쉬 가열 단계를 신속하게 이어서 하는 조합을 하면, 보다 높은 피크 온도를 얻을 수 있게 되고, 이와 함께 웨이퍼의 잔류 변형을 감소시킬 수 있다. 연속 조사의 선택적 사용도 역시 유사한 이점들을 제공한다.

[0084] 이와 같은 열처리 방법은 본 명세서에서 설명하는 지지 방법 및 시스템을 조합하여 채택하거나 아니면 그 각각을 별개로 채택할 수 있다.

[0085] 본 발명의 다른 태양에 따르면, 피가공물을 지지하는 장치가 제공된다. 피가공물 지지 장치는 피가공물의 열-유

도 거동을 하면서 피가공물을 지지하도록 구성된 지지 시스템을 포함한다.

- [0086] 예시적인 지지 시스템의 여러 구성 요소들에 대해서는 뒤에서 설명하는 본 발명의 예시적인 실시예에서 설명한다.
- [0087] 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 피가공물을 지지하기 위한 장치가 제공된다. 피가공물 지지 장치는 피가공물을 지지하는 수단과, 피가공물을 지지하면서 피가공물의 열-유도 거동을 허용하는 수단을 포함한다.
- [0088] 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 피가공물을 지지하면서 피가공물의 열-유도 거동을 허용하는 피가공물 지지 시스템을 제어하기 위하여 프로세서 회로에 명령을 내리는 코드가 저장된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체(computer readable medium)가 제공된다. 명령 코드는 피가공물과 결합된 지지 시스템의 지지 부재의 가동성 결합부의 이동이 피가공물의 열-유도 거동에 응답하여 야기될 수 있도록 프로세서 회로에 명령을 내리는 코드를 포함한다.
- [0089] 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 통신 매체 또는 반송파 중 적어도 하나에 포함된 신호가 제공되고, 상기 신호는 피가공물을 지지하면서 피가공물의 열-유도 거동을 허용하는 피가공물 지지 시스템을 제어하기 위하여 프로세서 회로에 명령을 내리는 코드 세그먼트를 포함한다. 상기 코드 세그먼트는 피가공물과 결합된 지지 시스템의 지지 부재의 가동성 결합부의 이동이 피가공물의 열-유도 거동에 응답하여 야기될 수 있도록 프로세서 회로에 명령을 내리는 코드 세그먼트를 포함한다.
- [0090] 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 본 발명에서 개시한 방법들이 실행될 수 있도록, 프로세서 회로에 의해 실행되었을 때에 피가공물 지지 시스템을 제어하는 코드 수단을 포함하는 컴퓨터 프로그램이 제공된다. 유사하게, 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 본 발명에서 개시한 방법들이 실행될 수 있도록, 프로세서 회로에 의해 실행되었을 때에 피가공물 지지 시스템을 제어하는 코드를 반송하는 반송기에 대한 컴퓨터 프로그램이 제공된다.

발명의 효과

- [0091] 본 발명의 피가공물 지지 방법은 피가공물을 지지하면서 피가공물의 수직 거동을 포함하는 열-유도 거동을 허용함으로써, 피가공물의 손상없이 피가공물을 바라보는 영역에 유지시킬 수 있는 장점이 있다.
- [0092] 본 발명의 기타 다른 태양과 특징들도 첨부 도면과 관련하여 이하에서 설명하는 특정 실시예에 대한 설명을 살피게 되면 당업자라면 명확히 파악할 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0093] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 피가공물과 피가공물 지지 장치(apparatus for supporting the workpiece)의 상향 사시도이다.
- 도 2는 도 1의 지지 장치의 지지기(supporting device)의 스프링 드럼과 지지 부재(supporting member)의 하향 사시도이다.
- 도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 지지기의 단면도이다.
- 도 4는 도 1 내지 도 3에 도시된 다수의 지지기에 의해 열처리 챔버 내에 지지된 도 1 내지 도 3에 도시된 피가공물의 단면도이다.
- 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 피가공물과 피가공물 지지 장치의 부분 측면도이다.
- 도 6은 피가공물과 결합 가능한 지지 부재 및 지지 부재와 협동하여 작동되는 액추에이터를 포함하는, 본 발명의 제3 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 하향 사시도이다.
- 도 7은 도 6에 도시된 지지 부재와 협동하여 작동되는 보이스 코일 액추에이터를 단순화시켜 도시한 단면도이다.
- 도 8은 도 6에 도시된 지지 부재에 호형 이동을 부여하기 위한 운동 병진기(motion translator)와 협동하여 작동하는 액추에이터의 이동 부재를 포함하는, 제4 실시예에 따른 피가공물 지지 장치를 단순화시켜 도시한 측면도이다.
- 도 9는 도 8에 도시된 이동 부재, 운동 병진기, 및 지지 부재를 제2 위치에서 도시한 단순화된 측면도이다.
- 도 10 내지 도 12는 본 발명의 제5 실시예에 따른 피가공물 지지 장치를 단순화시켜 도시한 부분 측면도이다.

도 13 내지 도 14는 본 발명의 제6 실시예에 따른 피가공물 지지 장치를 단순화시켜 도시한 부분 측면도이다.

도 15는 본 발명의 제7 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기의 측면도이다.

도 16은 본 발명의 제8 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기의 측면도이다.

도 17은 본 발명의 제9 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기의 부분 하면도이다.

도 18은 본 발명의 제10 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기의 부분 하면도이다.

도 19는 도 16에 도시된 지지기의 측면도이다.

도 20은 본 발명의 제11 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기의 부분 측면도이다.

도 21은 본 발명의 제12 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기와 피가공물의 사시도이다.

도 22는 도 21에 도시된 지지기의 단면도이다.

도 23은 본 발명의 제13 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지 시스템(support system)과 피가공물의 사시도이다.

도 24는 도23에 도시된 지지 시스템의 지지기의 부분 하면도이다.

도 25는 본 발명의 제14 실시예에 따른 피가공물 지지 시스템과 피가공물의 사시도이다.

도 26은 도 25에 도시된 피가공물과 지지 시스템의 상부 사시도이다.

도 27은 도 25에 도시된 피가공물과 지지 시스템의 단면도이다.

도 28은 도 27에 도시된 피가공물과 지지 시스템의 상세 단면도이다.

도 29는 도 25에 도시된 지지 시스템과 피가공물의 하면도이다.

도 30은 도 25 내지 도 29에 도시된 지지 시스템의 지지 부재 클램프의 배면도이다.

도 31은 본 발명의 제15 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지 시스템의 부분 단면도이다.

도 32는 본 발명의 제16 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지 시스템의 부분 단면도이다.

도 33은 도 32에 도시된 지지 시스템의 측방 지지기의 정면도로서, 피가공물 평판 구멍의 중앙에서 반경 방향 바깥쪽을 향하여 도시한 정면도이다.

도 34는 본 발명의 제17 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지 시스템의 부분 단면도이다.

도 35는 본 발명의 제18 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지 시스템의 부분 단면도이다.

도 36은 도 1 내지 도 3에 도시된 다수의 지지기에 의해 열처리 챔버, 즉 본 발명의 제19 실시예에 따라서 변형되어 있는 열처리 챔버 내에 지지된 도 1 내지 도 3에 도시된 피가공물의 단면도이다.

도 37은 본 발명의 제20 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지 부재의 측면도이다.

도 38은 본 발명의 제21 실시예에 따른 피가공물 지지 장치의 지지기의 부분 측면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0094] 도 1 내지 도 4를 참고하면, 도 1에는 본 발명의 제1 실시예에 따른 피가공물 지지 장치가 일반적으로 도시되어 있다. 본 실시예에 있어서, 피가공물 지지 장치는 피가공물(24)의 열-유도 거동을 허용하면서 지지하도록 구성된 지지 시스템(20)을 포함한다.
- [0095] 본 실시예에서, 지지 시스템(20)은 도면 부호 21로 표시되는 지지기를 포함한다. 보다 구체적으로는, 본 실시예에서, 지지기(21)는 피가공물(24)에 결합되는 지지 부재(22)를 포함한다. 보다 더 구체적으로는, 본 실시예에서, 지지 부재(22)는 도 3에 도시된 가동성 결합부(52)를 구비하는데, 상기 가동성 결합부는 피가공물(24)과 결합되며 또한 피가공물을 지지하면서 피가공물의 열-유도 거동을 허용한다.
- [0096] 본 실시예에서, 지지 부재(22)의 가동성 결합부(52)는 지지 부재의 틸을 포함한다. 본 실시예에서, 지지 부재(22)는 강성이고, 가동성 결합부(52)는 이하에서 보다 상세하게 설명한 바와 같이 선회 운동할 수 있는 지지 부

재(22)에 의해 움직여진다. 선택적으로, 가동성 계합부(52)는 일례로 본 명세서에서 설명하는 또 다른 실시예와 관련하여 설명하는 것과 같은 또 다른 방식으로 움직여질 수 있다.

[0097] 본 실시예에서, 피가공물(24)에는 반도체 웨이퍼가 포함되며, 가동성 계합부(52)는 반도체 웨이퍼와 계합되어서 그 반도체 웨이퍼를 지지하면서 반도체 웨이퍼의 열-유도 거동을 허용한다. 보다 구체적으로는, 본 실시예에서 반도체 웨이퍼는 상측 또는 장치측 표면(26)과 배면측 또는 기관측 표면(28)을 갖는다.

[0098] 본 실시예에서 지지 시스템(20)은 다수의 지지 부재(22) 각각에 해당하는 다수의 가동성 계합부(52)를 포함한다. 보다 구체적으로는, 본 실시예에서 피가공물(24), 즉 반도체 웨이퍼는, 지지기(21)와 그리고 이와 유사한 일례로 도 4에 도면 부호 32 및 34로 도시된 것과 같은 다수의 지지기(도 1에는 도시되지 않음)에 의해서 피가공물 평판(30) 내에 지지된다. 바람직하기로는, 다수의 가동성 계합부는, 피가공물을 안정되게 지지할 수 있도록 하기 위해서는, 적어도 3개의 지지 부재 각각에 대해 적어도 3개의 가동성 계합부를 포함하는 것이 좋다. 보다 더 바람직하기로는, 다수의 가동성 계합부는, 지지 부재가 고장나거나 제대로 작동하지 않는 경우에도 피가공물을 안정되게 지지할 수 있도록 하기 위해, 적어도 4개의 지지 부재 각각에 대해 적어도 4개의 가동성 계합부를 포함하는 것이 좋다.

[0099] 그러나, 이와 함께, 지지 부재의 수를 보다 더 많게 하면 안정성이 더해지지만, 가동성 계합부의 총 중량을 최소화시키는 것이 바람직하다. 이와 관련하여, 고밀도 조사 플래쉬(high-density irradiance flash)를 채택한 열 처리를 받게 되는 반도체 웨이퍼를 포함하는 본 실시예에서, 지지 시스템은, 웨이퍼의 이동을 자유롭게 하여 플래쉬 중에 웨이퍼가 받는 응력을 감소시키면서 플래쉬 이후의 변동을 2차적으로 감쇄시킬 수 있도록 구성된다. 이러한 구성을 달성하기 위해서는, 웨이퍼 상의 지지 부재로부터 나오는 반작용력을 최소화시키는 것이 바람직하다. 이러한 것은, 본 실시예에서는 질량을 최소화시킨 가동성 계합부를 채택함으로써 달성되는데, 여타 다른 실시예에서 반작용력은 다른 방식으로, 일례로 지지체를 적극적으로 이동시키는 것과 같은 방식으로 최소화된다.

[0100] 본 실시예에서, 지지 부재(22) 각각은 지지핀을 포함한다. 따라서, 본 실시예에서는, 다수의 지지 부재(22)의 다수의 가동성 계합부(52)는 다수의 지지핀 각각에 대한 다수의 팁을 포함한다.

[0101] 본 실시예에서, 다수의 지지핀은 피가공물(24)을 조사 가열할 수 있는 적어도 어떤 조사 파장에 대해서 투명한 재료를 포함한다. 따라서, 본 실시예에서 다수의 지지핀은 광학적으로 투명한 재료를 포함한다. 보다 구체적으로, 본 실시예에서 지지핀은 석영 지지핀을 포함한다. 이와 관련하여, 석영은 낮은 열 전도율, 투명도, 비오염성, 열 안정성 및 강성으로 인해 본 실시예(조사에 의해 가열되는 반도체 웨이퍼가 피가공물인 실시예)의 지지핀용으로 특히 적합한 재료이다. 선택적으로, 유사한 적용에 있어서는 기타 다른 재료도 적절하고, 그에 따라 지지핀은 일례로 사파이어, 질화 규소, 또는 탄화 규소를 선택적으로 포함할 수 있다. 선택적으로, 장치 있을 수 있는 적용 요건에 따라서는 기타 다른 재료로 대체될 수도 있다.

[0102] 본 실시예에서, 여러 지지 부재(22)의 여러 가동성 계합부(52) 각각은 피가공물(24)과 탄성 계합될 수 있다. 이를 위해, 본 실시예에서의 지지 시스템(20)은, 피가공물의 열-유도 거동 중에 각 가동성 계합부(52)가 피가공물(24)과 접촉 유지할 수 있게 하기 위하여 지지 부재(22)에 힘을 가할 수 있도록 하는, 다수의 지지 부재(22)와 연통하는 다수의 힘 인가기(force applicator)를 추가로 포함한다. 보다 구체적으로는, 이하에서 보다 상세히 설명하는 바와 같이, 힘 인가기 각각은 지지 부재(22)들 각각에 연결된 스프링(48)을 포함한다.

[0103] 이를 위해 본 실시예에서는 피가공물 평판(30)이 지지기(21)의 지지 부재 하우징(36)에 연결되고, 그 지지 부재 하우징에는 지지 부재(22)가 선회 가능하게 연결된다. 피가공물 평판(30)은 또한 스프링 어셈블리(38)에 연결되고, 그 스프링 어셈블리(38)는 지지 부재(22)가 연결되어 있는 스프링(48)을 포함한다.

[0104] 도 3을 참고하면, 지지기(21)가 보다 상세하게 도시되어 있다. 본 실시예에서 지지 부재(22)는 지지 부재 하우징(36)에 선회 가능하게 연결된다. 이를 위해, 본 실시예에서는 스테인리스강 도웰 핀(dowel pin)을 포함하는 피벗 핀(40)이 지지 부재 하우징(36)의 양쪽 내벽에 연결되어 지지 부재(22)의 한 단부에 형성된 구멍을 통하여 연장된다.

[0105] 본 실시예에서, 스프링 조립체(38)가 스프링 드럼(42)을 포함하는데, 상기 스프링 드럼은 본 실시예에서는 테프론을 포함한다. 선택적으로, 일례로 스테인레스강과 같은 기타 다른 재료로 대체될 수도 있다. 스프링 드럼(42)은 스프링 하우징(44) 안에 하우징되어, 스프링 홀더 브라켓(46)에 의해 피가공물 평판(30)에 장착된다. 스프링 드럼(42)은 스프링(48)을 장착시키는 데 사용되는데, 상기 스프링은 본 실시예에서는 일정 힘 스프링(constant force spring)을 포함한다.

- [0106] 본 실시예에서 가압기, 또는 보다 구체적으로는 지지 부재(22)에 연결된 스프링(48)은 토크 인가 장치 역할을 한다. 이를 위해, 본 실시예에서 스프링(48)은 링크(50)에 연결되고, 상기 링크는 본 실시예에서는 스테인레스 강으로 구성된다. 링크(50)는, 지지 부재(22)가 피가공물(24)과 접촉하게 되는 계합부(52)와 지지 부재(22)의 선회 지점(피벗 핀(40)의 위치)과의 사이에 개재된 지지 부재 상의 위치에서, 지지 부재(22)에 선회 가능하게 연결된다. 따라서, 토크 인가 장치, 또는 보다 구체적으로는 스프링(48)은 링크(50)가 지지 부재(22)에 연결되어 있는 위치에서 상향력을 인가한다. 스프링(48)에 의해 가해진 일정한 힘과, 지지기(21)와 유사한 기타의 지지기의 일정 힘 스프링에 의해 가해진 힘은, 지지 부재에 의해 피가공물에 인가되어 누적된 일정한 상향력이 피가공물 상의 하향 중력과 균형을 이룰 수 있도록 선정된다.
- [0107] 본 실시예에서, 지지 부재(22)의 가동성 계합부(52), 즉 본 실시예에서는 지지핀의 팁을 포함하는 가동성 계합부(52)는, 피가공물(24)의 하측 또는 기판측 표면(28)과 접촉하여 피가공물을 지지한다. 보다 구체적으로, 본 실시예에서 지지핀의 팁은 피가공물의 외주 영역, 보다 구체적으로는 반도체 칩을 제조하는 데 사용되지 않는 외측 "제외 영역" 또는 폐기 영역에 계합된다. 본 실시예에서 피가공물(24)은 반경이 150mm인 실리콘 반도체 웨이퍼이고, 외부 제외 영역은 피가공물의 외부 가장자리로부터 반경 방향에서 내향으로 3mm 연장된다(즉, $r=147\text{mm}$ 로부터 $r=150\text{mm}$ 까지). 따라서, 피가공물의 기판측 표면(28)과 지지 부재(22)의 가동성 계합부(52) 사이의 물리적 접촉으로 인해 열처리 공정 중에 고도로 국부화된 온도 구배와 같은 잠재적 유해 영향이 야기될 정도도로, 국부화 구배가 장치측 표면(26) 상에 형성된 장치에 손상을 끼치지 않는 것을 것이다.
- [0108] 도 4를 참조하면, 이 실시예에서는 열처리 챔버(60) 내에서 피가공물(24)을 지지하기 위하여 지지 장치(21) 및 (예시되어 있는 지지 장치(32, 34)와 같은) 유사한 다른 지지 장치가 사용된다. 보다 구체적으로는, 이 실시예에서 피가공물(24)의 장치측(device side)(26)을 열 어닐링하기 위한 챔버(60)는 전술한 미국 특허출원공보 US2002/0102098호에 개시되어 있는 열처리 챔버와 유사하다. 이 실시예에서, 지지 장치(31) 및 유사 지지 장치(32, 34)를 포함하는 피가공물 평판(workpiece plane plate)(30)은 챔버(60)의 중앙 영역에 장착된다.
- [0109] 이 실시예에서 열처리 챔버(60)는, 피가공물(24)의 크기에 비례하여 피가공물(24)의 표면을 가열하여 피가공물의 열-유도 거동을 일으키도록 구성된 가열 시스템을 포함한다. 보다 구체적으로는, 이 실시예에서 가열 시스템은 피가공물의 표면을 조사(照射)하도록 구성된 조사 시스템을 포함한다. 이 실시예에서 조사 시스템은 예열 장치(62)와 가열 장치(64)를 포함한다.
- [0110] 아크 램프 또는 아크 램프의 배열체(array)를 포함하는 예열 장치(62)는, 예를 들면 수냉 석영 창(63)을 통하여 피가공물을 조사하여, 피가공물을 통한 열 전도 시간보다도 느린 속도로 피가공물을 중간 온도(intermediate temperature)까지 예열하고, 따라서 피가공물 전체는 중간 온도까지 비교적 균일하게 가열될 수 있다. 예를 들면, 예열 장치는 $250^{\circ}\text{C}/\text{초}$ 내지 $400^{\circ}\text{C}/\text{초}$ 의 속도로 600°C 내지 1250°C 의 중간 온도까지 피가공물을 예열할 수도 있으며, 이는 단지 설명을 위한 예일 뿐이다.
- [0111] 예열 단계 후에, 조사 시스템 또는 보다 구체적으로 가열 장치(64)는, 피가공물(24)의 열 전도 시간보다도 짧은 시간 동안 표면(이 경우에 장치측(26))을 조사하여 피가공물의 나머지 부분(bulk)보다도 높은 온도로 표면을 가열하도록 구성된다. 즉, 가열 장치(64)는 웨이퍼를 통한 열 전도 시간보다도 훨씬 빠른 속도로 피가공물의 장치측(26)을 급속 가열하는 데 사용되고, 따라서 피가공물의 상측 표면 영역만이 가열되고, 피가공물의 나머지 부분은 상대적으로 보다 저온인 중간 온도에 가까운 상태로 유지된다. 최종 어닐링 온도는 보다 고온인 1050°C 내지 실리콘의 용점에 가까운 온도(예를 들면 1410°C)의 범위일 수 있다.
- [0112] 이를 달성하기 위하여, 본 실시예에서 조사 시스템 또는 보다 구체적으로 가열 장치(64)는, 지속 시간이 비교적 짧은(바람직하기로는 1ms(millisecond) 이하 정도인) 고출력의 플래쉬로 수냉 석영 창(65)을 통해 장치측(26)을 조사하여 예를 들면 $10^5^{\circ}\text{C}/\text{초}$ 를 상회하는 가열 속도로 장치측(26)을 가열하도록 작동 가능한 플래쉬-램프를 포함한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 플래쉬 램프는 액냉식(液冷式) 아크 램프를 포함한다. 보다 더 구체적으로 플래쉬 램프는, 파페니우크 등이 공동 소유하고 있는 미국 특허공보 제6,621,199호에 개시되어 있는 아크 램프와 유사하고 미국 특허출원 공개 US2002/0102098호에 개시되어 있는 플래쉬 램프로서 작용하도록 구성된 2중 수벽(water-wall) 아크 램프를 포함한다. 플래쉬 램프에 의해 생성되어 장치측(26)에 입사하는 1ms 플래쉬는 피가공물의 열 전도 시간(전형적으로 10ms - 15ms)보다 훨씬 빠르기 때문에, 장치측(26)은 최종 어닐링 온도로 가열되는 반면에, 피가공물의 나머지 부분은 실질적으로 중간 온도를 유지한다. 따라서, 보다 저온의 웨이퍼의 나머지 부분은 히트 싱크(heat sink)으로서 작용하여 장치측 표면의 급속 가열을 용이하게 한다. 다른 방법으로서, 상기 플래쉬 램프 대신에 예를 들면 플래쉬 램프들의 배열체와 같은 기타 유형의 가열 장치를 사용할 수도 있다.

- [0113] 플래쉬의 단시간 지속 정도 및 피가공물의 나머지 부분의 중간 온도와 장치측(26)만이 가열되어 도달하는 최종 어닐링 온도의 차이에 따라, 본 명세서에서 전술한 바와 같이, 피가공물(24)은 급속한 열 만곡(thermal bowing)을 겪을 수도 있다. 본 실시예에서 지지 시스템(20)은, 피가공물(24)을 지지하면서 피가공물의 열 만곡이 가능하도록, 보다 구체적으로는 피가공물의 외측 둘레 영역의 열-유도 거동에 대응하여 지지 핀의 선단의 이동이 가능하도록 구성되는 것이 바람직하다. 따라서, 웨이퍼 가장자리의 초기의 하향 열 만곡 이동에 의해 지지 핀이 파손되거나 지지 핀으로부터 웨이퍼가 수직 상승되는 경향이 있는 종래 시스템과는 대조적으로, 본 실시예에서는 가열 장치(64)에 의해 생성된 가열 플래쉬에 의하여 피가공물(24)이 열 만곡되면, 지지 부재(22)가 연결된 스프링(48)에 의하여, 지지 부재(22)의 가동(可動)식 계합부(52)는 그러한 열-유도 거동에 대응하여 자동적으로 이동 가능하다. 따라서, 급속한 열 만곡이 발생하면, 피가공물과 지지 부재(즉, 지지 장치(21)의 지지 부재(22) 및 유사 지지 장치들의 유사 지지 부재들)는 하향 이동이 가능하고, 그에 따라 지지 부재와 피가공물 사이의 반응력이 감소하여 지지 부재의 파손이 방지되고, 피가공물 자체가 상향 이동하는 것이 방지된다. 후자와 관련하여, 가동성 계합부(52)의 탄성적 하향 가동성은, 피작업물의 외측 영역의 하향 이동을 가능하게 하면서, 피가공물의 무게 중심을 소망 범위 내에 유지시키는데, 보다 구체적으로는 피가공물의 무게 중심의 이동을 최소화한다. (특정 용도에 있어서는, 다른 범위의 무게 중심 이동이 허용되거나 그러한 범위를 목표로 하는 경우도 있다.) 또한, 피가공물의 돔 형상으로서의 초기 변형은 피가공물 내의 응력을 최소화하므로, 그러한 열-유도 거동과 변형을 가능하게 하는 계합부의 가동성은 피가공물 내의 응력을 최소화하도록 하는 역할을 하면서 그와 동시에 열-유도 거동 중에 피가공물을 지지한다. 본 명세서에서 전술한 바와 같이, 열 만곡이 매우 급격히 발생하므로 피가공물은 평형 형상으로부터 벗어나는 경향이 있고, 따라서 평형 형상을 기준으로 진동 또는 요동하는 경향이 있다. 따라서, 피가공물의 외측 가장자리가 다시 상승하기 시작하고 피가공물의 중심이 다시 하강함에 따라, 일정한 힘의 스프링(48)에 의해 지지 부재(22)에 가해지는 상향력은 지지 부재를 다시 밀어 올리고 피가공물의 외측 가장자리와의 접촉을 유지시키게 된다. 피가공물이 계속 진동할 때에, 피가공물의 외측 가장리리는 상하로 이동하도록 허용되면서 지지 부재(22)(및 유사 지지 부재들)와 접촉을 유지하고, 그 후 진동이 멈추게 된다. 따라서, 스프링 구동에 의한 지지 부재(22)의 상하 이동은 피가공물의 외측 영역의 상하 이동을 가능하게 하면서, 피가공물의 무게 중심의 이동을 최소화하고 피가공물 내의 응력을 최소화한다.
- [0114] 도 5를 참조하면, 본 발명의 제2 실시예에 따른 지지 장치 전체가 도면 부호 80으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 장치(80)는 전술한 바 있는 지지 부재(22)와 유사한 지지 부재(82)를 포함한다. 이 실시예에서, 지지 부재(82)는 지지 부재 하우징(미도시)에 장착되고, 선회 운동을 하도록 피벗 지점(84)에 장착된다. 앞서 설명한 실시예에서와 같이, 지지 장치(80)는 하중 인가기 보다 구체적으로는 스프링(86)을 구비한 토크 부여기를 포함하며, 스프링은 지지 부재(82)에 연결되고 피접촉물의 열-유도 거동 중에 지지 부재(82)에 힘을 가하여 계합부(88)를 피가공물과 접촉하도록 유지시킨다. 그러나, 본 실시예에서 토크 부여기는 지지 부재(82) 상의 소정 위치에 하향력을 가하도록 구성되며, 따라서 지지 부재(82)의 피벗 지점(84)은 지지 부재(82) 상의 소정 위치와 계합부(88) 사이에 배치된다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 피벗 지점(84)은, 지지 부재(82)가 스프링(86)에 연결되는 점과, 지지 부재의 계합부(88)와 피가공물(24) 사이의 접촉 점 사이에 배치된다. 따라서, 도 3의 구성과는 달리, 본 실시예에서 스프링(86)(이 실시예에서는 일정한 힘의 스프링을 포함)은 지지 부재(82)의 일단에 하향력을 가함으로써, 피가공물(24)의 중량에 의해 지지 부재(82)의 계합부(88)에 가해지는 토크를 상쇄하는 토크를 제공한다.
- [0115] 도 6을 참조하면, 본 발명의 제3 실시예에 따라 피가공물을 지지하기 위한 시스템 전체가 도면부호 100으로 도시되어 있다. 이 시스템(100)은 피가공물(24)을 지지하면서 피가공물의 열 만곡 또는 기타 열-유도 거동을 허용하는 지지 장치(102)를 포함한다.
- [0116] 이 실시예에서, 지지 장치(102)는 피가공물(24)과 계합할 수 있는 가동성 계합부를 구비하는 지지 부재(104)를 포함한다. 이 실시예에서 가동성 계합부는 지지 부재(104)의 선단을 포함한다. 지지 부재(104)는 강성이 있고, 후술하는 바와 같이 지지 부재(104) 전체가 이동 가능하기 때문에 가동성 계합부는 이동 가능하다.
- [0117] 본 실시예에서 지지 부재(104)는 피가공물의 기관측(28)의 외측 둘레에서의 배제 영역(exclusion zone)과 계합될 수 있다. 지지 부재(104)는, 본 발명의 제1 실시예와 관련하여 설명한 이유와 마찬가지로의 이유에 의하여 석영 핀을 포함한다. 석영 핀 대신에, 다른 재료를 사용할 수도 있다.
- [0118] 이 실시예에서, 시스템(100)은 지지 부재(104)와 유사하고 예를 들면 지지 부재(108)와 같은 다수의 지지 부재들을 또한 포함한다. 피가공물을 안정적으로 지지하기 위해서는, 시스템(100)은 적어도 3개의 그러한 지지 부재를 포함하는 것이 바람직하다. 지지 부재들 중 하나가 파손되거나 적절한 기능을 수행하지 못하게 될 경우에도

피가공물의 안정적인 지지를 유지하도록, 4개 이상의 지지 부재가 제공되는 것이 이상적이다.

- [0119] 이 실시예에서 시스템(100)은, 피가공물(24)의 열-유도 거동에 대응하여 다수의 지지 부재(104)의 가동성 계합부를 이동시키도록 구성된 지지 부재 이동 시스템을 포함한다. 보다 구체적으로, 지지 부재(104)가 강성을 갖는 이 실시예에서 시스템은, 지지 부재(104) 자체를 이동시킴으로써 계합부를 이동시키도록 구성된다. 보다 더 구체적으로 이 실시예에서 지지 부재 이동 시스템은, 각각의 지지 부재(104)에 대하여 지지 부재(104)의 이동을 제어하기 위하여, 각각의 지지 부재(104)에 연결된 각각의 액추에이터(106)를 구비한다.
- [0120] 따라서, 이 실시예에서 시스템(100)은, 각각의 지지 부재를 기동시키기 위하여, 액추에이터(106)와 유사한 다수의 액추에이터(미도시)를 포함한다. 각 액추에이터(106)는, 예를 들면 도 6에 도면부호 110으로 도시된 장착 브라켓에 의하여 피가공물 평판(30)의 상면에 장착된다. 지지 부재(104)는 피가공물 평판(30)을 통과하여 형성된 구멍(112)을 통하여 액추에이터(106)로 신장한다.
- [0121] 도 6과 도 7을 참조하면, 대표적인 액추에이터(106)가 도 7에 더욱 상세히 도시되어 있다. 이 실시예에서 액추에이터(106)는 지지 부재(104)에 연결된 보이스 코일(voice coil) 액추에이터를 포함한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 액추에이터(106)는, 브라켓(110)에 장착된 고정 부재(120)와 이 고정 부재에 대하여 이동하는 이동 부재(122)를 포함한다. 고정 부재(120)는 이동 부재(122)를 통해 자장을 생성한다. 이를 달성하기 위하여, 본 실시예에서 고정 부재(120)는 영구 자석(124)과 강자성 부재(126)를 포함한다. 이 실시예에서 이동 부재(122)는 전선 코일(128)을 포함한다. 액추에이터(106)는 전선 코일(128)의 양단 사이에 전력을 인가하고 그에 따라 코일 내에 전류를 형성시키도록 작동 가능한 전력 공급 유닛(130)을 또한 포함한다. 이동 부재(122)의 코일 내에 형성된 전류에 의하여, 고정 부재(120) 내에 생성된 자장은 전류 방향에 의존하는 방향으로 이동 부재(122)에 힘을 미친다. 가해지는 힘의 크기는 코일(128) 내의 전류의 크기와 직접 비례한다.
- [0122] 이 실시예에서 액추에이터의 이동 부재(122)는 지지 부재(104)에 연결된다. 따라서, 지지 부재(104)에 의하여 피가공물(24)의 기관측(28)의 외측 가장자리에 미치는 상향 지지력의 크기는, 액추에이터(106)의 코일(128) 내의 전류를 제어함으로써 제어될 수 있다.
- [0123] 이 실시예에서, 지지 부재 이동 시스템은, 각각의 액추에이터에 전류를 인가하여 각각의 지지 부재를 이동시키고 그에 따라 가동성 계합부를 이동시키도록 구성된 적어도 하나의 제어기를 포함한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 적어도 하나의 제어기는, 다수의 액추에이터(106)들 각각과 연결된 각각의 제어기로 이루어진 다수의 제어기를 포함한다. 보다 더 구체적으로 이 실시예에서 각 제어기는, 피가공물의 열-유도 거동을 감지하는 감지기로써 작용하기도 하는 조합형 감지기/제어기(132)를 포함한다. 이 실시예에서 감지기/제어기(132)는 전력 공급 유닛(130)과 액추에이터(106)의 코일(128)과 연결된다. 따라서 이 실시예에서 감지기/제어기는 코일(128) 내의 전류를 검출함으로써 피가공물의 열-유도 거동을 감지하고, 제어기는 전력 공급 유닛(130)을 제어하여 코일(128)에 전류를 인가함으로써 지지 부재(104)를 이동시킨다.
- [0124] 본 실시예에서 각 감지기/제어기(132)는 프로세서 회로를 포함한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 각 감지기/제어기는 디지털 신호 프로세서(DSP)를 포함한다. 다른 방법으로서 감지기/제어기(132)는 예를 들면 중앙 처리 유닛(CPU)을 구비하거나 구비하지 않은 마이크로제어기 또는 그와 유사한 장치를 포함할 수도 있다. 다른 방법으로서 기타 유형의 감지기 또는 제어기를 사용할 수도 있고, 감지 및 제어 기능은 동일한 구성요소 또는 다른 구성요소에 의해 실행될 수도 있다. 보다 일반적으로 특허청구범위를 포함하여 본 명세서에서는, "제어기", "감지기" 및 "프로세서 회로"라는 용어는, 본 발명에서 개시된 기능 또는 그와 균등한 기능을 수행할 수 있는 모든 장치 또는 장치들의 조합을 포괄하기 위한 것이며, 예를 들면 기타 유형의 마이크로프로세서, 마이크로제어기, 기타 집적 회로, 기타 유형의 회로 또는 회로들의 조합, 논리 게이트 또는 게이트 어레이, 또는 모든 종류의 프로그래밍 가능한 장치들 단독 또는 서로 동일한 위치 또는 원격 위치에 배치된 전술한 유형의 여러 장치들의 조합을 포함한다. 당업자라면 본 명세서를 참조하여 또 다른 유형의 제어기, 감지기 및 프로세서를 사용할 수 있다는 점이 명확하며, 그와 같은 다른 유형의 제어기, 감지기 또는 프로세서로 대체하는 것도 첨부된 특허청구범위에 의해 규정되는 본 발명의 사상을 벗어나지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0125] 본 실시예에서 감지기/제어기(132)는, 본 명세서에 기재된 여러 기능을 수행하기 위하여 감지기/제어기(132)를 지시하기 위한 명령 코드(instruction code)를 저장하는 컴퓨터-가독형 매체로서 작용하는 프로그램 메모리(134)를 포함한다. 프로그램 메모리(132)는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체의 일례에 불과하다는 점을 이해하여야 한다. 다른 방법으로서 그러한 명령 코드는, 몇 가지만을 예시하자면, 콤팩트 디스크, 플로피 디스켓, 하드 디스크 드라이브, 읽기 전용 메모리, 또는 플래쉬 메모리와 같은 다른 매체 상에 제공될 수도 있다. 다른 방법으로서, 그러한 명령 코드를 컴퓨터 데이터 신호의 형태로 제공하기 위하여 내장 메모리(local memory)에 의

존하는 것보다는, 명령 코드는, 반송파(carrier wave) 내에 구현되거나 근거리 네트워크 또는 인터넷 등의 광역 네트워크와 같은 통신 매체나 전송 매체 내에 구현된 신호의 코드 세그먼트(code segment)로서 제공될 수도 있고, 원격 장치로부터 수신될 수도 있다.

[0126] 도 4, 도 6 및 도 7을 참조하면, 도 4에 도시되어 있는 열처리 챔버(60) 내의 지지 장치(21, 32, 34) 대신에, 도 6에 도시되어 있는 지지 장치(102)와 유사한 다수의 지지 장치가 사용될 수 있다. 일반적으로 이 실시예에서 지지 부재 이동 시스템은 지지 부재(104)의 계합부를 이동시켜 피가공물(24)과 계합부 사이에 가해지는 힘을 최소화하도록 구성되며, 이에 대하여 이하에서 보다 상세히 설명한다.

[0127] 예열 장치(62)에 의하여 피가공물(24)의 기관측(28)이 조사되어 피가공물이 소망의 중간 온도까지 가열되는 예열 단계 중에, 감지기/제어기(132)는 전력 공급 유닛(130)을 제어하여 코일(128)의 리드선에 가해지는 전압을 제어함으로써 코일(128) 내의 소망 크기의 일정한 전류가 흐르도록 하고, 그에 따라 상응하는 일정한 상향력을 이동 부재(122)와 지지 부재(104)에 가하고, 피가공물(24)의 기관측(28)의 외측 가장자리에도 상향력을 가한다. 지지 부재(104)에 의하여 그리고 다른 지지 장치의 유사한 지지 부재에 의하여 피가공물에 가해지는 일정한 상향력이 피가공물(24)에 작용하는 중력의 하향력과 정밀하게 균형을 이루도록, 원하는 크기의 전류가 선택된다.

[0128] 그 후, 피가공물의 장치측(26)이 가열 장치(64)로부터의 고출력 조사 플래쉬에 노출되어 장치측이 보다 고온의 소망 온도로 가열되면서 피가공물의 벌크는 보다 저온의 중간 온도에서 유지되는 후속 가열 단계에서, 피가공물은 전술한 바와 같이 (플래쉬의 단시간 지속 정도에 따라 그리고 피가공물의 벌크의 중간 온도와 장치측(26)만이 가열되는 최종 어닐링 온도의 차이의 크기에 따라) 급속한 열 만곡을 다시 겪게 된다. 그와 같은 급속한 열 만곡이 발생하면 피가공물은 초기에 급속히 변형되므로, 피가공물(24)의 외측 가장자리는 지지 부재(104)의 계합부(및 다른 지지 장치의 유사한 지지 부재의 계합부)에 갑자기 상당한 하향력을 가하게 된다. 이러한 돌발적인 하향력은 그에 상응하는 돌발적인 코일(128) 내 전류 증가를 유발한다. 따라서, 본 실시예에서 피가공물(24)의 열-유도 거동을 감지하기 위하여, 각 감지기/제어기(132)는 피가공물의 열-유도 거동에 의하여 각 지지 부재(104)의 계합부에 가해지는 힘으로부터 유래하는 전류를 각 액츄에이터(106) 내에서 감지하도록 구성된다. 보다 구체적으로 감지기/제어기(132)는 코일(128) 내의 전류와 소망 전류 레벨의 편차를 검출하는데, 소망 전류 레벨은 피가공물에 의해 지지 부재 상에 작용하는 중력과 정밀하게 균형을 이루도록 하는 전술한 바와 같은 소망 크기의 일정한 전류를 의미한다.

[0129] 전술한 방식으로 열-유도 거동을 감지하면, 감지기/제어기(132)는 각각의 지지 부재(104)의 위치를 조정하도록 구성되어, 피가공물(24)의 중량과 지지 부재의 계합부에 의해 피가공물에 가해지는 상향력의 차이를 소정 범위 내로 유지시킨다. 보다 구체적으로 각각의 감지기/제어기(132)는 차이를 최소화하도록 구성된다. 이를 달성하기 위하여 본 실시예에서는, 열-유도 거동에 기인하는 코일(128) 내의 전류 레벨의 전술한 바와 같은 편차를 검출하면, 감지기/제어기(132)는 액츄에이터(106)를 제어하도록 구성되어, 지지 부재(104)의 위치를 조정하여 편차를 최소화한다. 이를 달성하기 위하여 감지기/제어기(132)는 전력 공급 유닛(130)을 제어하여 코일(128)의 리드선에 인가되는 전압을 조정함으로써 코일 내의 실제 전류가 소망 크기로 돌아가도록 하고, 그에 따라 지지 부재(104)에 의해 피가공물(24)에 가해지는 상향력을 감소시키며, 따라서 지지 부재(104)는 단지 피가공물의 하향 중력만을 상쇄시키고 피가공물의 초기 열 변형 또는 만곡에 의해 가해지는 부가적인 하향력을 상쇄시키지는 않는다. 따라서, 피가공물이 초기에 만곡될 때에, 피가공물(24)의 외측 가장자리가 갑자기 하강할 수 있도록 지지 부재는 효과적으로 하강한다. 전술한 바와 같이, 열 만곡은 너무 급격히 발생하여 피가공물이 평형 형상으로부터 벗어나는 경향이 있고, 평형 형상을 기준으로 하여 진동하거나 요동한다. 따라서, 피가공물의 외측 가장자리가 다시 상승하기 시작하고 피가공물의 중심이 다시 하방으로 이동할 때에, 감지기/제어기(132)는 지지 부재(104)에 (지지 부재 상에 가해지는 피가공물의 중량과 정밀하게 균형을 이루는 상향력에 상응하는) 소망 크기의 전류를 계속 인가하지만, 피가공물의 가장자리의 상향 열 만곡 이동에 의하여, 이러한 상향력은 피가공물에 의해 지지 부재에 가해지는 하향력을 더 이상 완전히 상쇄하지 않으며, 따라서 지지 부재(104)는 피가공물의 가장자리와 함께 상승한다. 마찬가지로, 피가공물의 후속 진동 사이클이 개시되고 피가공물의 가장자리가 다시 하강할 때에, 피가공물의 가장자리에 의해 지지 부재(104)에 가해지는 하향력은 다시 한번 지지 부재(104)에 의해 가해지는 상향력보다 커지게 되어 코일(128) 내의 전류 변화를 일으키고, 감지기/제어기(132)는 신속히 전력 공급 유닛(130)을 제어하여 코일 내의 실제 전류를 조정하며, 따라서 지지 부재(104)에 의해 피가공물에 가해지는 상향력은 중력만을 상쇄하고, 그에 따라 지지 부재(104)는 피가공물의 가장자리의 열 만곡 하강에 의해 추가로 부여되는 힘을 받아 하강될 수 있다. 피가공물이 계속 진동할 때에 피가공물의 외측 가장자리는 상하로 이동하도록 허용되고, 진동이 멈출 때까지 외측 가장자리는 지지 부재(104)(및 유사한 지지 부재)와 접촉을 유지하게 된다.

- [0130] 다른 방법으로서, 액츄에이터(106)는 여러 유형의 액츄에이터를 포함할 수 있다. 예를 들면 액츄에이터(106)는 선형 서보 액츄에이터를 포함할 수 있다. 또는, 또 다른 방법으로서 액츄에이터(106)는 압전 액츄에이터를 포함할 수 있다. 이와 관련하여, 압전 액츄에이터는 반응 시간이 (전형적으로 10-5초 이상으로) 신속하고 이동이 정밀하고 유용한 힘이 크기 때문에 바람직하다. 그러나 대부분의 기존의 압전 액츄에이터는 유용한 이동 범위에 있어서 제한적이고, 이러한 이유로 용도에 따라서는 적합하지 않을 수도 있다.
- [0131] 다른 방법으로서 액츄에이터(106) 대신에 다른 유형의 액츄에이터를 사용할 수도 있다.
- [0132] 전술한 실시예에서 지지 부재 이동 시스템은, 피가공물의 열-유도 거동의 검출 파라미터, 즉 열-유도 거동에 기인하여 피가공물에 의하여 지지 부재(104)에 가해지는 힘의 변화에 의해 생성되는 코일(128) 내 전류의 검출된 변화에 따라서 지지 부재를 이동시킨다. 다른 방법으로서, 필요하다면, 이동 시스템은 열-유도 거동의 예상치에 따라서 지지 부재를 이동시키도록 구성된다. 그러한 예상치는 예를 들면 유사한 피가공물의 열 처리의 관찰을 통해 실험적으로 얻어질 수 있다. 마찬가지로, 각각의 액츄에이터(106)에 대한 별도의 감지기/제어기(132)를 채용하는 것보다는, 필요에 따라서는 일부 또는 모든 액츄에이터(106)에 대한 검출 또는 제어를 위하여 단일 감지기/제어기(132)를 채용할 수도 있다.
- [0133] 도 6을 참조하면, 액츄에이터(106)의 이동 부재(122)는 지지 부재(104)에 직접 연결될 필요가 없다. 예를 들면 액츄에이터(106)는 지지 부재(104)에 간접으로 연결될 수 있다. 이와 관련하여, 피가공물(24)의 외측 가장자리의 열 만곡 이동의 궤적은 수직선이 아니라, 오히려 아치(arc)형에 더 가깝다. 따라서 피가공물의 가장자리의 이동은 수평 성분을 갖는다. 예를 들면 경우에 따라 피가공물의 외측 가장자리의 하향 이동과 피가공물의 중심의 상향 이동을 고려한다면, 피가공물의 외측 가장자리는 수평으로 1mm 정도의 거리만큼 내측으로 이동할 것으로 예상될 수 있다. 따라서 지지 부재(104)가 수평 방향으로 고정되어 있다면, 지지 부재의 선단이 피가공물의 외측 가장자리 영역에 접촉하는 접촉점은 피가공물의 가장자리를 향하여 효과적으로 더욱 외측으로 미끄러진다. 이러한 내향 수평 이동 거리는 피가공물의 외측 배제 영역의 반경 방향의 폭보다도 일반적으로 작고, 따라서 만곡 중의 피가공물의 예상되는 내향 수평 이동보다도 배제 영역 내의 더욱 내측에 지지 부재(104)를 초기에 배치함으로써, 피가공물의 가장자리가 지지 부재의 선단보다도 내측으로 이동하지 않으면서 지지 부재들 사이의 공간으로 낙하하지도 않는 상태로, 피가공물과 지지 부재 사이의 접촉이 유지될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 지지 부재의 선단을 가로지르는 피가공물의 외측 배제 영역의 그러한 미끄럼은, 경우에 따라서는 바람직하지 않을 수도 있다. 예를 들면 그러한 미끄럼은 피가공물의 하면에 스크래치를 유발할 수도 있고, 그에 따라 입자 오염이 일어나고 또한 피가공물 하면의 조도가 증가하여 바람직하지 않을 수 있다.
- [0134] 따라서, 필요에 따라서는, 지지 부재(104)를 액츄에이터(106)의 이동 부재(22)에 직접 연결하기보다는, 이동 부재의 수직 이동을 수직 성분과 수평 성분을 모두 갖는 지지 부재(104)의 이동으로 변환시키는 이동 변환 장치를 통해 이동 부재를 지지 부재(104)에 연결할 수 있다.
- [0135] 예를 들어 도 8과 도 9를 참조하면, 본 발명의 제4 실시예에 따른 액츄에이터 전체가 도면부호 200으로 도시되어 있다. 액츄에이터(200)는 도 7에 도시되어 있는 액츄에이터(106)와 유사하고, 이동 부재(122)와 고정 부재(120)를 포함한다. 그러나 이 실시예에서 이동 부재(122)는 지지 부재(104)에 직접 연결되지 않고, 오히려 이동 변환기(202)에 연결된다. 이 실시예에서 이동 변환기(202)는 액츄에이터(106)의 가동성 부재의 직선 이동, 보다 구체적으로는 이동 부재(122)의 직선 이동을 지지 부재(104)의 아치형 이동으로 변환시키도록 구성된다. 이를 달성하기 위하여 본 실시예에서 이동 변환기(202)는, 액츄에이터(200)의 이동 부재(122)가 강성적으로 연결되는 제1 커넥터 암(208)을 포함한다. 이동 변환기는 제1 커넥터 암(208)에 선회 가능하도록 연결되는 제2 커넥터 암(210)을 포함한다. 제2 커넥터 암(210)은 제1 자유-가동성 피벗 지점(212)에서 제1 강성 바(214)에 선회 가능하도록 연결된다. 제1 강성 바(214)는 제2 자유-가동성 피벗 지점(215)과 제1 고정 피벗 지점(216) 사이에서 강성적으로 연장된다. 이 실시예에서 제1 자유 가동성 피벗 지점(212)은, 제2 자유-가동성 피벗 지점(215)보다는 제1 고정 피벗 지점(216)에 더 가까운 제1 강성 바(214) 상의 소정 위치에 배치된다. 제1 강성 바(214)는 제2 자유-가동성 피벗 지점(215)에서 변경된 지지 부재(204)에 선회 가능하도록 연결된다. 제1 고정 피벗 지점(216)은 하우징(미도시)에 연결되어, 고정 피벗 지점(216)의 임의의 공간 방향으로의 변환 이동 또는 변위를 방지하면서 제1 강성 바(214)가 피벗 지점(216)을 중심으로 선회 가능(따라서 피벗 지점(212, 215)의 선회도 가능)하도록 해 준다. 이동 변환기는 제1 고정 피벗 지점(216)과 제2 고정 피벗 지점(220)에 선회 가능하도록 연결되는 제2 강성 바(218)를 또한 포함하며, 제2 고정 피벗 지점도 고정되어 피벗 지점(220)의 변환 이동 또는 변위를 방지한다. 이동 변환기(202)는 제2 고정 피벗 지점(220)을, 지지 부재(204)를 따라 배치된 제3 자유-가동성 피벗 지점(224)에 연결하는 제3 강성 바(222)를 포함한다. 따라서, 액츄에이터(200)의 이동 부재(122)의 모든 수직 직선 이동은, 제1 및 제2 자유-가동성 피벗 지점(212, 215)이 제1 고정 피벗 지점(216)을 중심으로 각각 아치형

경로로 이동하게 하고, 마찬가지로 지지 부재(204)의 제3 자유-가동성 피벗 지점(224)이 제2 고정 피벗 지점(220)을 중심으로 아치형 경로로 이동하게 한다. 따라서, 액츄에이터(200)의 이동 부재(122)의 수직 직선 이동은, 지지 부재(204)의 지지 선단(228)이 도 9에 도시되어 있는 아치형 경로(230)를 따라 이동하게 한다. 또한, 제1 강성 바(214) 상의 제1 자유-가동성 피벗 지점(212)의 위치(제1 고정 피벗 지점(216)에 근접한 위치)에 의하여, 이동 부재(122)의 비교적 작은 크기의 하향 직선 이동은 아치형 경로(230)를 따르는 지지 부재(204)의 지지 선단(228)의 보다 큰 크기의 하향 아치형 이동으로 효과적으로 확대된다.

[0136] 설명의 편의를 위하여, 도 9에 도시되어 있는 여러 부재들의 크기는 실물에 비례하는 것이 아니라 과장되어 있다. 이 부재들의 실제 크기는, 열 만곡 중에 지지 부재(204)의 선단(228)이 지나는 아치형 경로(230)가 피가공물(24)의 외측 가장자리의 예상 경로를 따르게 하도록 변경될 수 있다. 다른 방법으로서, 필요하다면 다른 적절한 유형의 이동 변환기를 사용할 수도 있다.

[0137] 도 5 내지 도 7과 도 10 내지 도 12를 참조하면, 본 발명의 제5 실시예에 따른 피가공물을 지지하는 장치는 그 전체가 도 10에 도면부호 300으로 도시되어 있다. 이 실시예에서 다수의 지지 부재의 다수의 가동성 계합부 각각은 도 5에 도시되어 있는 방식과 유사한 방식으로 피가공물과 탄성적으로 계합한다. 또한 이 실시예에서 도 6과 도 7에 도시되어 있는 것과 유사한 지지 부재 이동 시스템은 피가공물(24)의 열-유도 거동에 따라 다수의 지지 부재를 이동시키도록 구성된다.

[0138] 보다 구체적으로 이 실시예에서 시스템(300)은 도 10에 도시되어 있는 제1 지지 장치(302)를 포함하는 다수의 지지 장치를 포함하며, 제1 지지 장치는 도 5에 도시되어 있는 지지 장치(80)와 유사하다. 따라서 각각의 지지 장치(302)는, 지지 부재(304)가 선회하게 되는 피벗 지점(306)을 구비한 지지 부재(304)를 포함한다. 각각의 스프링(308)은 각각의 지지 부재(304)에 피벗 지점(306) 이외의 위치에서 연결된다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 피벗 지점(306)은, 지지 부재(304)가 스프링(308)에 연결되는 지점과, 피가공물(24)과 접촉하는 지지 부재의 계합부(선단) 사이에 배치된다. 따라서, 도 5에 도시되어 있는 구성과 같이, 본 실시예에서 스프링(308)(본 실시예에서 일정한 힘의 스프링을 포함)은, 피벗 지점(306)을 중심으로 지지 부재(304)에 토크를 가하여 계합부(310)를 피가공물과 접촉시켜 유지시키도록 하는 토크 부여기로서 작용한다. 이를 달성하기 위하여, 스프링(308)은 지지 부재(304)의 일단에 하향력을 가함으로써, 피가공물의 중량에 의하여 지지 부재(304)의 계합부(선단)(310)에 가해지는 토크를 상쇄하는 토크를 제공한다.

[0139] 도 4와 도 10 내지 도 12를 참조하면, 이 실시예에서 지지 부재 이동 시스템은 지지 부재(304)의 피벗 지점(306)을 이동시키도록 구성된다. 이와 관련하여 이 실시예에서 피벗 지점(306)은 챔버(60)의 나머지에 대한 공간 내에 고정되지 않고, 액츄에이터(320)에 연결된다. 연결은 직접 연결 또는 다른 방법으로서 간접 연결일 수 있다 (예를 들면, 하우징(312)의 대향 벽들 사이에 장착된 선회 바에 의해 피벗 지점(306)이 제공되고 선회 바를 액츄에이터에 연결함으로써 직접 연결이 제공되고, 다른 방법으로서 하우징을 액츄에이터(320)에 연결함으로써 간접 연결이 달성된다). 액츄에이터(320)는 전술한 바 있는 보이스 코일 액츄에이터를 포함할 수 있고, 또는 다른 방법으로서 다른 적합한 유형의 액츄에이터를 포함할 수 있다. 이 실시예에서 이동 시스템은 각각의 액츄에이터(320)에 전류를 공급하도록 구성되어, 액츄에이터에 연결된 지지 부재(304)를 이동시키고, 그에 따라 지지 부재의 피벗 지점(306)을 이동시킨다. 이를 달성하기 위하여 이 실시예에서 액츄에이터(320)는 가열 장치(64)와 동기화되고, 따라서 가열 장치(64)에 의해 생성되는 돌발적인 가열 플래쉬로부터 유래하는 피가공물(24)의 열 만곡 이동의 개시와 거의 동시에, 액츄에이터(320)는 지지 장치(302) 전체를 하강시키고, 그에 따라 피가공물(24)의 외측 가장자리의 초기의 하향 열 만곡 이동과 동시에 지지 부재(304)를 또한 하강시키지만, 지지 부재(304)의 피벗 지점(306) 주위에서의 상당한 선회가 발생하지는 않는다. 지지 장치(302)의 하향 이동의 크기는 예를 들면 피가공물(24)의 열-유도 거동의 예상치에 따라 미리 설정될 수 있다. 이 실시예에서 액츄에이터(320)는, 도 7과 관련하여 설명한 바 있는 감지기/제어기와 유사하고 피가공물의 열-유도 거동을 감지하기 위해 사용될 수 있는 감지기/제어기(미도시)를 포함한다. 따라서, 필요하다면, 그러한 동기화와 예상은 생략될 수 있고, 액츄에이터(320)와 지지 장치(302)의 초기의 하향 이동은 열-유도 거동의 감지에 따라 개시되고 제어될 수 있다. 도 11은 액츄에이터(320)에 의해 일어나는 이와 같은 초기 이동을 따르는 지지 장치(302)의 구성을 나타낸다. 이러한 이동에 후속하여 도 12에 도시되어 있는 바와 같이, 피가공물(24)의 외측 가장자리의 하향 열 만곡 이동이 계속되므로, 지지 부재(304)는 피벗 지점(306)을 중심으로 선회하기 시작하며, 그와 같은 선회 이동은 도 5에 도시되어 있는 실시예와 유사하게 일정 힘 스프링(308)에 의해 저항을 받는다. 피가공물이 진동함에 따라 피가공물의 외측 가장자리가 다시 상승할 때에, 필요하다면 액츄에이터는 마찬가지로 지지 장치(302) 전체의 상향 이동을 일으킬 수 있다. 따라서 본 실시예에서 지지 부재(304)의 상향 이동은 부분적으로는 스프링(308)에 의해 수동적으로, 그리고 부분적으로는 액츄에이터(320)에 의해 능동적으로 제공된다. 다른

방법으로서, 필요하다면 다른 유형의 능동/수동 혼합 시스템을 사용할 수도 있다. 마찬가지로, 전술한 바 있는 이동 변환기와 같은 이동 변환기를 채용할 수 있고, 따라서 액츄에이터(320)에 의해 일어나는 피벗 지점(306)의 이동은 열 만곡 중의 피가공물의 가장자리의 예상 경로에 대응하는 아치형 경로를 지나간다.

[0140] 도 6, 도 13 및 도 14를 참조하면, 본 발명의 제6 실시예에 따른 피가공물을 지지하기 위한 시스템 전체가 도 13에 도면부호 400으로 도시되어 있다. 이 실시예에서 시스템(400)은 피가공물(24)의 하면과 계합 가능한 제1 다수의 지지 부재 각각의 제1 다수의 가동성 계합부를 포함하고, 피가공물의 상면과 계합 가능한 제2 다수의 지지 부재의 제2 다수의 가동성 계합부를 포함한다. 이 실시예에서 제1 및 제2 다수의 계합부는, 피가공물의 외측 배제 영역인 피가공물의 외측 둘레에서 하면과 상면에 각각 계합된다.

[0141] 보다 구체적으로 이 실시예에서 제1 다수의 지지 부재 각각은, 도 6에 도시되어 있는 지지 장치(102)와 다소 유사하고 따라서 액츄에이터(406)를 포함하는 제1 지지 장치(402)의 지지 부재(404)를 포함한다. 이 실시예에서 제2 다수의 지지 부재 각각은 액츄에이터(416)를 포함하는 가압 장치(410)의 가압 부재(414)를 포함한다. 이 실시예에서 가압 부재(414)와 가압 장치(410)는 도 6에 도시되어 있는 지지 부재(104)와 지지 장치(102)와 다소 유사하지만, 피가공물의 배제 영역 내의 장치측(26)과 접촉함으로써 피가공물과 계합하도록 구성된다. 그러나 이 실시예에서 액츄에이터(406, 416)는, 각 액츄에이터 내의 하중 감지기(미도시)와 연결된 제어기(420)에 의해 제어된다. 제어기(420)는, 열 만곡 또는 다른 열-유도 거동 중에 피가공물(24)에 의해 지지 부재(404)와 가압 부재(414)에 가해지는 힘을 나타내는 하중 감지기로부터 신호를 수신한다. 그러한 하중 감지기의 신호에 따라, 제어기(420)는 지지 부재(404)와 가압 부재(414)에 의해 가해지는 힘 및/또는 상대 위치를 조정하여, 예를 들면 도 14에 도시되어 있는 바와 같이, 피가공물의 열 만곡 및 그에 따른 진동 중에 지지 부재와 가압 부재가 피가공물의 외측 배제 영역과 접촉하도록 유지시킨다.

[0142] 이를 달성하기 위하여, 제어기(420)는, 도 6 내지 도 9와 관련하여 전술한 바와 유사한 방식으로, 지지 부재(404)의 제1 다수의 계합부를 이동시키도록 구성되어, 제1 다수의 계합부와 피가공물 사이에 가해진 힘과 피가공물의 중량 사이의 차이를 최소화한다. 유사하게 제어기(420)는 가압 부재(414)의 제2 다수의 계합부를 이동시키도록 구성되어, 피가공물과 제2 다수의 계합부 사이에 가해진 힘을 최소화한다. 후자의 최소화는 전자의 최소화와 유사하지만, 가압 부재(414)인 경우에 액츄에이터(416)의 코일 내의 소망 전류 레벨은 가압 부재(414)와 피가공물 사이에 가해지는 0(영)의 힘에 대응하고, 지지 부재(404)인 경우에 액츄에이터(406)의 코일 내의 소망 전류 레벨은 중력 즉 지지 부재(404) 상의 피가공물의 중량에 대응한다. 제어기(420)는 이러한 소망 전류 레벨의 편차를 감지하고 액츄에이터(406, 416)에 공급된 전압을 제어하여 지지 부재(404)와 가압 부재(414)를 이동시킴으로써, 액츄에이터의 코일 내의 전류 레벨을 각각의 소망 레벨로 회복시킨다. 피가공물의 장치측(26)을 최종 어닐링 온도까지 가열하기 위해 가열 장치(64)에 전력을 공급하여 플래쉬를 생성하는 데 사용되는 축전기 뱅크의 갑작스러운 방전 또는 다른 펄스형 전력 공급으로부터 발생하는 노이즈 또는 전기 간섭을 최소화하기 위해서는, 하중 감지기와 제어기(420)가 차폐되어야 하는 것이 이상적이다. 전술한 바와 같은 방식으로 피가공물을 지지하는 장점 이외에도, 제어기(420)의 명령에 따른 가압 부재(414)와 액츄에이터(416)의 작용은 피가공물의 진동을 억제하는 데 기여하며, 따라서 그러한 진동에 의해 피가공물이 손상될 가능성을 감소시킨다. 필요한 경우에는, 전술한 바 있는 이동 변환기와 같은 이동 변환기를 지지 부재와 가압 부재에 채용할 수도 있다.

[0143] 도 1 내지 도 5 및 도 15를 참조하면, 본 발명의 제7 실시예에 따른 지지 장치 전체가 도 15에 도면부호 500으로 도시되어 있다. 지지 장치(500)는 일부 구성이 도 5에 도시되어 있는 지지 장치(80)와 유사하고, 따라서 지지 부재(82)와 유사하고 선회축(504)에서 선회 이동을 하도록 지지 부재 하우징(503)에 선회 가능하게 장착되는 지지 부재(502)를 포함한다. 하우징(503)은 도 1 내지 도 4에 도시되어 있는 피가공물 평판(30)을 포함할 수 있거나, 다른 방법으로서 예를 들면 필요한 경우에 도 1에 도시되어 있는 하우징(36)과 같은 별도의 하우징을 포함할 수도 있다. 선회축(504)은, 지지 부재(502)가 스프링(506)(이 실시예에서 일정한 힘의 스프링을 포함)에 연결되는 점과, 지지 부재와 피가공물(24) 사이의 접촉 점 사이에 배치된다. 그와 같은 선회 연결을 달성하기 위하여, 이 실시예에서 석영 핀을 포함하는 지지 부재(502)는 케이싱(510)에 강성적으로 연결되고, 케이싱은 양측이 선회축(504)에서 제1 및 제2 장착 부재들(이들 중 하나가 도면부호 512로 도시되어 있음)에 선회 가능하게 연결되며, 각각의 장착 부재는 하우징(503)에 강성적으로 고정된다.

[0144] 도 1 내지 도 3에 도시되어 있는 실시예에서와 같이, 본 실시예의 지지 장치(500)는, 지지 부재(502)에 연결되어 지지 부재에 힘을 가하는 하중 인가기를 포함하여, 지지 부재(502)의 계합부가 열-유도 거동 중에 피가공물과 접촉을 유지하게 한다. 그러나, 이 실시예에서 하중 인가기는, 방향이 반대인 제1 및 제2 토크를 지지 부재(502)에 부여하도록 구성된 제1 및 제2 토크 부여기를 포함하며, 제2 토크는 평형 위치의 지지 부재(502)에 의한 오버슈트(overshoot)에 대항하도록 작용한다. 보다 구체적으로 본 실시예에서 제1 토크 부여기는, 지지 부재

(502)의 선단(508) 상의 피가공물(24)의 하중에 의해 가해지는 토크를 상쇄하는 대향 토크(도 15에 도시되어 있는 바와 같이, 시계 방향으로의 토크)를 가하는 스프링(506)을 포함한다. 이 실시예에서 제2 토크 부여기는, 이 실시예에서 지지 부재(502)의 선단(508)으로부터 말단부 또는 원단부에서 지지 장치(500)에 연결되는 제2 스프링을 포함한다. 이 실시예에서 제2 스프링(520)은, 피가공물(24)로부터 멀어지는 방향으로 지지 장치(500)로부터 연장되는 가요성 긴 금속 부재를 포함한다. 피가공물(24)이 안정되고 지지 장치가 평형 상태에 있을 때에, 제2 스프링(520)의 말단부는 하우징(503)의 하면으로부터 상향 돌출한 강성 스톱퍼(522)와 접촉을 유지한다. 작업 중에, 피가공물(24)의 외측 가장자리가 초기에 열적으로 하향 만곡되었을 때에, 지지 부재(502)는 하우징(503)에 대하여 (도 15에 도시되어 있는 바와 같이 반시계 방향으로) 선회하고, 따라서 제2 스프링(520)의 말단부는 반시계 방향의 아치형 경로를 따라 스톱퍼(522)로부터 상승한다. 수 ms 후에 피가공물(24)의 외측 가장자리가 다시 상방으로 급속히 요동할 때에, 지지 장치가 평형 각도 위치로부터 벗어남에 따라 제2 스프링(520)이 스톱퍼(522)와 접촉하고 만곡될 때까지, 제1 스프링(506)에 의해 지지 장치(500)에 가해진 힘은 지지 부재(502)를 시계 방향으로 선회시키고, 그에 따라 지지 장치에 반시계 방향의 토크를 가하여 지지 장치를 평형 각도로 복원되게 한다. 이 실시예에서 스톱퍼(522)는 지지 장치(500)가 평형 각도 위치를 지나 시계 방향으로 과도하게 선회하는 것을 방지한다. 유리하게는, 이를 위하여 제2 스프링(520)은 스톱퍼(522)와 탄성적으로 결합하기 때문에, 그렇지 않을 경우에 발생할 수도 있는 유해한 효과(예를 들면 지지 장치의 강성부와 스톱퍼 사이의 돌발적 충돌에 기인하는 입자 오염)가 최소화되고 방지된다.

[0145] 도 16을 참조하면, 본 발명의 제8 실시예에 따른 지지 장치는 그 전체가 도면부호 600으로 도시되어 있다. 이 실시예에서 지지 장치(600)는 도면부호 602로 도시되어 있는 다수의 가요성 지지 부재를 포함한다. 본 실시예에서 각각의 가요성 지지 부재(602)는 도면부호 604로 도시된 바와 같은 구속부와 도면부호 606으로 도시된 바와 같은 비구속부를 포함한다. 이 실시예에서 각각의 지지 부재(602)의 가동성 결합부는 비구속부(606)를 포함한다.

[0146] 본 실시예에서, 각각의 가요성 지지 부재(602)는 가요성 섬유를 포함한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 각각의 가요성 섬유는 광학 섬유를 포함한다. 보다 더 구체적으로 본 실시예에서 각각의 가요성 섬유는 석영 광학 섬유를 포함한다. 몇몇 광학 섬유는 취성이 있어 특정 용도에 사용하기에는 바람직하지 않지만, 본 실시예에서는 광학 섬유가 선택되는 이유는 범용성, 저비용 및 적절한 기계적 성질 때문이다. 그러나, 또 다른 방법으로서, 다른 유형의 섬유를 사용할 수도 있다. 비제한적인 예를 들면, 사파이어, 비정질 석영으로 덮인 결정질 석영, 실리콘 탄화물, 탄소 섬유, 금속 함유 석영(metal-in quartz), 글래스 또는 금속 함유 글래스를 사용할 수도 있다. 예를 들면 사파이어 섬유는 석영보다 고강도이고, 이하에서 상세히 설명하는 바와 같이 섬유의 외장층(cladding)이 제거되거나 존재하지 않는 본 실시예와 같은 실시예인 경우에 바람직하다. 보다 일반적으로 다른 유형의 가요성 지지 부재를 사용할 수도 있다. 바람직하기로는, 본 실시예의 목적을 위하여 적합한 가요성 지지 부재는 비오염성, 가요성, 저비중이어야 하고, 전술한 바와 같은 열 사이클에 견딜 수 있는 적절한 온도 내성이 있어야 한다.

[0147] 광학 섬유는 전형적으로 외측 알루미늄 코팅층 또는 피복층을 구비한 고체이다. 따라서, 알루미늄 피복층이 피가공물과 접촉하여 오염시키는 것을 방지하기 위하여, 본 실시예에서는, 가요성 지지 부재(602)의 비구속부의 말단부("말단부"는 케이싱(610)으로부터의 말단부를 의미)로부터 알루미늄 코팅층을 화학적으로 제거한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 알루미늄 피복층은 각각의 비구속부(606)의 말단부로부터 2mm의 길이를 따라 제거된다. 각각의 비구속부(606)의 피복되지 않은 말단부는 매끈한 표면, 예를 들면 도 37과 관련하여 후술하는 매끈한 표면을 구비하는 것이 바람직하다.

[0148] 도 16을 참조하면 이 실시예에서 지지 장치(600)는 가요성 지지 부재(602)의 구속부(604)를 구속하도록 구성된 적어도 하나의 구속기를 포함한다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 적어도 하나의 구속기는 지지 장치(600)의 케이싱(610)을 포함한다. 이 실시예에서 각각의 구속부(604)는 길이가 10mm이고, 케이싱(610) 내의 위치에 구속되거나 고정된다. 또한 이 실시예에서 각각의 비구속부는 길이가 17mm이고, 길이 중 15mm는 알루미늄으로 피복되고 나머지 2mm는 피복되지 않은 말단부이다. 각각의 비구속부(606)는 케이싱(610)으로부터 연장되고 따라서 각각의 비구속부(606)의 피복되지 않은 말단부는 피가공물(24)의 외측 배제 영역과 결합한다. 또한 이 실시예에서 각각의 가요성 지지 부재(602)의 직경은 2mm 미만이다. 그러나, 다른 방법으로서, 다른 치수 또는 여러 치수의 조합이 특정 실시예에 사용될 수도 있다. 일반적으로 그 치수는, 가요성과 충분히 빠른 반응 시간의 원하는 균형을 제공하도록 선택된다. 이와 관련하여, 직경이 클 경우에 지지 부재의 강성이 증가하는 경향이 있다. 지지 부재의 비구속부의 길이를 증가시키면, 강성이 감소하여 직경을 증가시킬 수는 있으나, 이러한 방법은 지지 부재의 반응 시간 상수를 느리게 하고 본 실시예에 있어서는 바람직하지 않다. 가요성 지지 부재의 질량을 최소

화하는 것도 바람직하다. 따라서 피가공물이 매우 급속한 열 만곡과 진동을 겪을 것으로 예상되는 반도체인 본 실시예와 같은 실시예에 있어서는, 탄력성 또는 가요성을 제공하기 위하여 직경이 충분히 작고 비구속부 길이가 충분히 길고, 1ms 또는 그 이하 정도의 시간에 피가공물의 거동에 대해 가요성 지지 부재가 반응할 수 있도록 하는 신속한 반응 시간을 제공하기 위하여 길이가 충분히 짧아야 하며, 그와 동시에 비구속부의 질량을 최소화 하여 이러한 목적을 달성한다.

[0149] 일반적으로 지지 부재의 진동수는 다음과 같이 물리적 성질과 질량과 관계가 있다.

$$\omega_n = A \sqrt{\frac{EI}{\mu * t^4}} \text{ RAD/SEC}$$

[0150]

여기서,

[0151]

E= 영(Young)의 계수 $[N/m^2]$

[0152]

I= 지지 부재 단면의 관성 면적 모멘트 $[m^4]$

[0153]

t= 지지 부재의 길이 $[m]$

[0154]

μ = 지지 부재의 단위 길이당 질량 $[kg/m]$

[0155]

A= 계수 (진동 모드 2일 경우에 A=3.52, 모드 2일 경우 A=22.0, 모드 3일 경우 A=61.7 등)

[0156]

따라서 전술한 관계 및 관찰 결과는, 소정 용도에 대하여 지지 부재의 소망 길이와 직경을 선정하는 데 도움이 되도록 이용될 수 있다.

[0157]

도 15, 도 16 및 도 19를 참조하면, 이 실시예에서 도 16과 도 19에 도시되어 있는 지지 장치(600)는 도 15에 도시되어 있는 지지 장치(500)와 다소 유사하고, 가장 주된 차이는 강성 지지 부재(502) 대신에 가요성 지지 부재(602)(이 실시예에서, 가요성 석영 섬유)가 사용된다는 점이다. 따라서 본 실시예는, 다수의 지지 장치(600)에 힘을 가하도록 구성된 다수의 하중 인가기를 포함하여, 피가공물의 열-유도 거동 중에 각각의 비구속부(606)를 피가공물(24)과 접촉시켜 유지시킨다. 보다 구체적으로 하중 인가기는 토크 부여기 보다 구체적으로는 스프링(506, 520)을 포함한다.

[0158]

이 실시예에서 지지 시스템은, 지지 장치(600)와 유사하고 피가공물(24)의 외측 둘레 주위에 여러 간격으로 배치된 다수의 지지 장치를 포함한다. 따라서 이 실시예에서 적어도 하나의 구속기는 피가공물의 외측 둘레 주위에 배치된 각각의 지지 장치(600)의 다수의 구속기 즉 다수의 케이싱(610)을 포함한다. 도 16으로부터 명확히 알 수 있는 바와 같이 이 실시예에서 다수의 구속기는 가요성 지지 부재의 수보다 적은 구속기로 이루어지고, 각각의 구속기는 예를 들면 도 16에 도시되어 있는 한 세트로서의 6개의 지지 부재(602)들과 같은 가요성 지지 부재들 중 하나 이상을 구속하도록 구성된다. 보다 구체적으로 이 실시예에서 각각의 구속기 즉 각각의 케이싱(610)은 일반적으로 서로 평행한 가요성 지지 부재들 중 하나 이상을 구속하도록 구성된다.

[0159]

도 16과 도 17을 참조하면, 본 발명의 제9 실시예에 따른 지지 장치 전체가 도 17에 도면부호 650으로 도시되어 있다. 지지 장치(650)는 일반적으로 지지 장치(600)와 유사하고, 전체가 도면부호 652로 도시되어 있는 다수의 가요성 지지 부재를 포함하고, 다수의 가요성 지지 부재 각각은 도면부호 654로 도시되어 있는 구속부와 도면부호 656으로 도시되어 있는 바와 같은 비구속부를 포함한다. 각각의 구속부는 구속기보다 구체적으로는 케이싱(660) 내의 소정 위치에 구속 또는 고정된다. 전술한 실시예에서와 같이, 각각의 구속기는 가요성 지지 부재(652)들 하나 이상을 구속한다. 그러나 이 실시예에서는 각각의 구속기는 일반적으로 서로 발산하는 가요성 지지 부재들 중 하나 이상을 구속하도록 구성된다. 따라서 이 실시예에서 가요성 지지 부재(652)는 일반적으로 평행하지 않고, 케이싱(660)으로부터 피가공물(24)을 향해 발산하도록 연장된다. 도 17에 도시되어 있는 이 실시예에서 가요성 지지 부재는 일반적으로 직선형(그러나 도 20과 관련하여 보다 상세히 후술하는 바와 같이 곡선형 단부 영역을 포함할 수도 있음)이고, 케이싱(660)으로부터 외측으로의 발산 경로를 따라 연장된다.

[0160]

도 17과 도 18을 참조하면, 다른 방법으로서 필요한 경우에 가요성 부재는 각각의 곡선 경로를 따라 연장됨으로써 발산할 수도 있다. 예를 들면 본 발명의 제10 실시예에 따른 지지 장치 전체가 도 18에 도면부호 680으로 도시되어 있다. 지지 장치(680)는 지지 장치(650)와 일반적으로 유사하고, 전체가 도면부호 682로 도시되어 있는 다수의 가요성 지지 부재를 포함하며, 다수의 가요성 지지 부재 각각은 도면부호 684로 도시되어 있는 바와 같

[0161]

은 구속부와 도면부호 686으로 도시되어 있는 바와 같은 비구속부를 포함한다. 각각의 구속부는 케이싱(690) 내의 소정 위치에 구속되거나 고정된다. 그러나 이 실시예에서 가요성 지지 부재(682)는 케이싱(690)으로부터 피가공물(24)을 향해 각각의 발산 곡선 경로를 따라 연장된다. 이를 달성하기 위하여 다수의 가요성 지지 부재(682)는 예열되고 소정의 곡률로 만곡될 수 있다.

[0162] 또 다른 방법으로서 필요에 따라서는, 각각의 구속기는 가요성 지지 부재들 중 하나에 상응하는 단지 하나의 구속부를 구속할 수도 있다. 보다 일반적으로, 지지 장치(600)의 가요성 지지 부재(602)는 예를 들면 본 명세서에 기재된 모든 다른 실시예와 같은 본 발명의 다른 실시예에 채용될 수 있다.

[0163] 도 17과 도 18에 도시되어 있는 바와 같은 실시예는 보다 피가공물과의 접촉 점들의 보다 넓은 분포를 가능하게 하고, 그림자 효과(shadowing effect)를 감소시킨다.

[0164] 도 16 내지 도 19를 참조하면, 전술한 실시예에 있어서, 피가공물을 탄성적으로 지지하기 위한 지지 시스템은 지지 장치(600)(또는 다른 지지 장치(650 또는 680))와 유사하고 피가공물의 외측 가장자리 주위에 여러 각도 위치에 배치된 다수의 지지 장치를 포함한다. 용도에 따라서는 그와 같은 지지 장치가 3개 또는 2개일지라도 충분하지만, 그러한 시스템은 4개 이상의 지지 장치를 포함하여, 지지 장치들 중 하나가 피가공물과 적절히 계합하지 못하는 경우에 적합한 지지 안정성을 제공하는 것이 바람직하다.

[0165] 도 19를 참조하면 이 실시예에서 가요성 지지 부재(602)(또는 다른 지지 부재(652 또는 682))는 피가공물의 평면에 대하여 약 25도의 각도로 피가공물의 외측 배제 영역과 계합된다. 다른 방법으로서, 다른 각도가 대신 사용될 수도 있다.

[0166] 다른 방법으로서, 도 20을 참조하면 본 발명의 제11 실시예에서 가요성 지지 부재(602)(또는 다른 지지 부재(652 또는 682))는, 예를 들면 도 20에 도시되어 있는 피가공물과 가요성 지지 부재(602)의 비구속부(606)와 사이의 계합 각도와 같은 보다 급한 각도로 피가공물의 외측 배제 영역과 계합할 수 있다. 그와 같은 큰 계합 각도가 채용되는 경우에, 각각의 가요성 지지 부재(602)의 비구속부(606)는 피가공물(24)의 외측 배제 영역과 계합하기 위한 만곡 단부 영역(620)을 구비하는 것이 바람직하다. 그와 같은 곡률은, 예를 들면 가요성 지지 부재를 예열하고 가열한 상태에서 단부 영역(620)을 만곡시킴으로써 달성될 수 있다. 단부 영역(620)의 곡률은, 곡률이 형성되어 있지 않을 경우에 피가공물의 열 만곡 또는 진동 중에 단부 영역(620)에 의하여 발생할 수도 있는 피가공물의 기관측의 마손을 최소화하는 역할을 한다.

[0167] 전술한 실시예에서는 지지 장치(600)(또는 650 또는 680)의 가요성 지지 부재(602)(또는 다른 지지 부재(652 또는 682))가 (예를 들면 도 15와 도 19에 도시되어 있는 스프링(506, 520)과 같은) 하나 이상의 스프링과 함께 사용되지만, 다른 방법으로서 실시예에 따라서는 그러한 스프링 또는 다른 탄력성 또는 가요성 부재를 사용할 필요가 없더라도 가요성 지지 부재(602)(또는 652 또는 682)에 의해 제공되는 가요성만으로 피가공물을 충분히 탄성적으로 지지할 수도 있다. 따라서, 그러한 실시예에서 케이싱(610)의 위치와 방위는 고정될 수 있고, 가요성 지지 부재의 비구속부만이 움직일 수 있다.

[0168] 예를 들어 도 21을 참조하면, 본 발명의 제12 실시예에 따른 피가공물(24)을 지지하기 위한 지지 시스템은 그 전체가 도면부호 700으로 도시되어 있다. 이 실시예에서 지지 시스템(700)은, 예를 들면 피가공물 평판(710)의 내측의 피가공물 지지 개구부 주위에 여러 간격으로 배치된 도면부호 700, 704, 706 및 708에 도시된 지지 장치와 같은 지지 장치(701)를 포함한다. 이 실시예에서 지지 장치(702) 및 다른 유사한 지지 장치는 피가공물 평판(710)의 하부 영역으로부터 내측으로 상향 연장되어 피가공물(24)의 기관측(28)의 외측 배제 영역과 탄성적으로 계합한다.

[0169] 도 21과 도 22를 보면, 지지 장치(702)는 도 22에 보다 상세히 도시되어 있다. 본 실시예에서, 지지 장치(702)는 석영 광섬유를 포함하는 가요성 지지 부재(712)를 포함하지만, 이 지지 부재는 위에서 설명한 바와 같이 여타 다른 가요성 지지 부재로 대체될 수 있다. 본 실시예에서, 가요성 지지 부재(712)는, 석영 섬유로서 시판되는 알루미늄 외장층(cladding layer)인 외장층(714) 내에 부분적으로 수용된다. 피가공물 평판(710)으로부터 떨어진[피가공물(24)에 근접한] 가요성 지지 부재(712)의 비외장 단부 영역(716)에서는 알루미늄 외장층이 화학적으로 제거됨으로써, 석영 섬유의 노출 또는 비외장 단부 영역(716)이 피가공물(24) 기관측(28)의 외부 배제 영역과 접촉하게 된다. 앞서의 실시예에서 설명한 바와 같이, 본 실시예에서는 가요성 지지 부재(712)의 단부 영역(716)이 곡형으로 형성되어, 열에 의한 피가공물의 굽힘 운동 및 진동 운동 중에 피가공물의 기관측(28)이 가요성 지지 부재에 의해 굽혀지는 현상을 최소화시킬 수 있게 된다. 본 실시예에서, 알루미늄 외장층은 스테인레스 강판을 포함하는 케이싱(718) 내에 견고하게 고정된다. 케이싱(718)은 피가공물 평판(710) 내에 견고하게

고정된다.

- [0170] 본 실시예에서, 가요성 지지 부재(712)의 길이는 27mm이며, 피가공물 평판(710)에 근접한 단부 영역으로서 길이가 10mm인 단부 영역은 외장층(714)과 케이싱(718) 내에 내장되고, 길이가 13mm인 중간 영역은 외장층(714) 내에만 내장되며, 피가공물 평면으로부터 떨어진 단부 영역으로서 길이가 4mm인 단부 영역(716)은 케이싱과 외장층 중 어느 것에 의해서도 둘러싸여지지 않는 상태로 노출된다. 본 실시예에서, 케이싱(718)과 외장층(714)은 수직선으로부터 35° (또는 피가공물 평면으로부터 55°)의 각도를 형성하면서 피가공물 평판(710)으로부터 연장되며, 이러한 각도는 편의상 피가공물 평판에 필요한 변경 사항이 최소화될 수 있도록 선정되었다. 이와 다른 각도에 대해서는 이하에서 상세히 설명한다, 일반적으로, 소망하는 대로 크기, 각도 또는 형상을 달리 조합시켜 대체할 수도 있다.
- [0171] 도 21과 도 22를 보면, 본 실시예에서는 지지 시스템(700)에 일례로 도 21과 도 22에 도시된 지지 장치(702)와 같이 피가공물 평판 주위의 여러 위치에 배치된 다수의 지지 장치가 포함된다. 특히, 본 실시예에서, 피가공물 지지 시스템(700)은, 각각 피가공물(24)의 원주 주위에 45°의 간격을 두고 대칭으로 배치된 쌍으로서 8개의 밀집 배치된 쌍을 이루며 배치되는 16개의 지지 장치를 포함한다. 이와 관련하여, 지지 장치를 밀집 배치된 쌍으로서 각 각도 위치에 위치시키게 되면 백업(back-up) 기능이 효율적으로 제공됨으로써, 한 쌍의 지지 장치가 의도하는 대로 작동되지 않는 경우에도 다른 쌍의 지지 장치가 피가공물을 그 각도 위치에서 적절하게 지지시킬 수 있게 되어, 피가공물이 낙하되거나 손상되는 상황을 피할 수 있게 된다.
- [0172] 하지만, 선택적으로는, 지지 장치의 개수와 각도 구성을 달리할 수도 있다. 일반적으로, 본 실시예와 유사한 실시예에서는, 지지 장치의 질량을 최소화시킬 수 있고, 이와 동시에 피가공물이 열에 의해 굽힘 운동과 진동 운동을 하는 동안에 그를 적절하게 지지시킬 수 있게끔, 지지 장치의 개수와 위치를 선정하는 것이 바람직하다.
- [0173] 도 21과 도 22를 보면, 일례로 200mm 직경의 웨이퍼를 처리하기에 적합할 수 있는 선택적인 실시예에서, 피가공물 지지 시스템(700)이, 각각 피가공물(24)의 원주 주위에 120°의 간격을 두고 대칭으로 배치된 쌍으로서 3개의 밀집 배치된 쌍을 이루며 배치되는 6개의 지지 장치(702)를 포함한다. 이와 유사하게, 일례로 300mm 직경의 웨이퍼를 처리하기에 적합할 수 있는 또 다른 선택적인 실시예에서는, 피가공물 지지 시스템(700)이, 각각 피가공물(24)의 원주 주위에 90°의 간격을 두고 대칭으로 배치된 쌍으로서 4개의 밀집 배치된 쌍을 이루며 배치되는 8개의 지지 장치(702)를 포함한다. 이들 선택적인 실시예들의 지지 장치(702)는 도 22에 도시된 지지 장치와 유사하지만, 이들 선택적인 실시예들에서 노출 또는 비외장 단부 영역(716)의 길이는 2mm이다. 이와 관련하여, 비외장 단부 영역(716)의 길이를 단축시키면 섬유 파손 가능성이 저하되는 것으로 판명되었다. 이들 실시예들에서, 단축된 비외장 단부 영역(716)의 말단부는 도 37에 도시된 바와 같이 평활하다.
- [0174] 또한, 이들 실시예들에서는, 피가공물(24) 평면에 대한 지지 장치(702)의 연결 각도가 변경되었다, 이들 실시예들에서, 각 연결부는 피가공물 평면에 대해 10 내지 80°의 각도를 형성하면서 피가공물(24)의 하부 표면에 연결될 수 있다. 보다 구체적으로 설명하면, 이들 실시예들에서 연결 각도는 15 내지 35°이다. 특히, 이들 선택적인 실시예들에서 연결 각도는 25°이다. 이와 관련하여, 소망하는 각도는 적용 분야별로 달리 선정될 수 있지만, 연결 각도가 일례로 80 내지 90°로 예약이면 웨이퍼에 흠이 형성될 가능성과 지지 부재나 웨이퍼가 손상될 가능성이 커지게 되고, 연결 각도가 일례로 0 내지 10°로 작으면 가요성 지지 부재(712)의 파손 가능성이 커지는 것으로 판명되었다. 따라서, 일부 적용 분야에서는, 10 내지 80° 범위의 연결 각도가 바람직하고, 15 내지 35°의 연결 각도가 더욱 바람직하며, 특정 적용 분야에서는, 25°의 연결 각도가 더욱 바람직하다. 하지만, 선택적으로는 이와 다른 각도로 대체할 수도 있다.
- [0175] 이러한 모든 실시예들에 있어서, 가요성 지지 부재(712)의 비외장부, 즉 케이싱(718)을 넘어 연장된 가요성 지지 부재(712)의 부분은, 지지 부재의 호환성이 유지될 수 있도록 하기 위하여, 그 길이가 소정 시스템에 사용되는 여타 다른 가요성 지지 부재의 비외장부의 길이와 정확하게 일치되도록 하는 것이 바람직하다. 이와 유사한 이유로, 호환성 유지와 파손에 대한 저항성 유지를 위해서 비외장 단부 영역(716)의 길이를 정밀하게 조절하는 것이 바람직하다. 이와 유사하게, 각 지지 장치(702)가 동일 각도로 피가공물(24)에 연결되도록 하는 것이 바람직하다.
- [0176] 일반적으로는, 대칭이거나 그렇지 않은 여타 다른 형상 및 크기로도 대체할 수 있다.
- [0177] 도 23과 도 24를 보면, 본 발명의 제13 실시예에 따른 피가공물(24) 지지용 지지 시스템이 도 23에 도면 부호 800으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 시스템(800)은, 일례로 도면 부호 804, 806 및 808로 도시된 바와 같이 피가공물 평판(810)의 내부 피가공물 지지 개구 주위에 여러 간격으로 배치된 다수의 지지 장치(802)를 포

함한다. 본 실시예에서, 지지 장치(802)는 피가공물 평판(810)의 하부 영역으로부터 내향 및 상향으로 연장되어, 피가공물(24) 기관측(28)의 외부 배제 영역에 탄성적으로 연결되게 된다. 하지만, 도 21과 도 22에 도시된 이전 실시예와는 달리, 각 지지 장치는 피가공물의 배제 영역에 탄성적으로 연결될 수 있는 가요성 곡형 지지 부재를 포함한다.

[0178] 이와 관련하여, 도 24에 지지 장치(804)가 보다 상세히 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 장치(804)는 석영 광섬유를 포함하는 가요성 곡형 지지 부재(812)를 포함하지만, 이 지지 부재는 선택적으로 여타 다른 가요성 지지 부재로도 대체될 수 있다. 이 실시예에서, 가요성 곡형 지지 부재(812)는 이격된 제1 구속부(constrained portion)와 제2 구속부를 포함하며, 비구속부(unconstrained portion)는 상기 제1 구속부와 제2 구속부 사이의 곡선 경로를 따라 연장된다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 제1 구속부는 제1 단부 영역(815)을 포함하고, 비구속부는 중간 영역(816)을 포함하며, 제2 구속부는 제2 단부 영역(817)을 포함한다. 따라서, 제1 구속부와 제2 구속부는 지지 부재(812)의 대향 단부들에 위치하게 되어, 그들 사이에서 비구속부를 형성하게 된다. 제1 구속부와 제2 구속부, 특히 제1 단부 영역(815)과 제2 단부 영역(817)이 피가공물 평판(810)에 부착되어 구속부들의 움직임을 방지하게 된다. 이 실시예에서, 가요성 곡형 지지 부재(812)는 석영 섬유로서 시판되는 알루미늄 외장층인 외장층(814) 내에 부분적으로 수용된다. 알루미늄 외장층이 가요성 곡형 지지 부재(812)의 중간 영역(816)에서 화학적으로 제거됨으로써, 석영 섬유의 노출된 단부 영역(816)이 피가공물(24) 기관측(28)의 외부 배제 영역과 접촉하게 된다.

[0179] 이 실시예에서, 지지 시스템(800)은, 제1 구속부와 제2 구속부(즉, 제1 단부 영역(815)과 제2 단부 영역(817))를 서로 이격되게 구속시켜 비구속부(즉, 중간 영역(816))가 상기 제1 구속부와 제2 구속부 사이의 곡선 경로를 따라 연장되도록 구성된 제1 구속기(constrainer)와 제2 구속기를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서 제1 구속기와 제2 구속기는 제1 케이싱(818)과 제2 케이싱(819)을 포함한다. 제1 단부 영역(815)에서, 가요성 곡형 지지 부재(812)를 둘러싸는 알루미늄 외장층(814)은 스테인레스 강관을 포함하는 제1 케이싱(818) 내에 견고하게 고정된다. 이와 유사하게, 이 실시예에서는, 제2 단부 영역(817)에서, 가요성 곡형 지지 부재(812)를 둘러싸는 알루미늄 외장층(814)이 스테인레스 강관을 포함하는 제2 케이싱(819) 내에 견고하게 고정된다. 케이싱(818, 819)들은 피가공물 평판(810) 내에 견고하게 고정된다.

[0180] 도 22와 도 24를 보면, 이 실시예에서, 각 케이싱(818, 819)은 도 22에 도시된 케이싱(718)과 유사하며, 그와 유사하게 피가공물 평판에 고정된다. 하지만, 이 실시예에서는, 케이싱(818, 819)을 포함하는 제1 구속기와 제2 구속기가 제1 구속부와 제2 구속부(즉, 제1 단부 영역(815)과 제2 단부 영역(817))를 구속하여, 비구속부(즉, 중간 영역(816))가 제1 구속부로부터 곡선 경로를 따라 피가공물(24) 쪽으로 내향 및 상향으로 연장되어 상기 피가공물과 접촉하고 있는 접촉 영역으로 연장되도록 하여, 상기 접촉 영역으로부터 외향 및 하향으로 연장되어 제2 구속부로 연장되도록 한다. 보다 구체적으로 설명하면, 가요성 곡형 지지 부재(812)는, 피가공물 쪽을 향해 내향 및 상향으로 직선형으로 연장되는 것이 아니라, 제1 단부 영역(815)에서 케이싱(818)과 외장층(814)으로부터 돌출되어 거의 아치형 경로를 따라 피가공물(24) 쪽을 향해 내향 및 상향으로 연장됨으로써, 중간 영역(816)의 중심이 피가공물(24) 기관측(28)의 외부 배제 영역과 접촉하여 그를 지지시키게 된다. 이어서, 가요성 곡형 지지 부재(812)는 상기 중심으로부터 아치형 경로를 따라 하향 및 외향으로 계속 연장되어, 단부 영역(817)을 둘러싸는 외장층(814)이 케이싱(819) 내에 고정되는 제2 단부 영역(817)으로 연장된다. 피가공물과 접촉하는 중간 영역(816)의 중심에서, 비구속부의 접선[즉, 중간 영역(816) 중심에서의 접선]은 접촉 영역 부근의 피가공물(24) 외주의 접선에 평행하다. 이 실시예에서, 도 22에 도시된 실시예에서와 같이, 가요성 곡형 지지 부재(812)의 아치형 경로 각도는 수직선으로부터 대략 35° 이지만, 이 각도는 편의상 기존 피가공물 평판에 대한 변경을 최소화시킬 수 있도록 선정되었다. 선택적으로, 여타 다른 각도와 구성으로 대체할 수 있다. 예를 들면, 가요성 지지 부재(812)는 제1 단부 영역(815)으로부터 케이싱(818) 내에서 10 내지 20mm의 길이로 연장될 수 있으며, 외장층(814) 내에서 케이싱을 넘어 20 내지 40mm의 길이로 추가로 연장될 수 있고, 가요성 지지 부재(812)와 피가공물(24)이 접촉하는 중앙 영역에서 2 내지 4mm의 길이로 추가로 연장될 수 있다. 이어서, 가요성 지지 부재는 제2 단부 영역(817) 쪽을 향해 외장층(814) 내에서 20 내지 40mm의 길이로 추가로 연장될 수 있으며, 케이싱(819) 내에서 10 내지 22mm의 길이로 추가로 연장될 수 있다. 가요성 지지 부재의 직경은 일례로 0.5 내지 2mm일 수 있다. 선택적으로, 필요로 하는 경우에는, 여타 다른 길이와 직경으로 대체할 수 있다. 이와 유사한 또 다른 실시예에 따르면, 가요성 지지 부재(812)는 사파이어와 같은 재료를 포함하며, 필요로 하는 경우에 외장층(814) 전체가 생략될 수 있다.

[0181] 이 실시예에서, 다수의 지지 장치(802)는 지지 장치(804)와 유사한 적어도 4개의 지지 장치를 포함하여, 지지 장치 중 하나가 파손되거나 고장인 경우에도 적절히 안정되게 지지할 수 있도록 한다. 보다 구체적으로 설명하

면, 이 실시예에서 다수의 지지 장치(802)는 20개의 지지 장치를 포함한다. 하지만, 선택적으로, 필요에 따라서는, 지지 장치의 개수를 변경할 수 있다.

[0182] 도 25 내지 도 30을 보면, 본 발명의 제14 실시예에 따른 피가공물(24) 지지용 지지 시스템이 도면 부호 900으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 시스템(900)은 도면 부호 902로 표기된 다수의 가요성 지지 부재를 포함한다. 본 실시예에서, 각 가요성 지지 부재(902)는 피가공물과 탄성적으로 연결될 수 있는 가요성 섬유를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이전 실시예에서와 같이, 본 실시예에서 각 가요성 섬유는 석영 광섬유를 포함하지만, 선택적으로는 사파이어나 다른 유형의 섬유 또는 일반적으로는 다른 유형의 가요성 지지 부재로 대체할 수 있다. 바람직하게는, 본 실시예의 경우에, 다른 가요성 지지 부재는 비오염성과 가요성을 갖는 지지 부재로서 작은 질량을 가져야 하며, 열 사이클에 견딜 수 있는 적절한 내열성을 구비하여야 한다.

[0183] 도 28과 도 30을 보면, 가요성 지지 부재가 도 28에 도면 부호 903으로 도시되어 있다. 쉽게 도시하기 위하여, 단지 예시적인 지지 부재만을 도시하였지만, 나머지 지지 부재(902)들도 그와 유사하다. 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(903)는 구속부(904)와 비구속부(906)를 구비한다. 보다 구체적으로 설명하면, 본 실시예에서 가요성 지지 부재(903)의 일단에는 구속부(904)가 구비되며, 비구속부(906)는 구속부(904)로부터 피가공물(24)의 중앙 영역 쪽으로 내향으로 연장된다.

[0184] 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(903)는 섬유(907)를 포함한다. 본 실시예에서, 가요성 섬유(907)의 일부는 외부 외장층(908) 내에 내장되며, 이 실시예에서 상기 외장층은 섬유(907)와 함께 시판되는 알루미늄 코팅층이다. 이와 관련하여, 알루미늄 외장이 피가공물과 접촉하여 그를 오염시키는 것을 방지하기 위해서, 본 실시예에서는 가요성 지지 부재(903)의 비구속부(906)에서 알루미늄 코팅을 화학적으로 제거하였다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서 가요성 지지 부재(903)의 길이는 65mm이며, 그 중 최내측 40mm 부분에서 알루미늄 외장 또는 코팅을 화학적으로 제거하였다.

[0185] 선택적으로, 가요성 지지 부재(902)의 소망하는 가요성과 질량에 따라, 여타 다른 적절한 길이로 대체할 수 있다. 예를 들어, 알루미늄 코팅층이나 외장층은 일례로 지지 부재가 사파이어를 포함하는 실시예와 같은 일부 실시예에서는 생략될 수 있다.

[0186] 이 실시예에서, 지지 시스템(900)은 구속부(904)를 구속하는 적어도 하나의 구속기를 포함한다. 본 실시예에서, 적어도 하나의 구속기는 피가공물 평판(920)을 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 적어도 하나의 구속기는, 다수의 가요성 지지 부재(902)의 구속부를 압착하기 위해 피가공물 평판 내에 형성된 다수의 클램프를 포함한다. 특히, 이 실시예에서, 각 구속부(904)는 도 18과 도 30에 도면 부호 910으로 도시된 클램프 내의 적소에 구속되거나 고정된다. 이 실시예에서, 클램프(910)는 상부 클램핑 부재(912)와 하부 클램핑 부재(914)를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 본 실시예에서, 상부 클램핑 부재(912)는 평면형 하부면을 구비하고, 하부 클램핑 부재(912)는 그의 길이를 따라 상부면에 형성된 V자형 홈 또는 채널(916)을 구비한다. V자형 홈(916)의 크기는 가요성 지지 부재(903)가 그 V자형 홈(916) 내로 삽입될 수 있도록 선정된다. 이에 따라, 상부 클램핑 부재(912)의 하부면이 하부 클램핑 부재(914)의 상부면에 대해 가압될 때, 외부 외장층(908)이 상부 클램핑 부재(912)의 하부면과 V자형 홈(916)의 두 표면 사이에 안착되어 고정됨으로써, 클램프(910) 내에 고정된 가요성 지지 부재(903) 부분이 상기 클램프에 대해 움직이지 못하게 된다. 클램프(910)는, V자형 홈(916)과 가요성 지지 부재(903)가 피가공물(24)의 중심 쪽을 향해 반경 방향 내향으로 지향되도록 배치된다.

[0187] 이 실시예에서, 도면 부호 910으로 도시된 바와 같은 다수의 클램프는, 다수의 상부 클램핑 부재(912)의 역할을 하는 상부 압착 링과, 내부에 다수의 V자형 홈이 형성된 압착 링으로서 다수의 하부 클램핑 부재(914)의 역할을 하는 하부 압착 링에 의해 형성된다. 상부 압착 링과 하부 압착 링은 대략 10mm의 길이에 걸쳐 반경 방향 내측으로 연장되며, 상기 상부 압착 링과 하부 압착 링 내에 각 가요성 지지 부재(902)의 구속부(904)가 안착되어 고정된다. 선택적으로, 필요로 하는 경우에는 구속부 길이를 달리할 수 있다.

[0188] 도 28과 도 29에 도시된 실시예를 보면, 피가공물 평판(920)의 내면에는 다수의 피가공물 지지 개구가 형성되며, 구속부(904)는 피가공물 평판(920)에 부착되고, 비구속부(906)는 피가공물 지지 개구를 통해 피가공물 쪽으로 내향으로 연장된다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서 각 피가공물 지지 개구는 피가공물 평판(920)의 내면에 형성된 수직 슬롯(918)을 포함한다. 따라서, 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(903)의 비구속부(906)는 수직 슬롯(918)을 통해 피가공물(24)의 중심 쪽으로 내향으로 돌출되며, 상기 슬롯은 가요성 지지 부재(903)의 비구속부(906)가 피가공물 평판(920)에 대해 상하로 이동되도록 한다. 이 실시예에서, 각 비구속부(906)의 내부 말단부(tip)(924)는 피가공물(24)의 외부 가장자리(922)를 넘어 내향으로 연장됨으로써, 피가공물의 중심으로부터 내부 말단부(924) 사이의 반경 방향 간격이 피가공물의 중심으로부터 피가공물 외부 가장자리

(922) 사이의 반경 방향 간격보다 작다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 내부 말단부(924)는 피가공물의 외부 가장자리(922)보다 대략 10mm만큼 추가로 내향으로 연장되지만, 선택적으로 그 길이 관계를 달리할 수도 있다. 따라서, 이 실시예에서, 지지 부재(903)의 연결 영역은 구속부(904)와 내부 말단부(924) 사이의 비구속부(906)를 따른 중간 지점(926)을 구비한다. 비구속부(906), 특히 중간 지점(926)은 피가공물의 외부 가장자리(922)와 연결되어 피가공물과 접촉함으로써 그를 지지하게 된다.

[0189] 이 실시예에서, 피가공물 평판(920)은, 구속부(904)를 수평 방향으로 구속하여 비구속부(906)가 하향으로 처지면서 피가공물(24)의 중심 쪽을 향해 수평 방향 및 내향으로 연장되게 하도록 구성된다. 이와 관련하여, 피가공물의 외부 가장자리(922)에 의해 중간 지점(926)에 가해지는 하향 중력으로 인해, 가요성 지지 부재(903)가 하향으로 굽혀져, 가요성 지지 부재의 내부 말단부(924)가 피가공물(24) 평면 아래로 "처짐 변위량" 만큼 수직으로 변위된다.

[0190] 다시 도 28과 도 29에 도시된 실시예를 보면, 다수의 가요성 지지 부재(902)는 적어도 20개의 긴 가요성 지지 부재를 포함한다. 특히, 다수의 지지 부재(902)는 적어도 50개의 지지 부재를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 다수의 지지 부재(902)는, 피가공물 평판(920)에 형성된 내부 피가공물 지지 개구 주위로 거의 등간격으로 배치된 지지 부재(903)와 유사한 가요성 지지 부재를 대략 60개 정도 포함한다. 피가공물은 반도체이고 가요성 지지 부재(902)는 광섬유인 이 실시예에서, "처짐 변위량"은 대개 약 3mm 내지 약 5mm의 범위이다. 따라서, 본 실시예에서, 비구속부(906)는 피가공물의 평면에 대해 하향으로 약 10° 미만의 각도를 형성하면서 피가공물(24)의 외부 가장자리(922)에 연결될 수 있다. 선택적으로, 특정 적용 분야에 따라서 처짐 변위량과 각도를 달리할 수 있다.

[0191] 일반적으로, 도 28과 도 29에 도시된 실시예들에서는, 각 가요성 지지 부재(902)의 직경은 대략 0.4mm 내지 2mm 사이이다. 하지만, 선택적으로, 다른 실시예들에서 설명한 바와 같이, 크기를 적절하게 달리할 수 있으며, 소정 적용 분야에 따라 필요로 하는 탄성과 신속한 응답 시간을 제공할 수 있도록 길이와 직경을 선정할 수 있다.

[0192] 도 20과 도 28을 보면, 필요로 하는 경우에는, 도 28에 도시된 가요성 지지 부재(903)의 내부 말단부(924)에 도 20에 도시된 곡형 단부 영역(620)과 유사한 곡형 단부 영역이 구비되어, 열에 의한 굽힘 또는 진동 운동 중에 피가공물(24)의 기관축(28)이 굽혀지는 현상을 최소화시킬 수 있게 된다.

[0193] 도 31을 보면, 본 발명의 제15 실시예에 따른 피가공물 지지용 지지 시스템이 도면 부호 1000으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 시스템(1000)은, 피가공물의 진동을 억제하도록, 특히 피가공물의 제1 고유 진동 모드와 제2 고유 진동 모드를 포함하는 피가공물의 적어도 하나의 고유 진동 모드를 억제하도록 구성된다. 이를 달성하기 위하여, 지지 시스템(1000)은 각각 도면 부호 1002와 1004로 표기된 제1 지지 장치와 제2 지지 장치를 포함한다. 지지 장치(1002, 1004)는 이 실시예에서 석영 섬유를 포함하는 각각의 가요성 지지 부재(1006, 1008)를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 석영 섬유는, 알루미늄 외장층이 화학적으로 제거되어 있고 직경이 대략 100 마이크론인 석영 광섬유이다.

[0194] 선택적으로, 이전 실시예들에서 설명한 바와 같이, 다른 유형의 섬유, 특히 다른 적절한 유형의 지지 부재로 대체할 수 있다.

[0195] 이 실시예에서, 각 가요성 지지 부재(1006, 1008)는 이격된 제1 구속부와 제2 구속부를 구비하며, 비구속부는 상기 제1 구속부와 제2 구속부 사이의 곡선 경로를 따라 연장된다. 보다 구체적으로 설명하면, 가요성 지지 부재(1006)의 제1 구속부와 제2 구속부는 각각 고정 단부(1010)와 조절가능 단부(1014)를 포함하며, 이와 유사하게 가요성 지지 부재(1008)의 제1 구속부와 제2 구속부는 각각 고정 단부(1012)와 조절가능 단부(1016)를 포함한다. 가요성 지지 부재(1006)의 고정 단부(1010)는 피가공물(24) 평면 바로 아래에서 피가공물(24) 부근의 피가공물 평판(1018)에 부착되며, 이와 유사하게 가요성 지지 부재(1008)의 고정 단부(1012)는 피가공물 평면 바로 위에서 피가공물 평판에 부착된다. 따라서, 피가공물 평판(1018)은, 가요성 지지 부재(1006, 1008)의 고정 단부(1010, 1012)를 구속하는 제1 구속기의 역할을 한다.

[0196] 이 실시예에서, 각 지지 부재의 비구속부는 구속부들 사이의 곡선 경로를 따라 연장되어, 피가공물과 접촉하는 영역에서의 비구속부에 대한 접선이 피가공물의 중심 쪽으로 반경 방향 내측으로 연장된다. 예를 들어, 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(1006)는 고정 단부(1010)로부터 고리형 경로를 따라 연장되어(도 31에 도시된 바와 같이 반시계 방향으로), 피가공물의 외부 배제 영역 부근에서 피가공물(24)의 기관축(24)과 접촉하여 그를 지지하게 된다. 가요성 지지 부재(1006)가 피가공물과의 접촉 지점으로부터 고리형 경로를 따라 계속 연장되어, 루프를 따라 연장되면서(반시계 방향), 피가공물 평판의 하부 표면에 형성된 개구(1020)를 통해 피가공물 평판

(1018)으로 재진입하게 된다. 가요성 지지 부재(1006)의 조절가능 단부(1014)는 길이 조절기(1022)에 삽입되어 고정되며, 이 길이 조절기는 가요성 지지 부재(1006)의 조절가능 단부(1014)를 구속하는 제2 구속기의 역할을 한다.

[0197] 이와 관련하여, 본 실시예에서, 각 가요성 지지 부재(1006, 1008)의 제1 구속부와 제2 구속부 중 적어도 하나는 견인가능하게 구속된다. 따라서, 이 실시예에서, 지지 시스템(1000)은, 기계식 리트랙터(mechanical retractor)를 포함하는 길이 조절기로서 가요성 지지 부재(1006)의 제2 구속부(즉, 조절가능 단부(1014))를 수축 가능하게 구속하는 길이 조절기(1022)를 포함한다. 리트랙터는, 제2 구속부를 끌어넣어서 비구속부를 단축시킬 수 있도록 구성된다. 역으로 다시 말하면, 리트랙터는, 제2 구속부를 신장시켜 비구속부를 연장시킬 수 있도록 구성된다. 본 실시예에서, 길이 조절기(1022)는 피가공물 평판(1018)이 위치된 공정 챔버 외부로부터 원격으로 제어될 수 있으며, 이에 따라 가요성 지지 부재(1006)의 길이를 연장시키거나 단축시킬 수 있게 되어, 피가공물을 탄성적으로 지지하도록 연장되는 고리형 경로의 크기와 형상을 변경시킬 수 있게 된다.

[0198] 이와 유사하게, 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(1008)는 고정 단부(1012)로부터 고리형 경로를 따라 연장되어 (도 31에 도시된 바와 같이 시계 방향으로), 피가공물의 외부 배제 영역 부근에서 피가공물(24)의 장치측(24)과 접촉하고 나서, 계속 고리형 경로를 따라 연장되어(시계 방향), 피가공물 평판의 상부 표면에 형성된 개구(1024)를 통해 피가공물 평판(1018)으로 재진입하게 된다. 가요성 지지 부재(1008)의 조절가능 단부(1016)는 길이 조절기(1022)와 유사한 길이 조절기(1026)에 삽입되어 고정된다. 이 실시예에서, 길이 조절기(1026)는 피가공물 평판(1018)이 위치된 공정 챔버 외부로부터 원격으로 제어될 수 있으며, 가요성 지지 부재(1008)를 피가공물(24) 평면 위에 형성된 원통형 체적 외로 완전히 이동시키도록 가요성 지지 부재(1006)를 충분히 수축시킬 수 있게 되어, 피가공물(24)을 제1 가요성 지지 장치(1002)에 의해 지지되는 위치로 하강시키거나, 열처리 작업의 완료시 다시 상승시킬 수 있게 된다. 열처리를 위해서, 길이 조절기(1026)는 가요성 지지 부재(1008)의 길이를 충분히 연장시킬 수 있게 원격으로 제어될 수 있어, 가요성 지지 부재(1008)의 고리형 경로가 외부 배제 영역에서 피가공물의 장치측(26)에 접촉하게 된다.

[0199] 일반적으로, 가요성 지지 부재(1006, 1008)의 고리형 경로의 유효 직경은, 지지 부재에 대해 선정된 재료와, 예측되는 피가공물 동작에 따른다. 예를 들어, 일부 실시예에서는 고리형 경로의 직경이 약 30mm 내지 100mm 사이일 수 있지만, 그 유효 직경을 달리할 수도 있다.

[0200] 이 실시예에서, 열처리 중에 피가공물(24)을 지지하기 위하여, 지지 시스템(1000)에는, 지지 장치(1002)와 동일한 다수의 하부 지지 장치와, 지지 장치(1004)와 동일한 다수의 상부 지지 장치가 포함되며, 이러한 상부 지지 장치와 하부 지지 장치는 피가공물 평판(1018) 주위에 여러 간격을 두고 배치된다. 따라서, 지지 시스템(1000)은 다수의 긴 제1 가요성 지지 부재와 제2 가요성 지지 부재를 포함한다. 다수의 제1 가요성 지지 부재의 비구속부는 피가공물(24)의 하부 표면에 연결될 수 있으며, 다수의 제2 가요성 지지 부재의 비구속부는 피가공물(24)의 상부 표면에 연결될 수 있다.

[0201] 상부 지지 장치는 안전성을 증대시켜 열 사이클 중에 피가공물(24)의 진동을 억제시키는 역할을 한다. 예를 들어, 이 실시예에서, 제1 지지 장치(1002)와 제2 지지 장치(1004)가 서로 협동하여, 피가공물(24)의 제1 고유 진동 모드와 제2 고유 진동 모드를 적어도 부분적으로 억제시키게 된다.

[0202] 선택적으로, 일부 적용 분야에서는, 필요에 따라 지지 장치(1004)와 그와 유사한 다른 상부 지지 장치들이 생략될 수 있어, 피가공물이 지지 장치(1004)와 여타 다른 하부 지지 장치들에 의해 지지될 수 있다.

[0203] 도 32와 도 33을 보면, 본 발명의 제16 실시예에 따른 피가공물 지지용 지지 시스템이 도면 부호 1200으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 시스템(1200)은 피가공물(24)을 측방향으로 지지하도록 구성된 측부 지지 부재를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 지지 시스템(1200)은 피가공물(24)을 측방향으로 탄성적으로 지지하기 위한 측부 지지 장치(1202)를 포함한다. 이와 관련하여, 일부 경우에는, 열 사이클이 피가공물의 비대칭 굽힘 운동이나 진동 운동을 발생시킬 수 있는데, 왜냐하면 일레로 플래쉬(flash)에 의해 피가공물의 장치측(26)이 비균일하게 가열되거나, 위에서 설명한 바와 같이 여러 가지 지지 장치(수직 지지 장치)의 응답이 불균일할 수 있기 때문이다. 이러한 비대칭 운동에는, 일레로 도면 부호 1204로 도시된 바와 같이 피가공물 평면에 대한 피가공물(24)의 측방향 운동이 포함될 수 있다. 피가공물(24)이 반도체 웨이퍼인 본 실시예에서, 만일 측방향 운동에 의해 피가공물(24)과 피가공물 평판(1204)(이 실시예에서 알루미늄)이 충돌하게 되면, 이러한 충돌로 인해 입자 오염 현상이나 피가공물(24)이 물리적으로 손상되는 현상이 발생할 수 있다.

[0204] 따라서, 이러한 충돌을 방지하기 위하여, 이 실시예에서, 측부 지지 장치(1202)는 피가공물(24)을 측방향으로

지지하도록 구성된 측부 지지 부재(1206)를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 지지 부재(1206)는 일례로 도 33에 도면 부호 1208, 1210 및 1212로 도시된 바와 같이 피가공물(24)의 외부 가장자리에 대한 각각의 위치에서 다수의 측부 지지 부재를 포함한다. 이 실시예에서, 각 측부 지지 부재는 피가공물의 외부 가장자리와 탄성적으로 연결될 수 있다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서 각 측부 지지 부재는 광섬유를 포함하는 가요성 섬유를 포함한다. 특히, 본 실시예에서, 각 지지 부재는 석영 섬유를 포함한다. 선택적으로, 이전 실시예들에서 설명한 바와 같이, 사파이어 섬유, 여타 다른 섬유, 여타 다른 유형의 가요성 지지 부재, 특히 여타 다른 유형의 측부 지지 부재로 대체할 수 있다.

[0205] 다시 도 32를 보면, 이 실시예에서, 측부 지지 부재(1206)는 알루미늄 블록을 포함하는 위치설정기(positioner)(1214)에 연결된다. 위치설정기(1214)는 피가공물 평판(1204)에 연결되어, 측부 지지 부재(1206)를 피가공물(24)의 외부 가장자리에 근접하게 위치시키도록, 피가공물 평판에 형성된 피가공물 지지 개구 내로 충분히 연장된다. 본 실시예에서, 가요성 섬유를 포함하는 측부 지지 부재(1206)와 이와 유사한 지지 부재는 피가공물(24) 평면에 수직인 각도로 위치된다.

[0206] 측부 지지 부재가 석영 광섬유를 포함하는 이 실시예에 따르면, 일반적으로 석영 광섬유로서 시판되는 알루미늄 코팅층 또는 외장층이 화학적으로 제거됨으로써, 피가공물(24)과 접촉하게 될 측부 지지 부재(1208, 1210, 1212)의 적어도 일부는 노출된 석영으로서 비오염성이다. 본 실시예에서, 열처리 중에는 피가공물이 석영 섬유 대부분과 접촉하기 때문에(위치설정기(1214) 내에 고정된 부분을 제외하고), 이 실시예에서 섬유 전체로부터 알루미늄 코팅 또는 외장이 제거되었다[필요한 경우에는, 위치설정기(1214) 내에 고정된 부분을 따라 알루미늄 외장이 형성될 수 있다]. 선택적으로, 일례로 사파이어와 같이 일반적으로 알루미늄 외장으로서 시판되지 않는 여타 다른 재료로 석영 섬유를 대체할 수도 있다.

[0207] 도 32와 도 33에 도시된 실시예와 유사한 실시예에 따르면, 측부 지지 부재와 이와 유사한 여타 측부 지지 부재의 길이는 대략 20 내지 40mm이며[위치설정기(1214) 내에 고정된 부분을 제외하고], 직경은 일례로 0.5 내지 2mm일 수 있다. 선택적으로, 소정의 적용 분야에 따라 크기를 적절하게 달리할 수 있다.

[0208] 이 실시예에서, 지지 시스템(1200)은, 측부 지지 장치(1202)와 유사한 측부 지지 장치로서 피가공물 평판(1204)에 형성된 피가공물 지지 개구 주위에 여러 간격을 두고 위치한 다수의 측부 지지 장치를 포함한다. 예를 들어, 지지 시스템(1200)은 4개 내지 20개 사이의 측부 지지 장치를 포함할 수 있지만, 선택적으로 그 개수를 달리할 수 있다. 이러한 측부 지지 장치는 본 명세서에 개시된 임의의 지지 장치와 같은 수직 지지 장치와 함께 사용될 수 있다.

[0209] 선택적으로, 또 다른 실시예에 따르면, 도 32와 도 33에 도시된 측부 지지 시스템과 다소 유사한 측부 지지 시스템이 마련될 수 있으며, 측부 지지 부재(1206) 대신에 하나 이상의 강성 지지 부재가 구비된다. 예를 들어, 가요성 지지 부재 대신에 하나 이상의 강성 석영 핀이 구비될 수 있다. 이러한 실시예들을 통해서 피가공물의 측방향 운동을 수용할 수 있긴 하지만, 이러한 실시예들에서는 피가공물이 강성 지지 부재와 충돌할 때 강성 지지 부재에 대한 피가공물의 측방향 모멘텀에 따라 피가공물(24)이 손상되거나 파손될 수 있다.

[0210] 필요한 경우에는, 별도의 측부 지지 장치와 수직 지지 장치를 마련하는 대신에, 단일 지지 장치에 의해 형성되는 측부 및 수직 지지부를 마련할 수 있다. 예를 들어, 도 21, 도 22 및 도 34를 보면, 본 발명의 제17 실시예에 따른 피가공물 지지용 지지 시스템이 도 34에 도면 부호 1300으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 시스템(1300)은, 피가공물(24)의 하부 표면과 연결될 수 있는 가동 수직 지지 연결부와 피가공물의 외부 가장자리와 연결될 수 있는 측부 지지 연결부를 포함하고 수직 및 측부 지지 부재 모두의 역할을 하는 지지 부재를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 지지 부재는, 도 22에 도시된 지지 장치(702)를 변형시킨 지지 장치(1302)를 포함한다. 이 실시예에서, 지지 장치(1302)의 가동 수직 지지 연결부는 케이싱(718)과 외장층(714)을 포함하는 가요성 지지 부재(712)를 포함하며, 상기 케이싱 내에서 가요성 지지 부재가 피가공물 평판(710)에 고정된다. 지지 장치(1302)의 측부 지지 연결부는 제2 가요성 지지 부재(1304)를 포함한다. 이 실시예에서, 제2 가요성 지지 부재(1304)는 제1 가요성 지지 부재(712)와 유사하며, 석영 광섬유를 포함하지만, 앞서 설명한 바와 같이 필요한 경우에는 다른 유형의 섬유 또는 다른 유형의 가요성 지지 부재를 사용할 수 있다. 본 실시예에 따르면, 수직 지지 연결부와 측부 지지 연결부는 그들의 가요성으로 인해 피가공물과 탄성적으로 연결될 수 있다.

[0211] 이 실시예에서, 제2 가요성 지지 부재(1304)는 제1 가요성 지지 부재(712)보다 작은 직경을 갖는다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 제2 가요성 지지 부재(1304)는 대략 0.5mm의 직경을 갖고, 제1 가요성 지지 부재(712)는 대략 4mm의 직경을 갖는다. 하지만, 선택적으로는, 필요에 따라 크기를 적절하게 달리할 수 있다.

- [0212] 이 실시예에서, 제2 가요성 지지 부재(1304)는 석영 광섬유로서 시판되는 알루미늄 코팅인 외부 외장층(1306)을 포함한다. 이 실시예에서, 피가공물의 오염을 피하기 위하여, 적어도 피가공물(24)과 접촉할 수 있는 제2 가요성 지지 부재(1304) 부분으로부터 알루미늄 코팅을 화학적으로 제거하였다. 이 실시예와 그와 유사한 실시예에서, 제2 가요성 지지 부재(1304)는 외부 외장층(1306) 내에서 10 내지 20mm의 길이로 연장되고, 외장층을 넘어 비외장 상태로 20 내지 40mm의 길이로 추가로 연장되지만, 선택적으로는 필요에 따라 길이를 적절하게 달리할 수 있다.
- [0213] 본 실시예에서, 제2 가요성 지지 부재(1304)는 칼라(collar)(1308)에 의해 제1 가요성 지지 부재(712)에 고정된다. 칼라(1308)는 일례로 스테인레스 강이나 알루미늄을 포함할 수 있지만, 선택적으로는 적절한 다른 재료로 대체할 수 있다.
- [0214] 하지만, 선택적으로는, 제2 가요성 지지 부재(1304)가 임의의 적절한 방식으로 지지 장치(1302)의 잔부에 연결될 수 있다.
- [0215] 필요에 따라, 지지 장치(1302)는, 제2 가요성 지지 부재(1304)의 일부에 연결되어 제2 가요성 지지 장치(1304)를 피가공물 평판(710) 쪽으로 끌어넣음으로써 피가공물(24)이 삽입 또는 제거되도록 하는 리트랙터(1310)를 포함할 수 있다. 이러한 리트랙터가 필요없게 하기 위하여, 선택적으로 제2 가요성 지지 부재(1304)가 예열되어 피가공물 평판(710) 쪽으로 미리 굽혀질 수 있다. 또 다른 선택적인 실시예로서, 이러한 예열 처리와 예비 굽힘 처리는 필요에 따라 소정 실시예의 리트랙터에 적용될 수 있다.
- [0216] 본 실시예에 따르면, 도 21에 도시된 실시예에서와 같이, 지지 시스템(1300)은, 도 34에 도시된 지지 장치(1302)와 유사한 지지 장치로서 피가공물 평판(710)에 형성된 내부 피가공물 지지 개구 주위에 여러 간격을 두고 배치되는 다수의 지지 장치를 포함한다. 따라서, 지지 시스템(1300)은, 피가공물과 연결될 수 있는 다수의 수직 및 측부 지지 연결부를 포함한 다수의 지지 부재를 포함한다.
- [0217] 조합된 측부 및 수직 지지 장치의 또 다른 실시예인 도 35를 보면, 본 발명의 제18 실시예에 따른 피가공물 지지용 지지 시스템이 도면 부호 1400으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 시스템(1400)은 지지 장치(1402)를 포함한다. 본 실시예에서, 지지 장치(1402)는 석영 광섬유를 포함하는 가요성 지지 부재(1404)를 포함한다. 선택적으로는, 이전 실시예들에서 설명한 바와 같이, 다른 유형의 섬유, 특히 다른 유형의 가요성 지지 부재로 대체할 수 있다.
- [0218] 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(1404)는 이격된 제1 구속부와 제2 구속부를 포함하며, 비구속부는 상기 제1 구속부와 제2 구속부 사이의 곡선 경로로 연장된다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 제1 구속부와 제2 구속부는 고정 단부(1406)와 조절가능 단부(1408)를 포함한다. 피가공물 평판(1410)은, 본 실시예에서 피가공물(24) 평면 바로 아래에서 피가공물(24) 부근의 피가공물 평판(1410)에 부착된 제1 구속부, 즉 고정 단부(1406)를 구속하는 제1 구속기로서의 역할을 한다.
- [0219] 이 실시예에서, 지지 부재(1404)의 비구속부는 구속부들 사이의 곡선 경로를 따라 연장되어, 제1 구속부로부터 피가공물(24) 평면 아래에서 연장되고 피가공물의 하부 표면에 접촉하는 제1 고리형 경로부(1412)와, 피가공물(24)의 외부 가장자리와 피가공물 평판(1410)의 내부 가장자리 사이에서 연장되는 제2 고리형 경로부(1414)와, 피가공물 평면 위에서 연장되고 피가공물의 상부 표면에 접촉하는 제3 고리형 경로부(1416)를 형성하며, 상기 곡선 경로는 제2 구속부에서 마감된다. 보다 구체적으로 설명하면, 이 실시예에서, 가요성 지지 부재(1404)는 고정 단부(1406)로부터 제1 고리형 경로부(1412)를 따라 피가공물 평면 아래에서 연장되어(도 35에 도시된 바와 같이 시계 방향으로), 피가공물의 외부 배제 영역 부근에서 피가공물(24)의 기관측(28)과 접촉하여 그를 지지하게 된다. 이어서, 가요성 지지 부재(1404)는, 피가공물(24)의 외부 가장자리와 피가공물 평판(1410)의 최내측부 사이에 형성된 제2 고리형 경로부(1414)를 통해 연장된다(시계 방향). 이어서, 가요성 지지 부재(1404)는 피가공물 평면 위에서 연장되는 제3 고리형 경로부(1416)를 통해 계속 연장되어(시계 방향), 피가공물 평판의 상부 표면에 형성된 개구(1422)를 통해 피가공물 평판으로 재진입하게 된다. 가요성 지지 부재(1404)의 조절가능 단부(1408)는 도 31에 도시된 길이 조절기(1022, 1026)와 유사한 길이 조절기(1424)를 포함하는 제2 구속기에 삽입되어 고정된다. 따라서, 가요성 지지 부재(1404)는, 그의 구성과 특히 고리형 경로부(1412, 1414, 1416)로 인해, 피가공물(24)을 수직 방향 및 측방향으로 탄성적으로 지지할 수 있게 된다. 또한, 가요성 지지 부재(1404)의 이러한 구성으로 인해, 피가공물(24)의 제1 고유 진동 모드와 제2 고유 진동 모드를 부분적으로 억제시킬 수 있다.
- [0220] 본 실시예에서, 제2 구속부, 특히 길이 조절기(1424)는, 제2 구속부를 수축시켜서 제3 고리형 경로부(1416)를

피가공물의 상부 표면 위에 형성된 체적 외로 이동시키도록 구성되는 리트랙터의 역할을 한다. 이와 관련하여, 길이 조절기(1424)는 피가공물 평판(1410)이 위치한 공정 챔버 외부로부터 원격으로 제어될 수 있어, 가요성 지지 부재(1404)의 유효 길이를 연장시키거나 단축시킬 수 있게 되어, 피가공물을 탄성적으로 지지하도록 연장되는 고리형 경로의 크기와 형상을 변경시킬 수 있게 된다. 특히, 일부 적용 분야에서는, 제3 고리형 경로부가 피가공물(24) 평면 위에 형성된 체적 외로 완전히 수축되도록 가요성 지지 부재(1404)를 충분히 수축시켜서, 열처리를 위해 피가공물을 삽입할 수 있도록 하거나 또는 열처리 작업의 완료시 그를 제거할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

[0221] 이 실시예에서, 지지 시스템(1400)은, 지지 장치(1402)와 동일한 지지 장치로서 피가공물 평판(1410)에 형성된 피가공물 지지 개구 주위에 여러 간격을 두고 배치되는 다수의 지지 장치를 포함한다. 예를 들어, 도 35에 도시된 실시예와 유사한 실시예들에 따르면, 지지 시스템은 4개 내지 20개 사이의 지지 장치를 포함할 수 있으며, 이러한 지지 장치의 가요성 지지 부재는 그 직경이 0.5 내지 2mm의 범위이고 그 길이가 50mm 내지 300mm일 수 있다. 선택적으로, 필요에 따라 지지 장치의 개수와 가요성 지지 부재의 크기를 달리할 수 있다.

[0222] 필요에 따라서, 가요성 지지 부재(1404)에 의해 형성되는 제2 고리형 경로부(1414)가 피가공물 평판(1410)에 부착되어 추가로 안전성을 제공할 수 있다. 선택적으로, 필요에 따라서 이러한 부착 작업은 생략될 수 있다.

[0223] 도 4와 도 36을 보면, 본 발명의 제19 실시예에 따른 열처리 챔버가 도 36에 도면 부호 1500으로 도시되어 있다. 챔버(1500)는 도 4에 도시된 챔버(60)와 유사하지만, 피가공물(24)의 장치측(26)에 인접하여 그 위에 장착된 별도의 석영 창(1510)을 포함하도록 변형되었다. 특히, 이 실시예에서, 창(1510)은 피가공물(24) 평면의 대략 1cm 위에 설치되지만, 선택적으로는 피가공물로부터 여타 다른 간격을 두고서 설치될 수 있으며, 본 실시예의 경우에는 1 내지 10cm의 간격이 바람직하다. 창(1510)은 냉각되는 것이 바람직하며, 이 실시예의 경우에는 가스에 의해 냉각되지만, 선택적으로는 가열 작업이나 측정 작업을 위해 창에 요구되는 파장에 따라 물이나 여타 적절한 액체에 의해 냉각될 수 있다. 피가공물(24)이 가열 플래쉬에 의한 급힘 작용을 받게 되면, 피가공물(24)과 창(1510) 사이의 공정 가스 압력에 의해 피가공물의 수직 운동에 대해 저항하게 된다. 따라서, 지지 부재의 가동 연결부와 조합되어, 피가공물(24)과 창(1510) 사이의 추가의 가스 압력은 피가공물(24)의 수직 운동에 대항하여 피가공물 질량 중심의 움직임을 최소화시키는 역할을 하게 된다. 부수적인 이점으로서, 플래쉬 이전에 피가공물을 중간 온도로 가열시키는 예열 단계 중에, 창(1510)에 의해 피가공물 장치측으로부터의 대류열 손실이 저감되어 온도 균일성이 향상되게 된다.

[0224] 선택적으로는, 기존 창(65)을 피가공물(24)의 장치측(26)에 보다 근접하게 이동시키게 되면, 창(1510) 없이도 유사한 효과를 달성할 수 있다.

[0225] 필요에 따라서, 다수의 지지 부재의 다수의 가동 연결부는 다수의 각 지지 핀의 다수의 평활면 말단부를 포함할 수 있다.

[0226] 예를 들어, 도 37을 보면, 본 발명의 제20 실시예에 따른 지지 장치가 도면 부호 1600으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 지지 장치(1600)는 평활면 말단부(1610)를 구비한 지지 부재(1608)를 포함한다. 보다 구체적으로 설명하면, 본 실시예에서, 평활면 말단부(1610)는 볼형이거나 반구형이지만, 선택적으로는 다른 평활면으로 대체할 수 있다. 이러한 평활면 말단부는 피가공물(24)의 마찰과 급힘을 저감시킨다. 이와 관련하여, 지지 부재와 피가공물의 하부 표면이 서로 급혀지게 되면, 바람직하지 않은 입자 오염이 발생할 수 있으며, 또한 피가공물의 하부 표면이 바람직하지 않게 거칠어진다. 마찰력을 최소화시키게 되면, 부하 지점에서의 응력을 낮출 수 있어 지지 부재와 피가공물 사이의 접촉점 부근에서의 마찰과 국소 응력을 저감시키거나 없앨 수 있을 뿐만 아니라 열처리 중에 피가공물이 받게 되는 전체 응력을 낮출 수 있게 된다.

[0227] 이 실시예에서, 지지 부재(1608)는 석영, 특히 본 발명의 다른 실시예들에서 설명한 바와 유사한 석영 광섬유로 제조된다. 특히, 본 실시예에서, 지지 부재(1608)의 평활면 말단부(1610)는, 레이저를 이용하여 지지 부재의 말단부를 용해시켜 그 말단부를 냉각시키면서 볼형 말단부로 형성시킴으로써 형성된다.

[0228] 이러한 방식에 의해 형성된 표면은 종래 절삭 및 연마 방식에 의해 형성된 표면보다 평활한 것으로 판명되었다.

[0229] 도 16과 도 37을 보면, 섬유가 일례로 도 16에 도시된 각 가요성 지지 부재(602)의 비외장부(606)의 알루미늄 외장과 같은 외장인 실시예에서, 알루미늄 외장은 바람직하게는 평활면 말단부(1610)의 형성을 위한 레이저 용해 작업 이전에 말단부로부터 제거된다. 예를 들어, 외장은 평활면 말단부를 형성시키기 전에 말단부 부근에서 2mm만큼 섬유로부터 화학적으로 제거될 수 있다.

[0230] 선택적으로, 지지 부재(1608)는 사파이어나 본 명세서에 개시된 임의의 재료와 같은 여타 다른 재료들로 제조될

수 있다.

[0231] 또 다른 선택적인 실시예로서, 지지 부재(1608)는 금속을 포함할 수 있다. 예를 들어, 지지 부재(1608)는 텅스텐을 포함한 지지 핀을 포함할 수 있고, 지지 핀의 적어도 말단부는 마찰과 굽힘 현상을 저감시키기 위한 외부 코팅을 구비할 수 있다. 외부 코팅은 일례로 질화 텅스텐이나 탄화 텅스텐을 포함할 수 있지만, 다른 유형의 코팅으로도 대체할 수 있다. 또는, 다른 선택적인 실시예로서, 이러한 코팅은 생략될 수 있다. 코팅이 없는 경우에 소망하는 평활면 말단부(1610)를 형성시키기 위하여, 지지 부재(1608)의 말단부는 석영 지지 부재와 관련하여 설명한 방식과 유사한 방식으로 레이저로 용해되어 볼 형상으로 형성된다. 선택적으로는, 이와 다른 방식으로 소망하는 평활면 말단부(1610)를 형성시킬 수 있다.

[0232] 이러한 평활면 지지 부재(1608)는, 지지 핀이나 본 발명의 다른 실시예의 다른 지지 부재에 채택되거나 그를 대체할 수 있다.

[0233] 도 20과 도 38을 보면, 본 발명의 제21 실시예에 따른 지지 장치가 도 38에 도면 부호 1700으로 도시되어 있다. 지지 장치(1700)는 도 20에 도시된 지지 장치와 유사하다. 하지만, 이 실시예에서, 변형된 지지 부재(1702)는 외부 배제 영역에서 피가공물(24)에 연결되는 것이 아니라, 더욱 내측에 있는 영역, 즉 피가공물 중심으로부터의 반경 방향 간격이 배제 영역보다 작은 영역에서 피가공물과 연결된다. 이 실시예에서, 피가공물은, 가동 연결부가 피가공물의 중심으로부터 공통적인 반경 방향 간격을 두고 피가공물의 하부 표면과 연결되는 다수의 유사 지지 부재에 의해서 여러 각도 간격을 가지고서 지지된다.

[0234] 이와 관련하여, 지지 부재의 가동 연결부가 피가공물과 연결되는 지점은, 특정 적용 분야와, 해당 지지 부재의 탄성 또는 연성과, 웨이퍼의 수직 이동 최소화와 플래쉬로부터 발생하는 피가공물의 고차 진동 모드 억제 사이의 조화에 따라 변할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서는, 지지 핀이 웨이퍼의 중심으로부터 일정한 반경 방향 간격을 두고 위치되어, 웨이퍼 중앙 영역의 상향 모멘텀과 균형을 맞추기 위해 열에 의한 굽힘 현상에 따라 균일한 반경 방향 간격 외부에서 웨이퍼의 외부의 하향 모멘텀이 형성됨으로써, 웨이퍼가 지지 핀으로부터 상향으로 이동되지 못하게 된다. 예시적인 실시예로서, 피가공물이, 반경이 150mm이고 대략 113Hz(모드 1), 476Hz(모드 2) 및 1007Hz(모드 3)의 주파수에서 축대칭 고유 진동 모드를 갖는 실리콘 반도체 웨이퍼를 포함하는 실시예에서, 지지 부재의 가동 연결부를 연결시키기 위한 반경 방향 간격(r)을 대략 104mm로 동일하게 설정하게 되면, 피가공물이 상향으로 이동하려는 경향을 최소화시킬 수 있다. 하지만, 이렇게 위치시키게 되면, 웨이퍼의 제2 고유 진동 모드를 여기시키게 되어, 장치측 온도 상승의 크기와 빠르기에 따라 피가공물이 손상되거나 심지어는 파손될 수 있게 된다. 따라서, 이러한 구성이 일부 적용 분야, 즉 가동 연결부가 제2 고유 진동 모드 여기를 저감시키기에 충분히 "연성"인(즉, 충분히 낮은 저항력을 발생시키고 충분히 큰 동작 범위를 갖는) 적용 분야에는 활용될 수 있지만, 이러한 구성은 가동 연결부가 보다 덜 "연성"인 실시예에서는 바람직하지 않다. 이와 비교하여, 가동 연결부를 외부 배제 영역에 위치시키게 되면, 대체로 고차 진동 모드를 보다 덜 여기시키기는 하지만, 피가공물의 외부 배제 영역과 지지 부재의 가동 연결부를 초기에 크게 하향으로 이동시키게 되어, 피가공물과 지지 부재 사이에 인가되는 힘을 증가시키게 되고, 피가공물 질량 중심을 크게 수직으로 이동시키게 된다. 많은 적용 분야에서, 수직 이동을 최소화시키는 평형 거리와 외부 배제 영역 사이의 어떤 반경 방향 간격에서, 지지 부재의 연결부와 피가공물을 연결시킬 수 있다.

[0235] 본 실시예에서, 변형된 지지 부재(1702)는 피가공물에 가해지는 그림자 효과(shadowing effect)를 최소화시키기 위해 투명 재료로 제조된다. 특히 이 실시예에서, 투명 재료는 석영이다. 선택적으로는, 다른 재료로 대체할 수 있다. 이 실시예에서, 변형된 지지 부재(1702)의 크기가 감소되어, 추가로 잔여 그림자 효과를 저감시키게 되고, 질량을 감소시키게 된다.

[0236] 열에 의한 "만곡(bowing)" 현상과 이와 관련된 요동 또는 진동이 주로 본 발명의 위에서 설명한 실시예들에 개시된 열에 의한 운동에 해당되지만, 선택적으로 본 발명의 여타 다른 실시예들은 다른 유형의 열에 의한 운동을 해소하도록 적용될 수 있다. 예를 들어, 열에 의한 운동에는 열적 굽힘(thermal bending)이 포함될 수 있으며, 지지 시스템은 피가공물을 지지하면서 피가공물의 열에 의한 굽힘 현상이 가능하도록 구성될 수 있다.

[0237] 이와 관련하여, 최근에 제시된 한 가지 열처리 방식을 보면, 기계식 클램프 혹은 정전식 또는 진공 척 혹은 이와 동등한 파지 장치를 사용하여 기관을 스테이지(stage)에 고정되게 유지시키는 방식이 있다. 연속파(continuous wave) 전자기 조사원(radiation source)이 집광 광학 장치와 함께 조사선을 기관의 상부 표면에 형성시키는 데 사용된다. 이어서, 병진 기구가, 스테이지와 조사원을 서로에 대해 이동시켜 조사선이 기관의 상부 표면을 가로질러 주사되도록 사용된다. 하지만, 기관을 스테이지에 고정되게 유지시키도록 기계식 클램프나 여타 다른 파지 장치를 사용하게 되면, 열에 의한 기관의 굽힘 현상이 없어지게 된다. 이러한 클램핑 작용이 없

는 경우에는, 기관은 자체 내부 응력을 최소화시킬 수 있도록 열에 의해서 조사선을 따라 굽혀지게 된다. 기관이 굽혀지지 않도록 하면, 클램프나 파지 장치에 의해 기관의 열응력이 증가하게 되어, 기관이 손상되거나 파손될 가능성이 커지게 된다.

[0238] 따라서, 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 본 발명의 여타 다른 실시예들에서 개시된 지지 부재와 같이 피가공물의 열에 의한 운동이 가능하도록 이동가능한 가동 연결부를 포함하는 지지 부재는, 이러한 열처리 방식을 위해 이전에 제시된 기계식 클램프나 여타 다른 파지 장치를 대체할 수 있다.

[0239] 예를 들어, 다시 도 13과 도 14를 보면, 도 13에 도시된 지지 장치(402)와 같은 지지 장치가, 피가공물의 열에 의한 굽힘이 가능하도록 하여 상기 피가공물이 조사선에 의해 가열될 때까지 상기 피가공물 내의 내부 응력이 저감되도록 제공될 수 있다. 필요에 따라서는, 피가공물이 조사선에 의해 가열될 때까지 상기 피가공물의 비가열 부분을 평평하게 유지시키기 위하여, 조사선이 지지 부재(404)와 억제 부재(414)가 피가공물(24)과 연결되는 위치를 통과할 때까지 지지 부재(404)와 억제 부재(414)를 고정 위치에서 유지시키고 그 후에 피가공물(24)의 열에 의한 굽힘이 가능하게 하도록, 제어기(420)가 재프로그래밍된다. 따라서, 피가공물(24)의 아직 가열되지 않은 비교적 "저온"부는 조사선에 의한 후속 가열을 위해 평평하게 유지되며, 이와 동시에 피가공물(24)의 응력은 이미 가열되어 있는 피가공물 부분의 열에 의한 운동이 가능해짐에 따라 최소화된다. 하지만, 선택적으로는, 피가공물의 비가열부를 그가 조사선에 의해 가열될 때까지 평평하게 유지시키는 것이 바람직할 수 있지만(조사선에 의해 가열될 피가공물 부분과 조사원 사이의 각도와 간격을 일정하게 유지시키기 위하여), 이러한 작업은 어떤 적용 분야에서는 생략될 수 있으며, 이 경우에는 제어기(420)의 재프로그래밍 작업이 생략될 수 있다. 일반적으로는, 다른 유형의 지지 부재의 다른 가동 연결부로 대체할 수 있다.

[0240] 대안적으로, 다른 형태의 지지 부재들의 다른 형태의 가동성 계합부들이 대신 사용될 수도 있다.

[0241] 전술한 실시예에서, 다양한 지지 시스템들은 피가공물로부터 운동 에너지를 흡수하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 앞서 설명한 가요성 지지 부재의 실시예에서, 피가공물의 외부 영역이 열적 만곡 중에 아래로 초기에 이동하여 지지 부재들의 계합부들을 밀고 그에 따라 지지 부재들을 구부릴 때, 피가공물의 적어도 일부의 운동 에너지는 적어도 일시적으로 지지 부재들에 의하여 흡수되고 포텐셜 에너지로서 그 안에 저장된다.

[0242] 다시 도 4를 참조하면, (필수적인 것은 아니지만) 바람직하게는 본 명세서에서 개시된 다른 실시예들과 함께 본 발명의 다른 실시예에 따라 피가공물을 열처리하는 방법이 또한 사용될 수 있다. 상기 방법은 피가공물 표면을 피가공물의 나머지 부분의 온도보다 높은 원하는 온도로 가열하기 위하여 피가공물의 열 전도 시간보다 짧고 피가공물의 적어도 일부의 열적 만곡을 가능하게 하는 시간 간격 동안 피가공물 표면을 조사하는 단계를 포함한다. 더욱 상세하게는, 이러한 실시예에서 상기 방법은 피가공물 표면을 피가공물의 나머지 부분의 온도보다 높은 중간 온도로 가열하기 위하여 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 제1 기간 동안 피가공물 표면을 조사하는 단계를 포함한다. 그런 다음 상기 방법은 피가공물 표면을 원하는 온도로 가열하기 위하여 피가공물의 열 전도 시간보다 짧은 제2 기간 동안 피가공물 표면을 조사하는 단계를 포함한다. 상기 제2 기간은 피가공물의 적어도 일부의 열적 만곡이 발생하기에 충분한 제1 기간에 후속하는 시간 간격 내에서 시작된다.

[0243] 보다 더 상세하게는, 본 실시예에서, 본 실시예에서는 플래쉬 램프를 포함하는 가열 장치(64)가 상기 제1 및 제2 기간 동안 피가공물(24)의 장치측(26) 표면을 조사하는 데에 사용된다. 이러한 실시예에서, 피가공물(24)의 열 전도 시간은 10 내지 15 ms의 차수이고, 상기 제1 기간은 1 ms의 차수이며, 상기 제2 기간도 1 ms의 차수이다. (상기 제2 기간의 시작 전에) 상기 제1 기간에 후속하는 상기 시간 간격은 수 밀리세컨드의 차수이다.

[0244] 또한 본 실시예에서는, 조사 시스템 또는 더욱 구체적으로는 플래쉬 램프를 포함한 가열 장치(64)는 상기 제1 기간보다 상기 제2 기간 동안 더 많은 복사 에너지를 피가공물 표면에 공급하도록 형성되고, 또한 상기 제1 기간의 종료에 후속되는 수 밀리세컨드 내에 상기 제2 기간을 시작시키도록 형성된다. 따라서, 예를 들어, 상기 가열 장치(64)는, 1 밀리세컨드의 제1 기간 동안 피가공물의 장치측(26)에 약 10 J/cm^2 의 에너지를 공급하도록 상기 장치측을 조사하고, 후속하는 수 밀리세컨드의 시간 간격 동안 상기 장치측에 에너지를 공급하지 않으며, 그 다음에는 1 밀리세컨드의 제2 기간 동안 상기 장치측에 약 20 J/cm^2 의 에너지를 공급하도록 상기 장치측을 조사할 수 있다.

[0245] 이러한 실시예에서, 가열 장치(64)로 피가공물 장치측(26)을 조사하기 바로 전에 피가공물(24)은 예열 장치(62)에 의하여 예열되는데, 이 예열 장치(62)는 피가공물(24)을 중간 온도로 예열하기 위하여 기관측(28)을 조사한다. 이러한 예열은 예를 들어 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{초}$ 내지 $400 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{초}$ 와 같이 피가공물의 열 전도 시간보다 느린 속도로 진행된다. 장치측(26)이 가열 장치(64)에 의하여 처음으로 조사되는 제1 기간은 상기 중간 온도에 도달하자마자

시작된다.

[0246] 앞서 언급한 바와 같이, 본 발명 방법은 피가공물 내의 열 응력을 감소시키고 진동을 억제하는 역할을 할 수 있다. 이러한 실시예에서는, 약 1 밀리초 동안 지속되는 상기 제1 기간 동안 장치측(26)의 가열 장치(64)에 의한 조사에 후속하여 장치측(26)은 플래쉬($t=1\text{ms}$)의 종료와 거의 동시에 제1 피크 온도에 도달한다. 그 때, 피가공물(24)은 열적 만곡을 단지 시작하고 있고 따라서 그 최대 열적 만곡 크기의 비교적 작은 분율만을 달성하고 있을 뿐이다. 최대 열적 만곡은 피가공물이 그 평형 형태를 초과할 때인 수 밀리초 후해야 도달된다. 1 밀리초 후 후에는, 피가공물(24)은 여전히 많이 휘어 있으나 상당한 귀환 속도로 그 편평한 위치로 되돌아가고 있다. 가열 장치(64)는 약 1 ms 길이의 제2 기간 동안 피가공물(24)의 장치측(26)을 제2 조사 플래쉬에 놓이게 한다. 상기 제1 기간과 제2 기간 사이의 시간 간격(즉, 제1 가열 플래쉬와 제2 가열 플래쉬 사이의 간격)은, 피가공물이 제1 가열 플래쉬로부터 이미 열적으로 휘어서 그 편평한 위치로 돌아가고 있는 동안 제2 조사 플래쉬로부터 열적 만곡이 발생하도록 선택된다. 웨이퍼는 제1 가열 플래쉬로 인하여 이미 열적으로 휘어 있기 때문에, 제2 가열 플래쉬로부터 생긴 열적 만곡에 의한 피가공물 내의 응력은 감소된다. 또한 제2 가열 플래쉬로부터 발생한 열적 만곡은 피가공물이 그 편평한 위치로 돌아가려고 할 때의 피가공물의 귀환 속도와 반대 방향으로 작용한다. 따라서, 제2 가열 플래쉬로부터 발생한 열적 만곡은 제1 가열 플래쉬로부터의 잔류 진동을 억제한다. 이러한 두 개의 플래쉬-가열 단계를 빠른 속도로 연속하여 결합함으로써 피가공물 내의 잔류 진동을 억제하면서 더 높은 장치측 피크 온도를 달성할 수 있다.

[0247] 대안적으로, 다른 조사 에너지원이나 지속 기간이 대신 사용될 수도 있다.

[0248] 예를 들어, 일시적으로 떨어져서 배치된 두 개 이상의 일련의 조사 플래쉬들로 장치측(26)을 조사하는 것 이외에, 조사 시스템은 피가공물의 열 전도 시간보다 짧고 피가공물의 적어도 일부의 열적 만곡이 발생하기에 충분한 시간 간격 동안 피가공물의 장치측 표면을 연속적으로 조사하도록 구성될 수 있다. 보다 구체적으로는, 가열 장치(64)는, 피가공물의 10 내지 15 ms의 열 전도 시간보다 짧지만 피가공물의 적어도 일부의 열적 만곡을 생기게 하기에 충분한 지속 시간을 가지는 연속적인 조사 펄스에 장치측(26)을 노출시키도록 작동될 수 있다. 그러한 펄스는 예를 들어 6 밀리초와 같이 여러 밀리초에 걸쳐 있을 수 있다. 필요하다면, 상기 조사 시스템은 상기 시간 간격 동안 조사 강도를 다양하게 하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 이는 상기 시간 간격의 초기 부분보다 상기 시간 간격 후기 부분 동안 더 높은 강도로 표면을 가열하는 단계를 포함할 수 있다. 따라서, 상기 펄스는 펄스 지속 기간의 전반보다 펄스 지속 기간의 후반 동안 피가공물의 표면에 더 많은 에너지를 공급하도록 하는 형태를 가질 수 있다.

[0249] 추가적인 실시예들

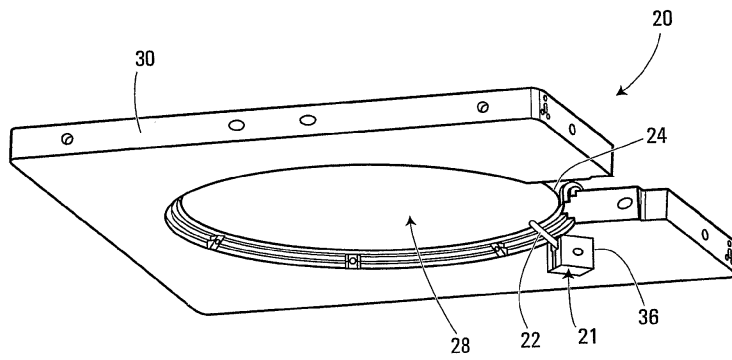
[0250] 앞서 많은 구체적인 실시예들과 대체예들이 설명되었지만, 대신에 본 명세서에 개시된 다양한 태양과 특성들의 다른 조합이 제공될 수도 있다. 예를 들어, 광학 석영 섬유들과 같은 가요성 지지 부재들은 주로 수동 기계식 지지 시스템과 결합하여 설명하였지만, 대신에 그러한 가요성 지지 부재들은 예를 들어 도 6 내지 도 14에 도시된 것과 같은 능동 지지 시스템과 결합하여 제공될 수도 있다. 그러한 경우에는, 예를 들어 도 16과 관련하여 앞서 설명된 바와 같이 복수의 지지 부재들은 각각 구속부와 비구속부를 가지는 복수의 가요성 지지 부재들을 포함할 수 있고, 가동성 계합부들은 비구속부들을 포함할 수 있다. 그러한 경우에는, 예를 들어 도 6과 관련하여 앞서 설명된 바와 같이 상기 복수의 구속부들에 연결된 복수의 액추에이터들을 포함할 수 있는 지지 부재 이동 시스템은 상기 지지 부재들의 상기 구속부들을 이동시키도록 구성될 수 있다. 본 명세서에 개시된 특징들의 이러한 조합과 다른 조합들은 본 명세서의 내용에 비추어 관련 기술 분야에서 숙련된 자들 중 한 명이 명백히 알 수 있는 것이며 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 것으로 간주된다.

[0251] 일부 실시예에서는, 어떤 가요성 지지 부재들은 피가공물(24) 상에서 부분적인 그림자 효과(shadowing)를 발생시킬 수도 있다고 생각된다. 이는 그러한 웨도우의 부근에서 피가공물의 균일하지 않은 가열을 일으킬 수 있다. 이러한 난점을 완화하거나 줄이기 위해서는, 원한다면, 광학 섬유들 자체를 통하여 (도시되지 않은) 하나 이상의 조사원(irradiance source)으로부터 추가적인 조사를 피가공물에 전달하여 그러한 웨도우 부근에서 피가공물을 추가로 조사하고 그에 따라서 피가공물에 입사되는 조사장(irradiance field)의 불균일성을 줄이기 위하여 가요성 지지 부재로서 광학 섬유들을 이용할 수 있다.

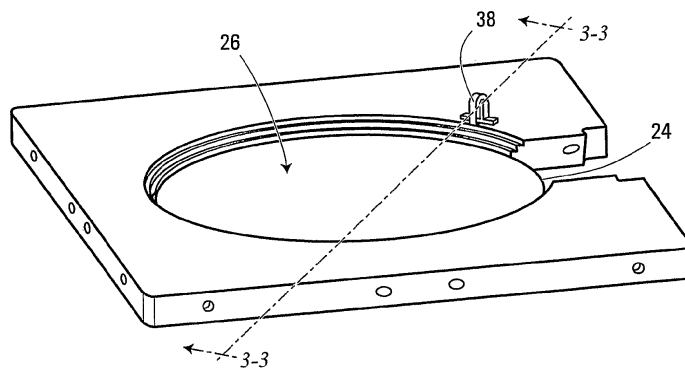
[0252] 보다 일반적으로 말해서, 본 발명의 구체적인 실시예들이 설명되고 도시되었지만, 그러한 실시예들은 단지 예시의 목적으로 제공된 것이지 첨부된 청구항에 따라서 해석되는 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 보아서는 안된다.

도면

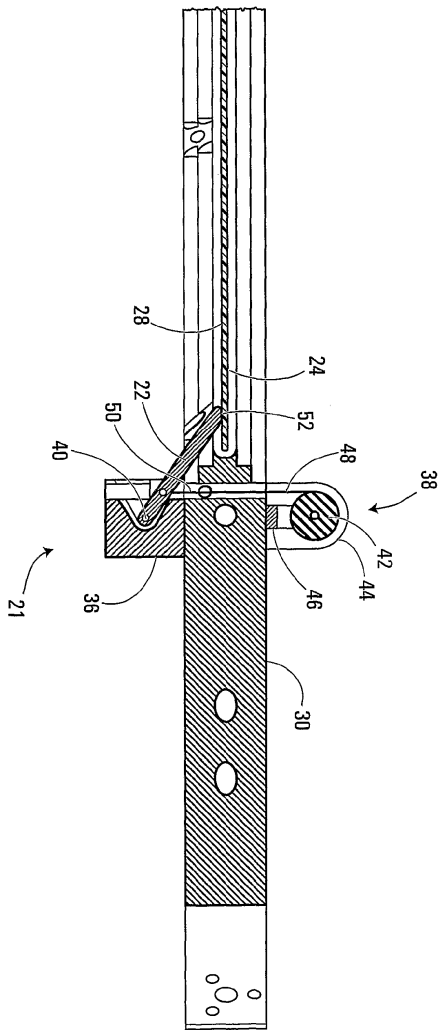
도면1



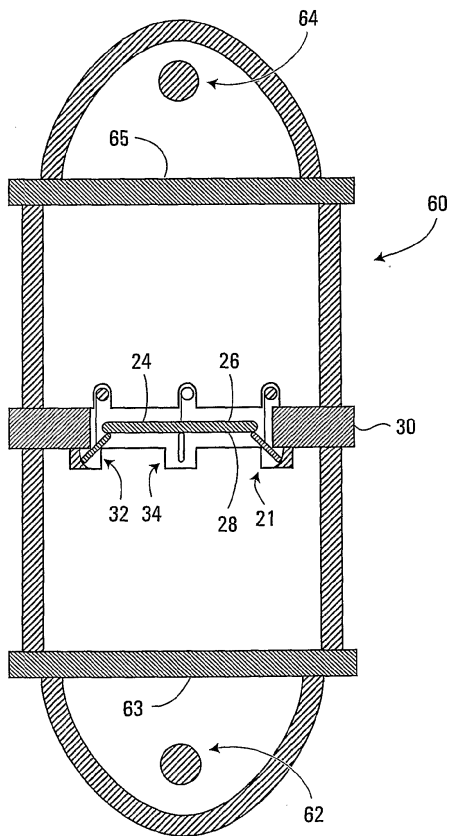
도면2



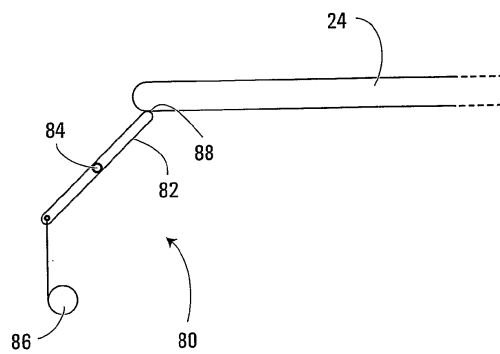
도면3



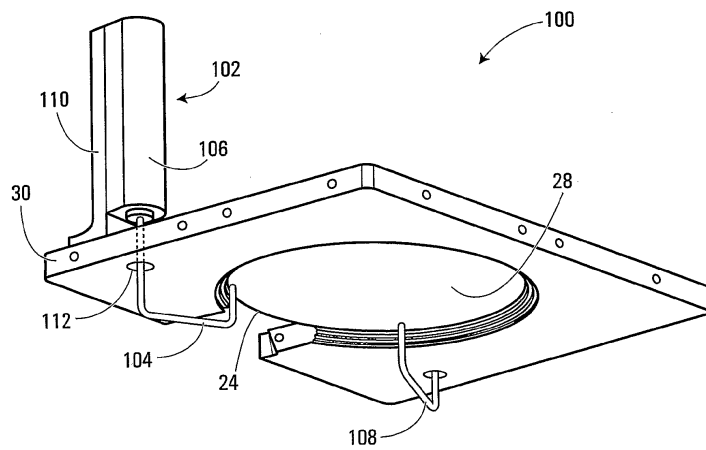
도면4



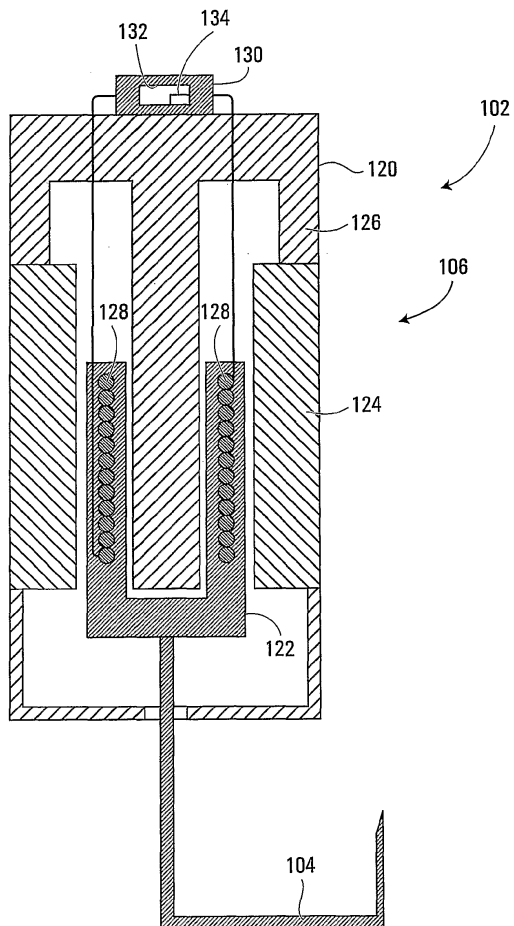
도면5



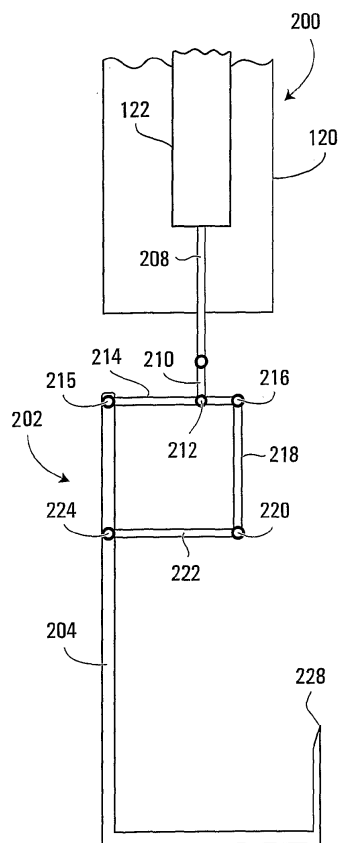
도면6



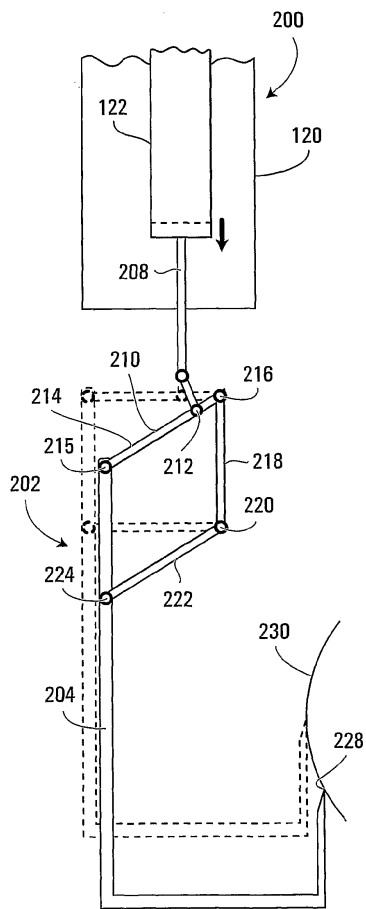
도면7



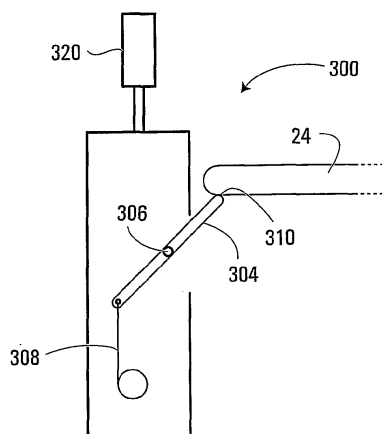
도면8



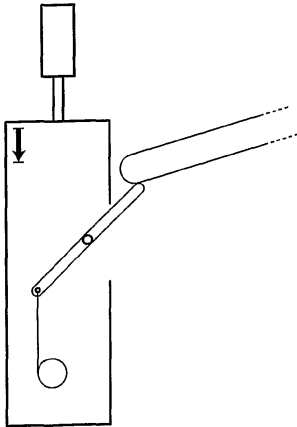
도면9



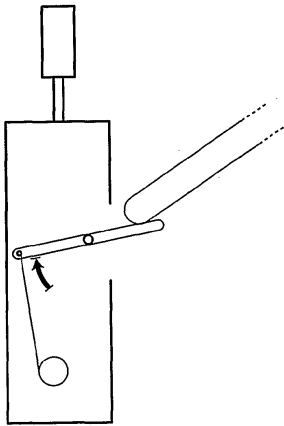
도면10



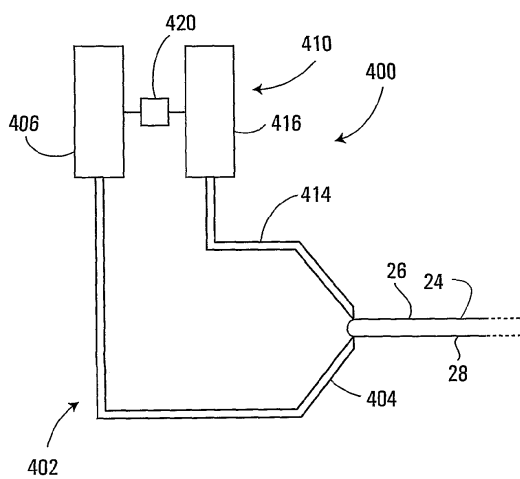
도면11



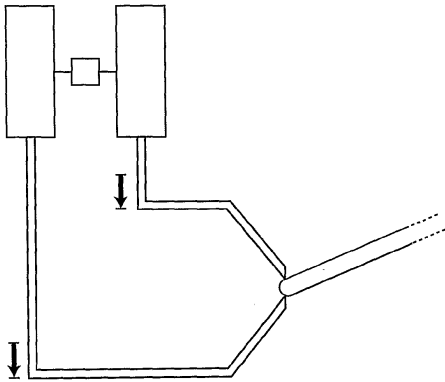
도면12



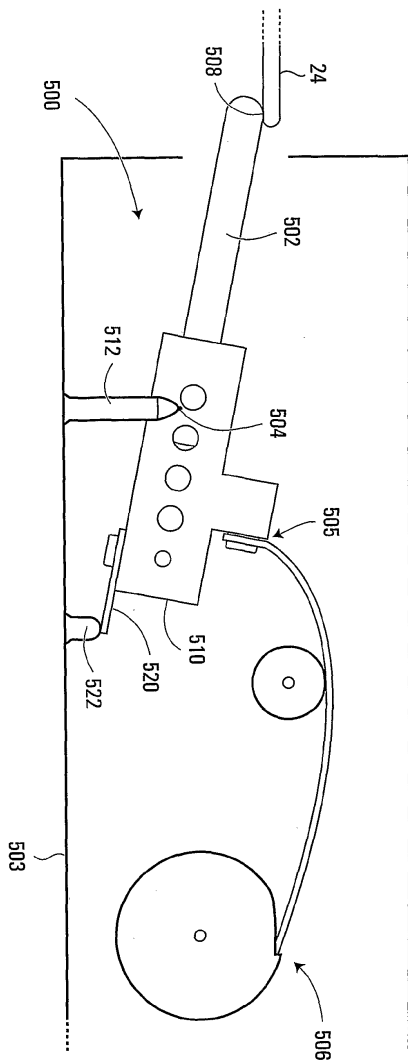
도면13



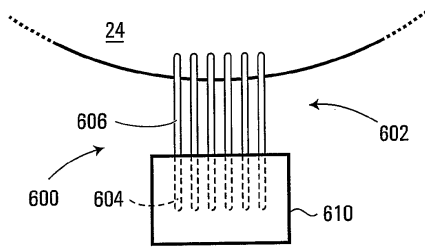
도면14



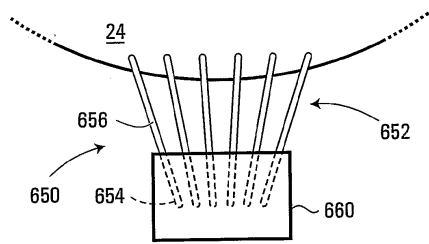
도면15



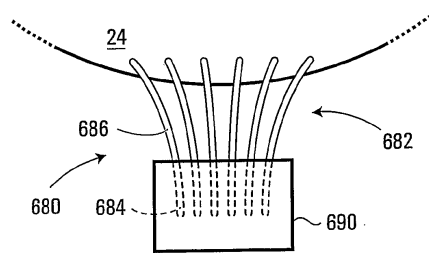
도면16



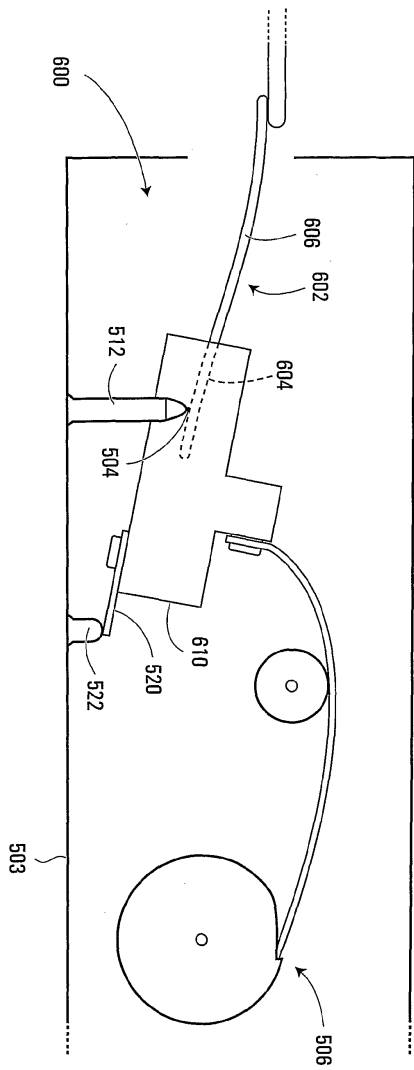
도면17



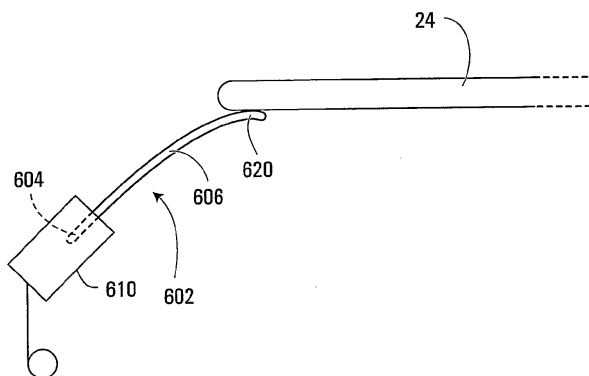
도면18



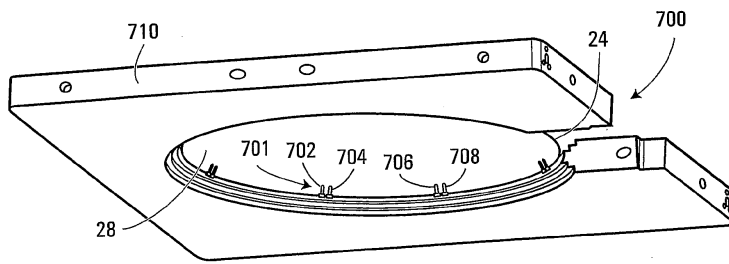
도면19



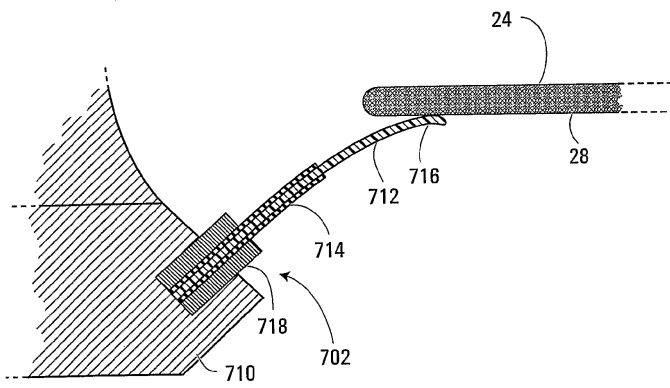
도면20



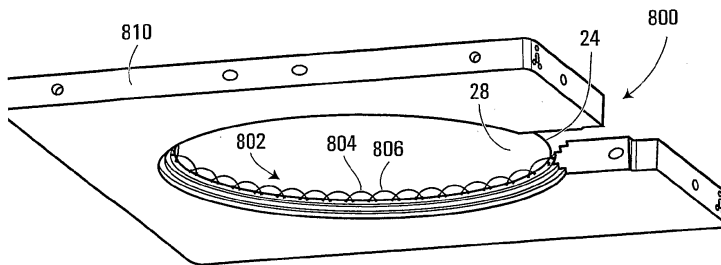
도면21



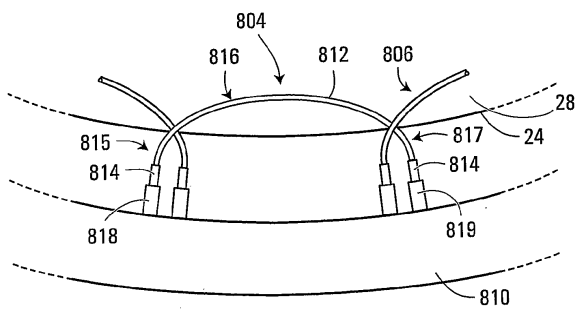
도면22



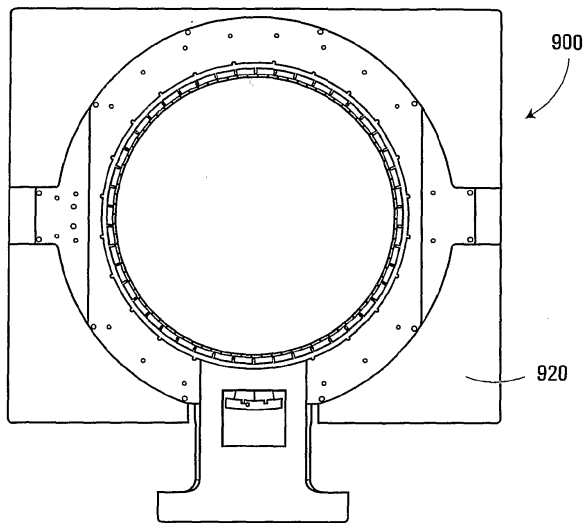
도면23



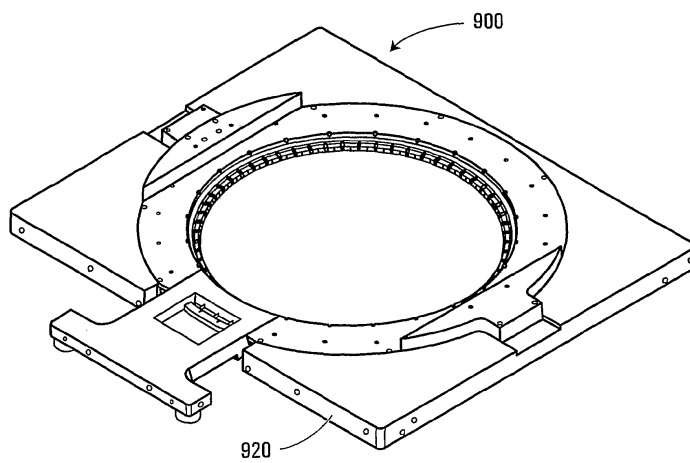
도면24



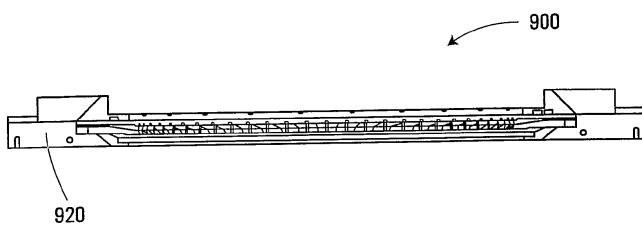
도면25



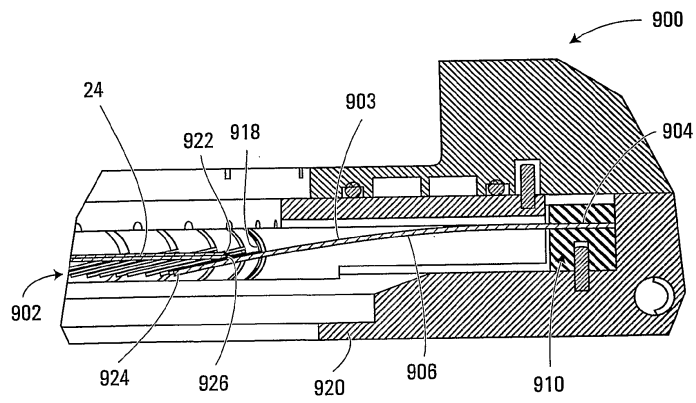
도면26



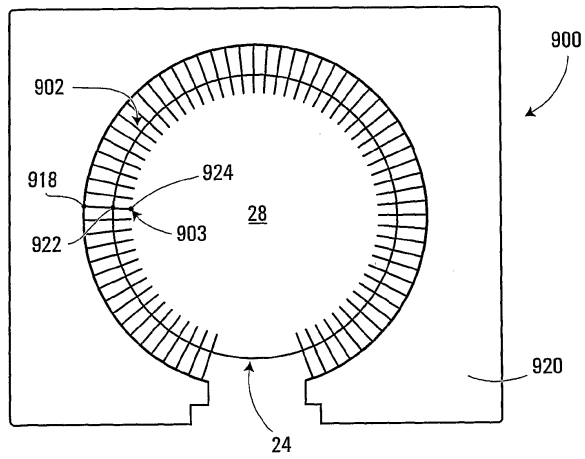
도면27



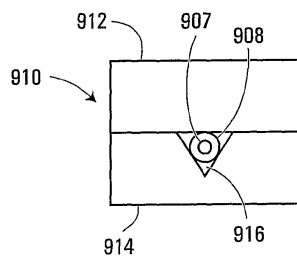
도면28



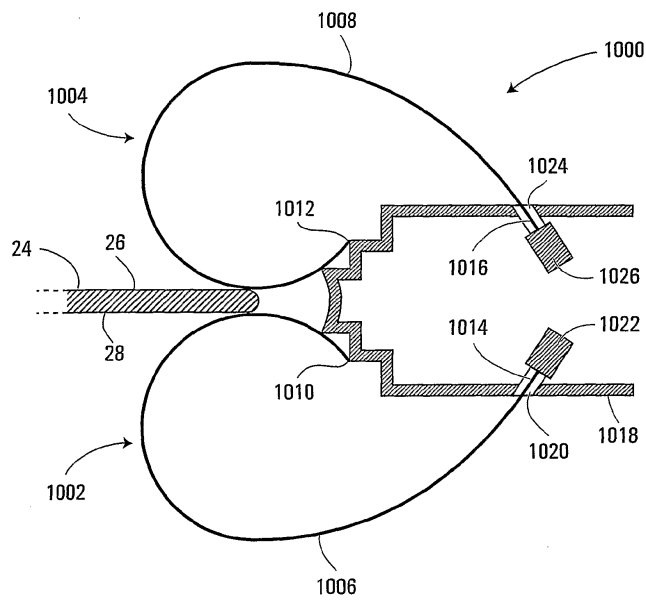
도면29



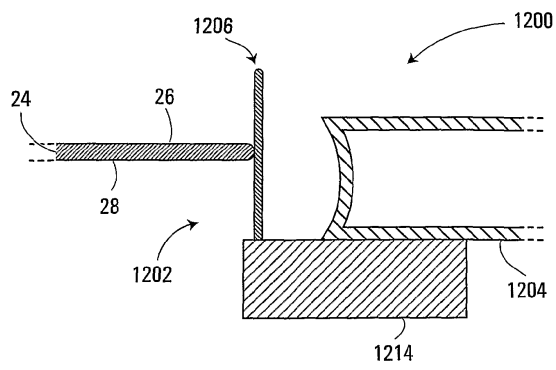
도면30



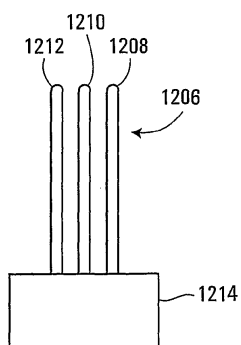
도면31



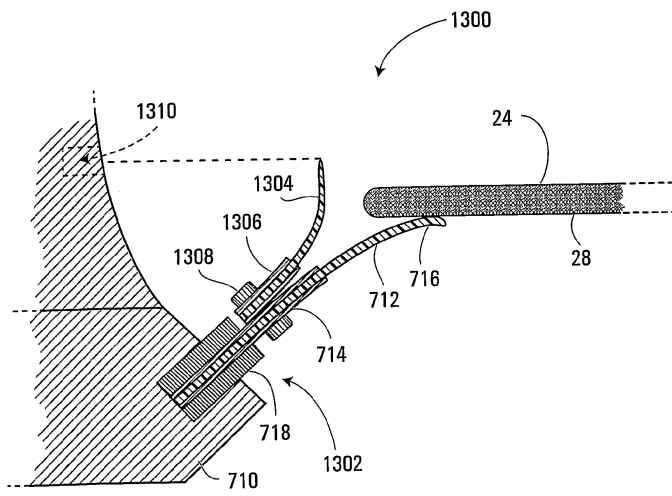
도면32



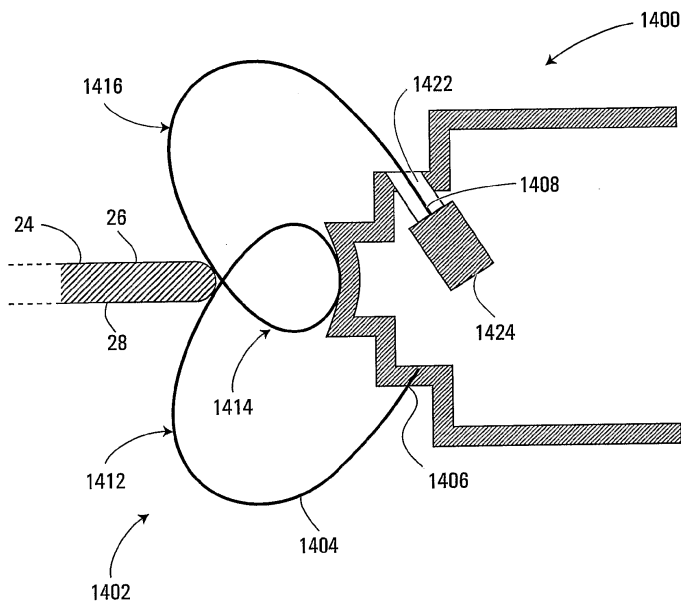
도면33



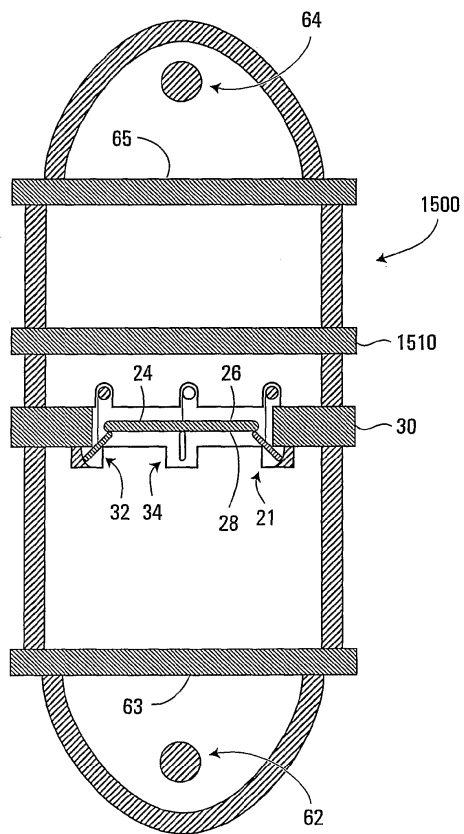
도면34



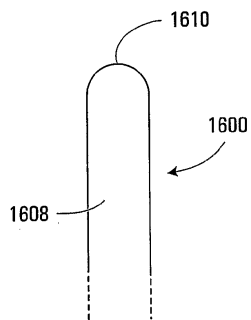
도면35



도면36



도면37



도면38

