



등록특허 10-2817112



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년06월04일  
(11) 등록번호 10-2817112  
(24) 등록일자 2025년05월30일

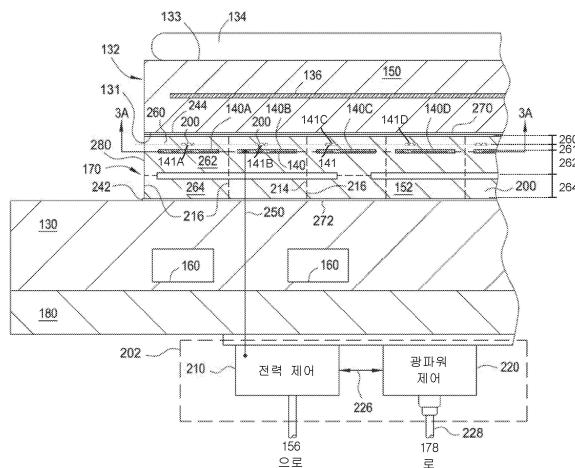
- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G01K 7/16* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*G01K 7/16* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7024255
- (22) 출원일자(국제) 2017년01월20일  
심사청구일자 2022년01월17일
- (85) 번역문제출일자 2018년08월22일
- (65) 공개번호 10-2018-0097789
- (43) 공개일자 2018년08월31일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/014233
- (87) 국제공개번호 WO 2017/127611  
국제공개일자 2017년07월27일
- (30) 우선권주장  
62/286,064 2016년01월22일 미국(US)  
15/409,362 2017년01월18일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020140084010 A\*  
US20140045337 A1\*
- \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 14 항

심사관 : 손래신

(54) 발명의 명칭 **다-구역 정전 측을 위한 센서 시스템****(57) 요 약**

기판 지지 조립체를 위한 가열기 조립체는 바디를 포함한다. 가열기 조립체는 바디에 배치된 하나 또는 그 초과의 메인 저항성 가열 엘리먼트들, 및 바디에 배치된 복수의 부가적인 저항성 가열 엘리먼트들을 더 포함한다. 가열기 조립체는 바디에 배치된 복수의 온도 센서들을 더 포함하며, 여기서, 복수의 온도 센서들 중 하나 또는 그 초과는 복수의 부가적인 저항성 가열 엘리먼트들 중 하나 근처에 배치된다.

**대 표 도 - 도2**

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기판 지지 조립체를 위한 가열기 조립체로서,

바디(body);

상기 바디에 배치된 하나 또는 그 초과의 메인 저항성 가열 엘리먼트들;

상기 바디에 배치된 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들 – 상기 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들 각각은 상기 가열기 조립체의 영역에 부가적인 열을 국부적으로 제공하기 위해 상기 가열기 조립체 내에 셀 (cell)을 정의하고, 상기 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들 각각의 출력은 제어 가능함 – ;

상기 바디에 배치된 복수의 온도 센서들 – 각각의 온도 센서는 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트에 의해 정의된 상기 셀의 중앙에 배치되고, 각각의 온도 센서는 각각의 온도 센서가 배치된 셀의 온도를 측정하여 상기 셀 내의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트를 제어함 – ;

제1 금속 층;

상기 제1 금속 층을 상기 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들 중 하나 이상의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들로부터 분리하는 제1 유전체 층;

상기 하나 이상의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들에 상기 제1 금속 층을 연결하는 제1 복수의 비아들 – 상기 제1 금속 층은 상기 하나 이상의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들에 대한 공통 접지로서 작용함 – ;

제2 금속 층;

상기 제2 금속 층을 상기 복수의 온도 센서들 중 하나 이상의 온도 센서들로부터 분리하는 제2 유전체 층; 및

상기 하나 이상의 온도 센서들에 상기 제2 금속 층을 연결하는 제2 복수의 비아들을 포함하고, 상기 제2 금속 층은 상기 하나 이상의 온도 센서들에 대한 공통 접지로서 작용하는,

가열기 조립체.

#### 청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 바디는 폴리이미드를 포함하는 가요성 바디인,

가열기 조립체.

#### 청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 복수의 온도 센서들 중 하나 또는 그 초과는 RTD(resistance temperature detector)를 포함하는,

가열기 조립체.

#### 청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 RTD는 증착된 백금을 포함하는,

가열기 조립체.

#### 청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 복수의 온도 센서들 중 하나 또는 그 초과는 열전대를 포함하는,  
가열기 조립체.

### 청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 복수의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들에 전기적으로 연결된 공간적 투닝가능 가열기 제어기를 더 포함하며,

상기 공간적 투닝가능 가열기 제어기는,

상기 복수의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들 중 제2 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트에 대하여, 상기 복수의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들 중 제1 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트에 대한 출력을 독립적으로 제어하고;

상기 제1 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트 근처에 있는, 상기 복수의 온도 센서들 중 제1 온도 센서로부터 온도 측정을 수신하며; 그리고

상기 온도 측정에 기초하여, 상기 제1 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트가 고장났는지를 결정하는,  
가열기 조립체.

### 청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 공간적 투닝가능 가열기 제어기는 추가로,

상기 제1 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트에 대해 온도 세팅과 상기 온도 측정 사이의 차이를 결정하고;

상기 차이가 임계치를 초과하는지를 결정하며; 그리고

상기 차이가 상기 임계치를 초과하는 것으로 결정하는 것에 응답하여, 상기 제1 공간적 투닝가능한 가열 엘리먼트의 세팅을 조정하는,

가열기 조립체.

### 청구항 8

기판 지지 조립체로서,

세라믹 바디를 포함하는 정전 척;

상기 세라믹 바디에 배치된 전극;

상기 세라믹 바디에 배치된 복수의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들 – 상기 복수의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들 각각은 상기 기판 지지 조립체의 영역에 부가적인 열을 국부적으로 제공하기 위해 상기 기판 지지 조립체 내에 셀을 정의하고, 각각의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트의 출력을 제어 가능함 – ;

1) 상기 세라믹 바디 내 또는 2) 상기 세라믹 바디의 하단 표면 상 중 적어도 하나에 배치된 복수의 온도 센서들 – 각각의 온도 센서는 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트에 의해 정의된 상기 셀의 중앙에 배치되고, 각각의 온도 센서는 각각의 온도 센서가 배치된 셀의 온도를 측정하여 상기 셀 내의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트를 제어함 – ;

제1 금속 층;

상기 제1 금속 층을 상기 복수의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들 중 하나 이상의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들로부터 분리하는 제1 유전체 층;

상기 하나 이상의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들에 상기 제1 금속 층을 연결하는 제1 복수의 비아들 – 상기 제1 금속 층은 상기 하나 이상의 공간적 투닝가능 가열 엘리먼트들에 대한 공통 접지로서 작용함 – ;

제2 금속 층;

상기 제2 금속 층을 상기 복수의 온도 센서들 중 하나 이상의 온도 센서들로부터 분리하는 제2 유전체 층; 및  
상기 하나 이상의 온도 센서들에 상기 제2 금속 층을 연결하는 제2 복수의 비아들을 포함하고, 상기 제2 금속  
층은 상기 하나 이상의 온도 센서들에 대한 공통 접지로서 작용하는,  
기판 지지 조립체.

#### 청구항 9

제8 항에 있어서,

하나 이상의 메인 저항성 가열 엘리먼트들을 더 포함하고, 상기 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들 각각  
은 상기 복수의 온도 센서들로부터의 별개의 온도 센서 근처에 있는,

기판 지지 조립체.

#### 청구항 10

제8 항에 있어서,

상기 복수의 온도 센서들은 복수의 RTD(resistance temperature detector)들을 포함하는,

기판 지지 조립체.

#### 청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 복수의 RDT들 중 하나 또는 그 초과는 증착된 백금을 포함하는,

기판 지지 조립체.

#### 청구항 12

제8 항에 있어서,

상기 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들에 전기적으로 연결된 가열기 제어기를 더 포함하며,

상기 가열기 제어기는,

상기 복수의 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들 중 제2 가열 엘리먼트에 대하여, 상기 복수의 공간적 튜닝가능  
가열 엘리먼트들 중 제1 가열 엘리먼트에 대한 출력을 독립적으로 제어하고;

상기 제1 가열 엘리먼트 근처에 있는, 상기 복수의 온도 센서들 중 제1 온도 센서로부터 온도 측정을 수신하며;  
그리고

상기 온도 측정에 기초하여, 상기 제1 가열 엘리먼트가 고장났는지를 결정하는,

기판 지지 조립체.

#### 청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 가열기 제어기는 추가로,

상기 제1 가열 엘리먼트에 대해 온도 세팅과 상기 온도 측정 사이의 차이를 결정하고;

상기 차이가 임계치를 초과하는지를 결정하며; 그리고

상기 차이가 상기 임계치를 초과하는 것으로 결정하는 것에 응답하여, 상기 제1 가열 엘리먼트의 세팅을 조정하  
는,

기판 지지 조립체.

**청구항 14**

제12 항에 있어서,

상기 제1 유전체 층 및 상기 제2 유전체 층은 단일 모놀리식(monolithic) 바디를 형성하는,  
기판 지지 조립체.

**청구항 15**

삭제

**발명의 설명****기술 분야**

[0001]

[0001] 본원에서 설명되는 구현들은 일반적으로, 반도체 제조에 관한 것이고, 더 구체적으로는 온도 제어식 기판 지지 조립체 및 이를 사용하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002]

[0002] 집적 회로들에 대해 디바이스 패턴들의 피처(feature) 사이즈가 더 작아지게 됨에 따라, 안정적이고 반복가능한 디바이스 성능을 위해, 이를 피처들의 임계 치수(CD) 사양이 더 중요한 기준이 된다. 프로세싱 챔버들 내에서 프로세싱되는 기판에 걸친 허용가능한 CD 변동은 챔버 비대칭들, 이를테면 챔버 및 기판 온도, 유동 전도도, 및 RF 필드들로 인해 달성하기 어렵다.

[0003]

[0003] 정전 척을 활용하는 프로세스들에서, 기판의 표면에 걸친 온도 제어의 균일성은 기판 아래의 척의 비-균질 구성으로 인해 한층 더 어렵다. 예컨대, 정전 척의 일부 영역들은 가스 홀들을 갖는 한편, 다른 영역들은 가스 홀들로부터 측방향으로 오프셋된 리프트 핀 홀들을 갖는다. 또 다른 영역들은 척킹 전극들을 갖는 한편, 다른 영역들은 척킹 전극들로부터 측방향으로 오프셋된 가열기 전극들을 갖는다. 정전 척의 구조가 측방향 및 방위각 방향 둘 모두로 변화될 수 있기 때문에, 척과 기판 사이의 열 전달의 균일성은 획득하는 것이 난해하고 매우 어려우며, 그에 따라, 척 표면에 걸친 국부적 고온 및 저온 스폿들이 발생되는데, 그 고온 및 저온 스폿들은 기판의 표면을 따라 프로세싱 결과들의 불-균일성을 초래한다.

[0004]

[0004] 척과 기판 사이의 열 전달의 측방향 및 방위각 방향 균일성은 정전 척이 탑재된 종래의 기판 지지부들에서 일반적으로 활용되는 열 전달 체계들에 의해 더 난해하게 된다. 예컨대, 종래의 기판 지지부들은 전형적으로, 예지 대 중앙 온도 제어만을 갖는다. 정전 척 내의 국부적 고온 및 저온 스폿들은 종래의 기판 지지부들의 열 전달 피처들을 활용하는 것으로 보상되는 것이 가능하지 않다.

**발명의 내용**

[0005]

[0005] 본원에서 설명되는 구현들은 정전 척과 가열 조립체 사이의 열 전달의 측방향과 방위각 방향 튜닝 둘 모두를 가능하게 하는 기판 지지 조립체를 제공한다.

[0006]

[0006] 일 구현에서, 기판 지지 조립체를 위한 가열기 조립체는 바디, 및 바디에 배치된 하나 또는 그 초과의 메인 가열 엘리먼트들을 포함한다. 가열기 조립체는 바디에 배치된 복수의 부가적인 저항성 가열 엘리먼트들을 더 포함하며, 여기서, 부가적인 저항성 가열 엘리먼트들 각각은 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트라고 본원에서 지칭될 수 있다. 가열기 조립체는 바디에 배치된 복수의 온도 센서들

[0007]

을 더 포함하며, 여기서, 복수의 온도 센서들 각각은 복수의 부가적인 저항성 가열 엘리먼트들 중 하나 근처에 배치된다.

[0008]

[0007] 일 구현에서, 기판 지지 조립체는 세라믹 바디, 세라믹 바디에 배치된 전극, 및 세라믹 바디에 배치된 복수의 가열 엘리먼트들을 포함하는 정전 척을 포함한다. 기판 지지 조립체는 1) 세라믹 바디 내 또는 2) 세라믹 바디의 하단 표면 상 중 적어도 하나에 배치된 복수의 온도 센서들을 포함하며, 여기서, 복수의 온도 센서들 각각은 복수의 가열 엘리먼트들 중 가열 엘리먼트 근처에 배치되고, 그리고 상기 가열 엘리먼트의 동작성(operability)을 검출하기 위해 사용될 것이다.

[0009]

[0008] 일 구현에서, 장치는 디스크 형상을 갖는 가요성 폴리머 바디, 및 가요성 폴리머 바디에 배치된 복수의

온도 센서들을 포함한다. 복수의 온도 센서들 각각은 정전 척의 영역의 온도를 측정하기 위한 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0010]

[0009] 본 발명의 상기 열거된 특징들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간략히 요약된 보다 구체적인 설명이 구현들을 참조로 하여 이루어질 수 있는데, 이러한 구현들의 일부는 첨부된 도면들에 예시되어 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 본 발명의 단지 일부 실시예들을 도시하고, 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 주목되어야 한다.

[0010] 도 1은 기판 지지 조립체의 일 실시예를 갖는 프로세싱 챔버의 개략적인 측단면도이다.

[0011] 도 2는 기판 지지 조립체의 부분들을 상세히 나타내는 개략적인 부분 측단면도이다.

[0012] 도 3a 내지 도 3f는 기판 지지 조립체 내의 공간적 튜닝가능 가열기를 및 메인 저항성 가열기들을 위한 다양한 위치들을 예시하는 개략적인 부분 측면도들이다.

[0013] 도 4a는 도 2의 단면선 A-A를 따라 취해진 단면도이다.

[0014] 도 4b 내지 도 4d는 공간적 튜닝가능 가열기들을 위한 대안적인 레이아웃들을 예시하는, 도 2의 단면선 A-A을 따라 취해진 단면도들이다.

[0015] 도 5는 공간적 튜닝가능 가열기들 및 메인 저항성 가열기들을 위한 와이어링 스키마에 대한 그래픽 도면이다.

[0016] 도 6은 공간적 튜닝가능 가열기들 및 메인 저항성 가열기들을 위한 대안적인 와이어링 스키마에 대한 그래픽 도면이다.

[0017] 도 7은 도 6에 도시된 와이어링 스키마를 위해 구성된 기판 지지 조립체의 저부 투시도이다.

[0018] 도 8은 도 6에 도시된 와이어링 스키마를 위해 구성된 냉각 베이스에 대한 저부 투시도이다.

[0019] 도 9는 기판 지지 조립체를 활용하여 기판을 프로세싱하기 위한 방법의 일 실시예의 흐름도이다.

[0020] 도 10은 제어기에 정전 척을 연결하기 위한 메이팅 커넥터에 대한 단면도이다.

[0021] 이해를 용이하게 하기 위해, 도면들에 대해 공통인 동일한 엘리먼트들을 지정하기 위해 가능한 경우에 동일한 참조 번호들이 사용되었다. 일 구현에서 개시되는 엘리먼트들이 구체적인 설명 없이 다른 구현들에 대해 유의하게 사용될 수 있다는 것이 고려된다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011]

[0022] 본원에서 설명되는 구현들은, 정전 척의 온도의 측방향 및 방위각 방향 튜닝을 가능하게 하는 기판 지지 조립체를 제공하며, 그 튜닝은 차례로, 기판 지지 조립체 상에서 프로세싱되는 기판의 측방향 온도 프로파일의 측방향과 방위각 방향 튜닝 둘 모두를 가능하게 한다. 더욱이, 실시예들은 기판 지지 조립체 내의 다수의 상이한 위치들에서의 온도의 모니터링을 가능하게 한다. 기판 지지 조립체 상에서 프로세싱되는 기판의 측방향 온도 프로파일의 튜닝을 위한 방법들이 또한 본원에서 설명된다.

[0012]

[0023] 실시예들에서, 기판 지지 조립체는 다수의 가열 구역들을 포함한다. 각각의 가열 구역은 그 가열 구역에 위치된 가열 엘리먼트에 의해 가열될 수 있다. 기판 지지 조립체는 2개의 가열 구역들로부터 수백개의 가열 구역들까지 임의의 수의 가열 구역들을 포함할 수 있다(예컨대, 일부 실시예들에서, 150개의 가열 구역들 또는 200개의 가열 구역들). 각각의 가열 구역은 RTD(resistance thermometer detector) 또는 열전대일 수 있는 별개의 온도 센서를 포함한다. 다수의 가열 엘리먼트들은 하나 또는 그 초과의 공통 접지들을 공유할 수 있고, 온도 센서들은 하나 또는 그 초과의 부가적인 공통 접지들을 공유할 수 있다. 따라서, 다수의 가열 엘리먼트들에 전력을 공급하기 위해 사용되는 와이어들의 수는 가열 엘리먼트들의 수보다 하나 더 많을 수 있고, 온도 센서들에 전력을 공급하기 위해 사용되는 와이어들의 수가 또한, 가열 엘리먼트들의 수보다 하나 더 많을 수 있다. 각각의 가열 엘리먼트에 대해 별개의 온도 센서를 가짐으로써, 온도 제어기는, 가열 엘리먼트들 중 임의의 가열 엘리먼트가 고장날 때를 결정할 수 있다. 부가적으로, 온도 센서가 교정되는 경우에, 가열 엘리먼트들 각각은 특정 가열 구역에서의 온도를 결정할 수 있고, 그 가열 구역과 연관된 가열 엘리먼트의 피드백 제어를 위해 사용될 수 있다.

- [0013] [0024] 기판 지지 조립체가 각각의 프로세싱 챔버에서 아래에 설명되지만, 기판 지지 조립체는 다른 타입의 프로세싱 챔버들, 이를테면, 특히, 물리 기상 증착 챔버들, 화학 기상 증착 챔버들, 이온 주입 챔버들, 및 측방향 온도 프로파일의 방위각 방향 튜닝이 바람직한 다른 시스템들에서 활용될 수 있다. 또한, 공간적 튜닝가능 가열기들이 또한, 반도체 프로세싱에 사용되지 않는 표면들을 포함하는 다른 표면들의 온도를 제어하기 위해 활용될 수 있다.
- [0014] [0025] 하나 또는 그 초과의 실시예들에서, 기판 지지 조립체는, 챔버 불-균일성들, 이를테면 온도, 유동 전도도, 전기장들, 플라즈마 밀도 등을 보상하기 위해 기판 온도를 조정하는 것에 기초하여, 전공 프로세스, 이를테면 예칭, 증착, 주입 등 동안에, 기파느이 에지에서의 임계 치수(CD) 변동의 정정을 가능하게 한다. 부가적으로, 일부 실시예들은 기판에 걸친 온도 균일성을 섭씨 약 ± 0.3 도 미만까지 제어할 수 있는 기판 지지 조립체를 제공한다.
- [0015] [0026] 도 1은 기판 지지 조립체(126)를 갖는 예시적인 예칭 프로세싱 챔버(100)의 개략적인 단면도이다. 위에서 논의된 바와 같이, 기판 지지 조립체(126)는 다른 프로세싱 챔버들, 이를테면, 플라즈마 처리 챔버들, 어닐링 챔버들, 물리 기상 증착 챔버들, 화학 기상 증착 챔버들, 이온 주입 챔버들 등에서 활용될 수 있다. 부가적으로, 기판 지지 조립체(126)는 표면 또는 워크피스, 이를테면 기판의 온도 프로파일을 제어하는 능력이 바람직한 다른 시스템들을 위해 사용될 수 있다. 표면에 걸친 다수의 불연속 영역들에 걸친 온도의 독립적 및 국부적 제어는 유익하게, 온도 프로파일의 방위각 방향 튜닝, 온도 프로파일의 중앙 대 에지 튜닝, 및 국부적 온도 불균등들의 감소를 가능하게 한다.
- [0016] [0027] 일 실시예에서, 프로세싱 챔버(100)는 접지된 챔버 바디(102)를 포함한다. 챔버 바디(102)는 벽들(104), 하단(106), 및 덮개(108)를 포함하며, 이들은 내부 볼륨(124)을 밀폐한다. 기판 지지 조립체(126)는 내부 볼륨(124)에 배치되고, 프로세싱 동안에 기판(134)을 지지한다.
- [0017] [0028] 프로세싱 챔버(100)의 벽들(104)은 개구(미도시)를 포함할 수 있으며, 그 개구를 통해 기판(134)이 내부 볼륨(124) 내외로 로봇식으로 이송될 수 있다. 펌핑 포트(110)가 챔버 바디(102)의 벽들(104) 또는 하단(106) 중 하나에 형성되고, 펌핑 시스템(미도시)에 유동가능하게 연결된다. 펌핑 시스템은 프로세싱 챔버(100)의 내부 볼륨(124) 내의 진공 환경을 유지할 수 있고, 프로세싱 챔버로부터 프로세싱 부산물들을 제거할 수 있다.
- [0018] [0029] 가스 패널(112)은 챔버 바디(102)의 덮개(108) 및/또는 벽들(104)에 형성된 하나 또는 그 초과의 유입구 포트들(114)을 통해 프로세싱 챔버(100)의 내부 볼륨(124)에 프로세스 가스들 및/또는 다른 가스들을 제공할 수 있다. 가스 패널(112)에 의해 제공되는 프로세스 가스들은, 기판 지지 조립체(126) 상에 배치된 기판(134)을 프로세싱하기 위해 활용되는 플라즈마(122)를 형성하기 위해, 내부 볼륨(124) 내에서 에너자이징될(energized) 수 있다. 프로세스 가스들은 챔버 바디(102) 외부에 위치된 플라즈마 애플리케이터(120)로부터 프로세스 가스들에 유도성으로 커플링되는 RF 전력에 의해 에너자이징될 수 있다. 도 1에 도시된 실시예에서, 플라즈마 애플리케이터(120)는, 정합 회로(118)를 통해 RF 전력 소스(116)에 커플링된 동축 코일들의 쌍이다.
- [0019] [0030] 제어기(148)는 프로세싱 챔버(100)의 동작 및 기판(134)의 프로세싱을 제어하기 위해 프로세싱 챔버(100)에 커플링된다. 제어기(148)는 다양한 서브프로세서들 및 서브제어기들을 제어하기 위해 산업 현장에서 사용될 수 있는 범용 데이터 프로세싱 시스템일 수 있다. 일반적으로, 제어기(148)는, 다른 일반적인 컴포넌트들 중에서, 메모리(174) 및 입력/출력(I/O) 회로(176)와 통신하는 중앙 프로세싱 유닛(CPU)(172)을 포함한다. 제어기(148)의 CPU에 의해 실행되는 소프트웨어 커맨드들은 프로세싱 챔버로 하여금, 예컨대, 내부 볼륨(124) 내로 에센트 가스 혼합물(즉, 프로세싱 가스)을 도입하게 할 수 있고, 플라즈마 애플리케이터(120)로부터의 RF 전력의 인가에 의해 프로세싱 가스로부터 플라즈마(122)를 형성하게 할 수 있으며, 기판(134) 상의 재료의 층을 에칭하게 할 수 있다.
- [0020] [0031] 기판 지지 조립체(126)는 일반적으로, 적어도 기판 지지부(132)를 포함한다. 기판 지지부(132)는 전공 척, 정전 척, 서瞽터, 또는 다른 워크피스 지지 표면일 수 있다. 도 1의 실시예에서, 기판 지지부(132)는 정전 척이고, 이하에서 정전 척(132)으로서 설명될 것이다. 기판 지지 조립체(126)는 가열기 조립체(170)를 부가적으로 포함할 수 있으며, 그 가열기 조립체(170)는 메인 저항성 가열 엘리먼트들(154)(메인 저항성 가열기들이라고 또한 지칭됨), 및 공간적 튜닝가능 가열 엘리먼트들(140)(공간적 튜닝가능 가열기들이라고 또한 지칭됨)로서 본원에서 지칭되는 복수의 부가적인 저항성 가열 엘리먼트들을 포함한다.
- [0021] [0032] 기판 지지 조립체(126)는 또한, 냉각 베이스(130)를 포함할 수 있다. 대안적으로, 냉각 베이스(130)는

기판 지지 조립체(126)로부터 분리될 수 있다. 기판 지지 조립체(126)는 지지 페데스탈(125)에 제거가능하게 커플링될 수 있다. 페데스탈 베이스(128) 및 설비 플레이트(180)를 포함할 수 있는 지지 페데스탈(125)은 챔버 바디(102)에 탑재된다. 기판 지지 조립체(126)는 기판 지지 조립체(126)의 하나 또는 그 초과의 컴포넌트들의 개장을 가능하게 하기 위해, 지지 페데스탈(125)로부터 주기적으로 제거될 수 있다.

[0022] [0033] 설비 플레이트(180)는 다수의 리프팅 핀들을 상승 및 하강시키도록 구성된 하나 또는 그 초과의 구동 메커니즘들을 수용하도록 구성된다. 부가적으로, 설비 플레이트(180)는 정전 척(132) 및 냉각 베이스(130)로부터의 유체 연결들을 수용하도록 구성된다. 설비 플레이트(180)는 또한, 정전 척(132) 및 가열기 조립체(170)로부터의 전기 연결들을 수용하도록 구성된다. 무수한 연결들이 기판 지지 조립체(126) 외부에서 또는 내부에서 연장될 수 있고, 설비 플레이트(180)는 각각의 말단부에 대한 연결들을 위한 인터페이스를 제공할 수 있다.

[0023] [0034] 정전 척(132)은 탑재 표면(131), 및 탑재 표면(131) 반대편에 있는 워크피스 표면(133)을 갖는다. 정전 척(132)은 일반적으로, 유전체 바디(150)에 매립된 척킹 전극(136)을 포함한다. 척킹 전극(136)은 단극성 또는 양극성 전극 또는 다른 적합한 어레인지먼트로서 구성될 수 있다. 척킹 전극(136)은 무선 주파수(RF) 필터(182)를 통해 척킹 전력 소스(138)에 커플링될 수 있으며, 그 척킹 전력 소스(138)는 유전체 바디(150)의 상부 표면에 기판(134)을 정전기적으로 고정시키기 위해 RF 또는 직류(DC) 전력을 제공한다. RF 필터(182)는, 프로세싱 챔버(100) 내에 플라즈마(122)를 형성하기 위해 활용되는 RF 전력이 전기 장비를 손상시키거나 또는 챔버 외부에 전기적 위험을 제공하는 것을 방지한다. 유전체 바디(150)는 세라믹 재료, 이를테면 AlN 또는 Al2O3로 제작될 수 있다. 대안적으로, 유전체 바디(150)는 폴리머, 이를테면 폴리아미드, 폴리에테르에테르카톤, 폴리아릴에테르카톤 등으로 제작될 수 있다.

[0024] [0035] 정전 척(132)의 워크피스 표면(133)은, 정전 척(132)의 워크피스 표면(133)과 기판(134) 사이에 정의되는 개재 공간에 배면측 열 전달 가스를 제공하기 위한 가스 통로들(미도시)을 포함할 수 있다. 정전 척(132)은 또한, 프로세싱 챔버(100) 내외로의 로봇식 이송을 용이하게 하기 위해 정전 척(132)의 워크피스 표면(133) 위로 기판(134)을 상승시키기 위한 리프트 핀들을 수용하기 위한 리프트 핀 홀들(둘 모두 미도시)을 포함할 수 있다.

[0025] [0036] 온도 제어식 냉각 베이스(130)는 열 전달 유체 소스(144)에 커플링된다. 열 전달 유체 소스(144)는, 냉각 베이스(130)에 배치된 하나 또는 그 초과의 도관들(160)을 통해 순환되는 열 전달 유체, 이를테면 액체, 가스, 또는 이들의 조합을 제공한다. 이웃하는 도관들(160)을 통해 유동하는 유체는 냉각 베이스(130)의 상이한 영역들과 정전 척(132) 사이의 열 전달의 국부적 제어를 가능하게 하기 위해 격리될 수 있으며, 이는 기판(134)의 측방향 온도 프로파일을 제어하는 것을 보조한다.

[0026] [0037] 유체 분배기(미도시)가 온도 제어식 냉각 베이스(130)와 열 전달 유체 소스(144)의 배출구 사이에 유동 가능하게 커플링될 수 있다. 유체 분배기는 도관들(160)에 제공되는 열 전달 유체의 양을 제어하도록 동작한다. 유체 분배기는 프로세싱 챔버(100) 외부에, 기판 지지 조립체(126) 내에, 페데스탈 베이스(128) 내에, 또는 다른 적합한 위치에 배치될 수 있다.

[0027] [0038] 가열기 조립체(170)는 하나 또는 그 초과의 메인 저항성 가열기들(154) 및/또는 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 포함할 수 있으며, 이들은 바디(152)에 매립된다. 바디(152)는 부가적으로, 복수의 온도 센서들을 포함할 수 있다. 복수의 온도 센서들 각각은 가열기 조립체의 영역, 및/또는 가열기 조립체의 영역과 연관된 정전 척의 영역의 온도를 측정하기 위해 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 바디(152)는 가요성 폴리아미드 또는 다른 가요성 폴리머이다. 다른 실시예에서, 바디는 세라믹, 이를테면 AlN 또는 Al2O3이다. 일 실시예에서, 바디는 디스크 형상을 갖는다. 일 실시예에서, 가열기 조립체(170)는 정전 척(132)에 포함된다.

[0028] [0039] 메인 저항성 가열기들(154)은 기판 지지 조립체(126)의 온도를 챔버 프로세스들을 실시하기 위한 온도로 상승시키기 위해 제공될 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 메인 저항성 가열기들(154)과 상보적이고, 그리고 메인 저항성 가열기들(154)에 의해 정의되는 복수의 측방향으로 분리된 가열 구역들 중 하나 또는 그 초과 내의 복수의 불연속 위치들에서 정전 척(132)의 국부화된 온도를 조정하도록 구성된다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 기판 지지 조립체(126) 상에 배치된 기판(134)의 온도 프로파일에 국부화된 조정들을 제공한다. 메인 저항성 가열기들(154)은 전역화된 매크로 스케일로 동작하는 한편, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 국부화된 마이크로 스케일로 동작한다.

[0029] [0040] 메인 저항성 가열기들(154)은 RF 필터(184)를 통해 메인 가열기 전력 소스(156)에 커플링될 수 있다. 메인 가열기 전력 소스(156)는 메인 저항성 가열기들(154)에 900 와트 또는 그 초과의 전력을 제공할 수 있다.

제어기(148)는 메인 가열기 전력 소스(156)의 동작을 제어할 수 있으며, 그 메인 가열기 전력 소스(156)는 일반적으로, 기판(134)을 대략 미리 정의된 온도로 가열하도록 세팅된다. 일 실시예에서, 메인 저항성 가열기들(154)은 측방향으로 분리된 가열 구역들을 포함하며, 여기서, 제어기(148)는 메인 저항성 가열기들(154)의 하나의 구역이 다른 구역들 중 하나 또는 그 초과에 위치된 메인 저항성 가열기들(154)에 비하여 우선적으로 가열될 수 있게 한다. 예컨대, 메인 저항성 가열기들(154)은 복수의 분리된 가열 구역들에서 동심적으로 배열될 수 있다.

[0030] [0041] 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 RF 필터(186)를 통해 튜닝 가열기 전력 소스(142)에 커플링될 수 있다. 튜닝 가열기 전력 소스(142)는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 10 와트 또는 그 미만의 전력을 제공할 수 있다. 일 실시예에서, 튜닝 가열기 전력 소스(142)에 의해 공급되는 전력은 메인 저항성 가열기들의 전력 소스(156)에 의해 공급되는 전력보다 10배만큼 더 적다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 부가적으로, 튜닝 가열기 제어기(202)에 커플링될 수 있다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 기판 지지 조립체(126) 내에 또는 외부에 위치될 수 있다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 기판 지지 조립체(126)에 걸쳐 측방향으로 분배된 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 의해 생성되는 열을 제어하기 위해, 튜닝 가열기 전력 소스(142)로부터 개별적인 튜닝 가능한 가열기들(140) 또는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 그룹들에 제공되는 전력을 관리할 수 있다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 중 하나의 출력을 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 중 다른 하나에 대하여 독립적으로 제어하도록 구성된다. 프로세싱 챔버(100) 내의 RF 에너지의 영향으로부터 제어기(148)를 디커플링시키기 위해, 광학 변환기(178)가 튜닝 가열기 제어기(202) 및 제어기(148)에 커플링될 수 있다.

[0031] [0042] 일 실시예에서, 메인 저항성 가열기들(154) 및/또는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 그러한 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)는, 정전 척(132)이 냉각 베이스(130) 바로 위에 배치되면서, 가열기 조립체(170) 없이 형성될 수 있다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 냉각 베이스에 인접하게 배치될 수 있고, 개별적인 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 선택적으로 제어할 수 있다.

[0032] [0043] 정전 척(132) 및/또는 가열기 조립체(170)는 온도 피드백 정보를 제공하기 위한 복수의 온도 센서들(미도시)을 포함할 수 있다. 온도 피드백 정보는 메인 저항성 가열기들(154)의 동작성을 결정하기 위해, 메인 가열기 전력 소스(156)에 의해 메인 저항성 가열기들(154)에 인가되는 전력을 제어하기 위해, 냉각 베이스(130)의 동작들을 제어하기 위해, 그리고/또는 튜닝 가열기 전력 소스(142)에 의해 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 인가되는 전력을 제어하기 위해 제어기(148)에 전송될 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 온도 피드백 정보는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 동작성을 결정하기 위해, 그리고/또는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 인가되는 전력을 제어하기 위해, 가열기 제어기(202)에 제공될 수 있다. 각각의 온도 센서는 공간적 튜닝가능 가열기들 중 하나 근처에 위치될 수 있고, 근처의 공간적 튜닝가능 가열기의 동작성을 결정하기 위해 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 각각의 온도 센서는 RTD(resistance temperature detector)이다. 복수의 온도 센서들은 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)이 형성된 평면으로부터 대략 0.5 내지 1.0 mm만큼 분리된 평면 상에 형성될 수 있다. 따라서, 일 실시예에서, 각각의 온도 센서는 약 0.5 내지 1.0 mm만큼 공간적 튜닝가능 가열기로부터 분리된다. 본원에서 사용되는 바와 같이, 근처라는 용어는 2 mm 미만만큼 분리된 것을 의미할 수 있다. 온도 센서들로부터 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 분리하는 재료는 폴리이미드, Al203, AlN, 또는 다른 유전체 재료일 수 있다.

[0033] [0044] 프로세싱 챔버(100) 내의 기판(134)을 위한 표면의 온도는 펌프, 슬릿 밸브 도어, 플라즈마(122), 및/또는 다른 인자들에 의한 프로세스 가스들의 진공배기에 의해 영향을 받을 수 있다. 냉각 베이스(130), 하나 또는 그 초과의 메인 저항성 가열기들(154), 및 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 모두 기판(134)의 표면 온도를 제어하는 것을 돋는다.

[0034] [0045] 메인 저항성 가열기들(154)의 2구역 구성에서, 메인 저항성 가열기들(154)은, 구역 간의 약 섭씨 +/- 10 도의 변동으로, 프로세싱에 적합한 온도로 기판(134)을 가열하기 위해 사용될 수 있다. 메인 저항성 가열기들(154)을 위한 4구역 구성에서, 메인 저항성 가열기들(154)은, 특정한 구역 내의 섭씨 약 +/- 1.5 도의 변동으로, 프로세싱에 적합한 온도로 기판(134)을 가열하기 위해 사용될 수 있다. 각각의 구역은 프로세스 조건들 및 파라미터들에 따라 섭씨 약 0 도 내지 섭씨 약 20 도만큼 인접 구역들로부터 변화될 수 있다. 그러나, 기판에 걸친 임계 치수들의 변동들을 최소화하는 이점은 기판 표면의 표면의 결정된 프로세스 온도의 용인가능한 변동을 감소시켰다. 기판(134)의 표면 온도의 절반 정도의 변동은 기판(134)에서의 구조들의 형성에서 나노미터만큼의 차이를 초래할 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은, 온도 프로파일의 변동들을 약 섭씨 +/- 0.3 도로 감소시킴으로써, 메인 저항성 가열기들(154)에 의해 생성되는 기판(134)의 표면의 온도 프로파일을 개선한

다. 온도 프로파일은 공간적 투닝가능 가열기들(140)의 사용을 통해, 기판(134)의 영역들에 걸쳐, 미리 결정된 방식으로 정확하게 변화되도록 또는 균일하게 이루어질 수 있다.

[0035] [0046] 도 2는 기판 지지 조립체(126)의 부분들을 예시하는 개략적인 부분 단면도이다. 정전 척(132), 냉각 베이스(130), 가열기 조립체(170), 및 설비 플레이트(180)의 부분들이 도 2에 포함된다.

[0036] [0047] 가열기 조립체(170)의 바디(152)는 폴리머, 이를테면 폴리이미드로 제작될 수 있다. 따라서, 실시예들에서, 바디(152)는 가요성 바디일 수 있다. 바디(152)는 일반적으로, 원통형일 수 있지만, 또한, 다른 기하학적 형상들로 형성될 수 있다. 바디(152)는 상부 표면(270) 및 하부 표면(272)을 갖는다. 상부 표면(270)은 정전 척(132)과 대면하는 한편, 하부 표면(272)은 냉각 베이스(130)와 대면한다.

[0037] [0048] 가열기 조립체(170)의 바디(152)는 2개 또는 그 초과의 유전체 층들(도 2에서 4개의 유전체 층들(260, 261, 262, 264)로서 도시됨)로부터, 그리고 단일 바디(152)를 형성하기 위해 압력 하에서 층들(260, 261, 262, 264)을 가열하여 형성될 수 있다. 예컨대, 바디(152)는 메인 저항성 가열기들(154)과 공간적 투닝가능 가열기들(140)을 분리하는 폴리이미드 층들(260, 261, 262, 264)로 형성될 수 있다. 폴리이미드 층들(260, 261, 262, 264)은 가열기 조립체(170)의 단일 바디(152)를 형성하기 위해 압력 하에서 가열될 수 있다. 공간적 투닝 가능 가열기들(140)은, 바디(152)를 형성하기 전에, 제1, 제2, 제3, 또는 제4 층들(260, 261, 262, 264) 내에, 상에, 또는 사이에 배치될 수 있다. 부가적으로, 메인 저항성 가열기들(154)은 조립 전에 제1, 제2, 제3, 또는 제4 층들(260, 261, 262, 264) 내에, 상에, 또는 사이에 배치될 수 있으며, 층들(260, 261, 262, 264) 중 적어도 하나는 공간적 투닝가능 가열기들(140)과 메인 저항성 가열기들(154)을 분리하고 전기적으로 절연시킨다. 부가적으로, 온도 센서들(141)은 조립 전에 제1, 제2, 제3, 또는 제4 층들(260, 261, 262, 264) 내에, 상에, 또는 사이에 배치될 수 있으며, 층들(260, 261, 262, 264) 중 적어도 하나는 공간적 투닝가능 가열기들(140)과 온도 센서들(141)을 분리하고 전기적으로 절연시킨다. 이러한 방식으로, 공간적 투닝가능 가열기들(140), 메인 저항성 가열기들(154), 및 온도 센서들(141)은 가열기 조립체(170)의 일체형 부분이 된다.

[0038] [0049] 메인 저항성 가열기들(154), 공간적 투닝가능 가열기들(140), 및 온도 센서들(141)의 위치들을 위한 대안적인 구성들은 정전 척(132) 내에 또는 아래에 메인 저항성 가열기들(154), 공간적 투닝가능 가열기들(140), 및/또는 온도 센서들(141) 중 하나 또는 그 초과를 배치할 수 있다. 도 3a 내지 도 3f는 공간적 투닝가능 가열기들(140), 메인 저항성 가열기들(154), 및 온도 센서들(141)을 위한 다양한 위치들을 상세히 나타내는, 기판 지지 조립체(126)의 부분 개략도들이다.

[0039] [0050] 도 3a에 도시된 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)는 별개의 가열기 조립체(170)를 갖지 않는다. 대신에, 가열기 조립체의 공간적 투닝가능 가열기들(140), 메인 저항성 가열기들(154), 및 온도 센서들(141)은 정전 척(132)에 배치된다. 예컨대, 메인 저항성 가열기들(154), 온도 센서들(141), 및 공간적 투닝가능 가열기들(140)은 척킹 전극(136) 아래에 배치될 수 있다. 공간적 투닝가능 가열기들(140)이 메인 저항성 가열기들(154) 아래에 있는 것으로 도시되고, 온도 센서들(141)이 공간적 투닝가능 가열기들(140) 아래에 있는 것으로 도시되어 있지만, 대안적인 포지셔닝이 또한 사용될 수 있다.

[0040] [0051] 일 실시예에서, 정전 척(132)은 Al203 또는 AlN의 다수의 시트들을 쌓음으로써 형성된다. 위로부터 아래로, 제1 시트는 제1 시트의 하단 상에 척킹 전극을 가질 수 있다. 제2 시트는 제2 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 제3 시트는 제3 시트 상에 메인 저항성 가열기들(154)을 가질 수 있다. 제4 시트는 제4 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 제5 시트는 제5 시트 상에 공간적 투닝가능 가열기들(140)을 가질 수 있다. 제6 시트는 제6 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 홀들이 제6 시트에 드릴링될 수 있고, 비아들을 형성하기 위해 금속으로 충전될 수 있다. 제6 시트는 제6 시트 상에 금속 층을 가질 수 있으며, 그 금속 층은 공간적 투닝가능 가열기들(154)을 위한 공통 접지로서 작용한다. 금속 층은 비아들에 의해 공간적 투닝가능 가열기들(154)에 연결될 수 있다. 제7 시트는 제7 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 제8 시트는 제8 시트 상에 온도 센서들을 가질 수 있다. 제9 시트는 제9 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 홀들이 제9 시트에 드릴링될 수 있고, 비아들을 형성하기 위해 금속으로 충전될 수 있다. 제10 시트는 다수의 온도 센서들을 위한 공통 접지로서 작용하게 될 제2 금속 층을 가질 수 있다. 제11 시트는 제11 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 다수의 층들은, 전극, 메인 저항성 가열기들(154), 공간적 투닝가능 가열기들(140), 온도 센서들(141), 및 금속 층들을 포함하는 AlN 또는 Al203의 단일 모놀리식 바디를 형성하기 위해, 가열된 퍼니스에서 압축될 수 있다. 이어서, 예컨대 실리콘 본드(silicone bond)를 사용하여 정전 척이 냉각 플레이트에 본딩될 수 있다.

[0041] [0052] 도 3b에 도시된 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)를 위한 가열기 조립체(170)는 공간적 투닝가능 가

열기들(140) 및 온도 센서들(141)을 포함하는 한편, 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132)에, 예컨대 척킹 전극(136) 아래에 배치된다. 대안적으로, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 온도 센서들(141)이 정전 척(132)에 배치될 수 있는 한편, 메인 저항성 가열기들(154)은 가열기 조립체(170)에 배치될 수 있다.

[0042] [0053] 도 3c에 도시된 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)를 위한 가열기 조립체(170)는 가열기 조립체(170)에 배치된 메인 저항성 가열기들(154)을 갖는다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 온도 센서들(141)은 정전 척(132)에, 예컨대 척킹 전극(136) 아래에 배치된다.

[0043] [0054] 도 3d에 도시된 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)를 위한 가열기 조립체(170)는 가열기 조립체(170)에 배치된 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 온도 센서들(141)을 갖는 한편, 메인 저항성 가열기들(154)은 가열기 조립체(170)의 표면 상에 증착된다. 가열기 조립체(170)는 냉각 베이스(130)로부터 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 온도 센서들(141)을 격리시킨다. 대안적으로, 메인 저항성 가열기들(154) 및 공간적 튜닝가능 가열기들(140)이 가열기 조립체(170) 내에 배치될 수 있는 한편, 온도 센서들(141)은 가열기 조립체(170)의 표면 상에 증착된다.

[0044] [0055] 도 3e에 도시된 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)를 위한 가열기 조립체(170)는 가열기 조립체(170)에 배치된 메인 저항성 가열기들(154) 및 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 갖는다. 온도 센서들(141)은 가열기 조립체(170)의 바디 내에 또는 상에, 예컨대 정전 척(132) 아래에 배치된다.

[0045] [0056] 도 3f에 도시된 실시예에서, 기판 지지 조립체(126)는 별개의 가열기 조립체(170)를 갖지 않고, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132)에 배치된다. 온도 센서들(141)은 정전 척(132)의 하단 표면 상에 증착된다.

[0046] [0057] 다른 실시예(예시되지 않음)에서, 기판 지지 조립체(126)는 별개의 가열기 조립체(170)를 갖지 않고, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132)에 배치된다. 온도 센서들(141)은 디스크 형상 또는 다른 형상을 갖는 가요성 폴리머 바디를 포함하는 온도 센서 조립체에 배치된다. 가요성 폴리머 바디는 폴리이미드, 폴리에테르에테르케톤, 폴리아릴에테르케톤 등일 수 있다. 온도 센서 조립체는 기판 지지 조립체(126)의 하단 상에 위치될 수 있고, 온도 센서 조립체 내의 온도 센서들 각각은 공간적 튜닝가능 가열기(140) 및/또는 메인 저항성 가열기(154)와 정렬될 수 있다. 온도 센서 조립체는 다수의 전도성 라인들을 갖는 리본 커넥터를 포함할 수 있으며, 여기서, 전도성 라인들 각각은 온도 센서에 연결된다.

[0047] [0058] 일 실시예에서, 정전 척(132)은 Al203 또는 AlN의 다수의 시트들을 쌓음으로써 형성된다. 위로부터 아래로, 제1 시트는 제1 시트의 하단 상에 척킹 전극을 가질 수 있다. 제2 시트는 제2 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 제3 시트는 제3 시트 상에 메인 저항성 가열기들(154)을 가질 수 있다. 제4 시트는 제4 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 제5 시트는 제5 시트 상에 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 가질 수 있다. 제6 시트는 제6 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 홀들이 제6 시트에 드릴링될 수 있고, 비아들을 형성하기 위해 금속으로 충전될 수 있다. 제6 시트는 제6 시트 상에 금속 층을 가질 수 있으며, 그 금속 층은 공간적 튜닝가능 가열기들(154)을 위한 공통 접지로서 작용한다. 금속 층은 비아들에 의해 공간적 튜닝가능 가열기들(154)에 연결될 수 있다. 제7 시트는 제7 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 제8 시트는 다수의 온도 센서들을 위한 공통 접지로서 작용하게 될 제2 금속 층을 가질 수 있다. 제9 시트는 제9 시트 상에 엘리먼트들을 갖지 않을 수 있다. 홀들이 제9 시트에 드릴링될 수 있고, 비아들을 형성하기 위해 금속으로 충전될 수 있다. 다수의 층들은, 전극, 메인 저항성 가열기들(154), 공간적 튜닝가능 가열기들(140), 및 금속 층들을 포함하는 AlN 또는 Al203의 단일 모놀리식 바디를 형성하기 위해, 가열된 퍼니스에서 압축될 수 있다. 이어서, 온도 센서들은 정전 척의 하단 표면 상에 증착될 수 있다. 온도 센서들은 비아들에 의해 제2 금속 층에 연결될 수 있다. 이어서, 예컨대 실리콘 본드를 사용하여 정전 척이 냉각 플레이트에 본딩될 수 있다.

[0048] [0059] 공간적 튜닝가능 가열기들(140), 메인 저항성 가열기들(154), 및 온도 센서들(141)이 다른 배향들로 배열될 수 있다는 것이 고려된다. 예컨대, 기판 지지 조립체(126)는 기판(134)을 가열하기 위한 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 가질 수 있고, 메인 저항성 가열기들(154)이 없을 수 있으며, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 모니터링하기 위한 온도 센서들을 포함할 수 있다. 대안적으로, 기판 지지 조립체(126)는 메인 저항성 가열기들(154) 및 온도 센서들(141)을 가질 수 있지만, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)이 없을 수 있다. 그러한 실시예에서, 온도 센서들(141)은 메인 저항성 가열기들(154)을 포함하는 평면 근처에 있는 평면에 배치될 것이다. 일 실시예에서, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 메인 저항성 가열기들(154)은 기판 지지 조립체(126) 내에서 서로의 바로 아래에 배치된다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 기판 지지 조립체(126)에 의해

지지되는 기판(134)의 온도 프로파일에 대해 미세 튜닝 제어를 제공할 수 있고, 온도 센서들(141)은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 동작에 관한 상세한 정보를 제공할 수 있다.

[0049] 도 3a 내지 도 3f에 도시된 예들 각각에서, 다수의 온도 센서들(141) 및/또는 다수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 공통 접지로서 사용되기 위해, 하나 또는 그 초과의 전도성 평면들이 정전 척(132) 및/또는 가열기 조립체(170)에 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 제1 전도성 평면은 공간적 튜닝가능 가열기들을 위한 공통 접지로서 사용되고, 비아들에 의해 공간적 튜닝가능 가열기들에 연결된다. 일 실시예에서, 제2 전도성 평면은 온도 센서들을 위한 공통 접지로서 사용되고, 비아들에 의해 온도 센서들에 연결된다. 전도성 평면들은 각각, 정전 척 내에 배치된 금속 층들일 수 있거나, 또는 가열기 조립체(170) 내에 배치된 전도성 평면들일 수 있다.

[0050] 다시 도 2로 돌아가면, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 가열기 조립체(170)의 바디(152) 상에 또는 내에 형성 또는 배치될 수 있다. 대안적으로, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 정전 척(132) 상에 또는 내에 형성 또는 배치될 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 도금, 잉크젯 프린팅, 스크린 프린팅, 물리 기상 증착, 스템핑, 와이어 메시, 패턴 폴리이미드 플렉스 회로(pattern polyimide flex circuit), 또는 다른 적합한 방식에 의해 형성될 수 있다. 비아들은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)로부터 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)의 외부 표면으로의 연결들을 제공하기 위해 가열기 조립체(170) 또는 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 금속 층(미도시)이 가열기 조립체(170) 또는 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 비아들은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)로부터 금속 층으로의 연결을 제공하기 위해 가열기 조립체(170) 또는 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)의 외부 표면에 금속 층을 연결하는 부가적인 비아들이 형성될 수 있다.

[0051] 일 예에서, 정전 척(132)의 바디(150)는 바디(150)의 탑재 표면(131)과 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 사이에서 바디(150)에 형성된 비아들을 가질 수 있다. 다른 예에서, 가열기 조립체(170)의 바디(152)는 냉각 베이스(130)에 인접한 바디(152)의 표면과 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 사이에서 바디(152)에 형성된 비아들을 가질 수 있다. 다른 예에서, 정전 척(132)의 바디(150)는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)과 금속 층 사이에서, 그리고 바디(140)의 탑재 표면(131)과 금속 층 사이에서 바디(150)에 형성된 비아들을 가질 수 있다. 이러한 방식으로, 기판 지지 조립체(126)의 제작이 단순화된다.

[0052] 공간적 튜닝가능 가열기들(140)과 유사하게, 온도 센서들(141)은 가열기 조립체(170)의 바디(152) 상에 또는 내에 형성 또는 배치될 수 있다. 대안적으로, 온도 센서들(141)은 정전 척(132) 상에 또는 내에 형성 또는 배치될 수 있다. 일 실시예에서, 온도 센서들(141)은 RTD들이다. RTD들은 백금(Pt), 니켈(Ni), 니켈-크롬(NiCr), 탄탈럼(Ta), 텅스텐(W), 또는 다른 적합한 재료로 형성될 수 있다. RTD들은 미크론 미만 내지 수 미크론의 두께를 가질 수 있다. RTD들의 저항 계수는 온도의 함수일 수 있다. 따라서, RTD들의 저항은 온도의 변화들에 기초하여 변화될 수 있다. 각각의 RTD에서의 저항은 특정한 공간적 튜닝가능 가열기(140)가 작동하고 있는지 및/또는 공간적 튜닝가능 가열기(140)의 온도를 결정하기 위해 측정될 수 있다. 대안적으로, 온도 센서들(141)은 열전대들일 수 있다. 온도 센서들(141)은 도금, 잉크젯 프린팅, 스크린 프린팅, 물리 기상 증착, 스템핑, 와이어 메시, 패턴 폴리이미드 플렉스 회로, 또는 다른 적합한 방식에 의해 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 온도 센서들은, 금속 층(예컨대, 백금)을 증착하고, 금속 층 상에 포토레지스트를 증착하고, 포토리소그래피 툴을 사용하여 패턴에 포토레지스트를 노출시키고, 금속 층 내로 패턴을 에칭하고, 그 후에, 포토레지스트를 제거함으로써, 형성된다.

[0053] 비아들 및/또는 다른 연결 와이어링은 온도 센서들(141)로부터 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)의 외부 표면으로의 연결들을 제공하기 위해 가열기 조립체(170) 또는 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 부가적인 금속 층(미도시)이 가열기 조립체(170) 또는 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 비아들은 온도 센서들로부터 부가적인 금속 층으로의 연결을 제공하기 위해 가열기 조립체(170) 또는 정전 척(132)에 형성될 수 있다. 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)의 외부 표면에 부가적인 금속 층을 연결하는 부가적인 비아들이 형성될 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 연결되는 금속 층은 온도 센서들(141)에 연결되는 부가적인 금속 층과 상이한 평면에 있을 수 있다. 일 실시예에서, 비아들, 다른 연결 와이어링, 및/또는 금속 층들은 구리(Cu), 텅스텐(W), 니켈(Ni), 또는 알루미늄(Al)이다.

[0054] 일 예에서, 정전 척(132)의 바디(150)는 바디(150)의 탑재 표면(131)과 온도 센서들(141) 사이에서 바디(150)에 형성된 비아들을 가질 수 있다. 다른 예에서, 가열기 조립체(170)의 바디(152)는 냉각 베이스(130)에 인접한 바디(152)의 표면과 온도 센서들(141) 사이에서 바디(152)에 형성된 비아들을 가질 수 있다. 다른

예에서, 정전 척(132)의 바디(150)는 온도 센서들(141)과 부가적인 금속 층 사이에서, 그리고 바디(140)의 탑재 표면(131)과 부가적인 금속 층 사이에서 바디(150)에 형성된 비아들을 가질 수 있다. 이러한 방식으로, 기판 지지 조립체(126)의 제작이 단순화된다.

[0055] [0066] 일 실시예에서, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 온도 센서들(141)은 가열기 조립체(170)를 형성하는 동안에 가열기 조립체(170) 내에 배치된다. 다른 실시예에서, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및/또는 온도 센서들(141)은 정전 척(132)의 탑재 표면(131) 상에 직접적으로 배치된다. 예컨대, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및/또는 온도 센서들(141)은 정전 척(132)의 탑재 표면(131)에 접착될 수 있는 시트 형태로 이루어질 수 있거나, 또는 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및/또는 온도 센서들(141)은 다른 기법들에 의해 증착될 수 있다. 예컨대, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및/또는 온도 센서들(141)은 물리 기상 증착, 화학 기상 증착, 스크린 프린팅, 또는 다른 적합한 방법들에 의해 탑재 표면(131) 상에 증착될 수 있다. 위에서 도시된 바와 같이, 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)에 있을 수 있다.

[0056] [0067] 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)의 바디(152) 상에 또는 내에 형성 또는 배치될 수 있다. 메인 저항성 가열기들(154)은 도금, 잉크젯 프린팅, 스크린 프린팅, 물리 기상 증착, 스템핑, 와이어 메시, 또는 다른 적합한 방식에 의해 형성될 수 있다. 이러한 방식으로, 기판 지지 조립체(126)의 제작이 단순화된다. 일 실시예에서, 메인 저항성 가열기들(154)은 가열기 조립체(170)를 형성하는 동안에 가열기 조립체(170) 내에 배치된다. 다른 실시예에서, 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132)의 탑재 표면(131) 상에 직접적으로 배치된다. 예컨대, 메인 저항성 가열기들(154)은 정전 척(132)의 탑재 표면(131)에 접착될 수 있는 시트 형태로 이루어질 수 있거나, 또는 메인 저항성 가열기들(154)은 다른 기법들에 의해 증착될 수 있다. 예컨대, 메인 저항성 가열기들(154)은 물리 기상 증착, 화학 기상 증착, 스크린 프린팅, 또는 다른 적합한 방법들에 의해 탑재 표면(131) 상에 증착될 수 있다. 위에서 도시된 바와 같이, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 정전 척(132) 또는 가열기 조립체(170)에 있을 수 있다.

[0057] [0068] 일부 실시예들에서, 메인 저항성 가열기들(154)은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)과 유사하게 제작된다. 메인 저항성 가열기들(154)이 공간적 튜닝가능 가열기들(140)과 유사하게 제작되는 실시예들에서, 메인 저항성 가열기들은 선택적으로, 부가적인 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 이익 없이 활용될 수 있다. 다시 말하면, 기판 지지 조립체(126)의 메인 저항성 가열기들(154)은 그 자체로 공간적 튜닝가능할 수 있으며, 즉, 복수의 불연속 저항성 가열 엘리먼트들로 세그먼팅될 수 있다. 그러한 실시예에서, 메인 저항성 가열기들(154) 각각 근처에 별개의 온도 센서(141)가 배치될 수 있다. 작은 저항성 가열기들의 형태로 메인 저항성 가열기들(154)을 세그먼팅하는 것은 기판(134)의 표면 상의 고온 및 저온 스폿들의 국부적 제어를 가능하게 한다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 부가적인 층은 구현될 온도 제어의 레벨에 따라 선택적이다.

[0058] [0069] 가열기 조립체(170)는 본딩제(bonding agent)(244)를 활용하여 정전 척(132)의 탑재 표면(131)에 커플링될 수 있다. 본딩제(244)는 접착제, 이를테면 아크릴-계 접착제, 에폭시, 실리콘(silicone) 계 접착제, 네오프렌-계 접착제, 또는 다른 적합한 접착제일 수 있다. 일 실시예에서, 본딩제(244)는 에폭시이다. 본딩제(244)는 0.01 내지 200 W/mK의 범위, 그리고 일 예시적인 실시예에서는 0.1 내지 10 W/mK의 범위에서 선택되는 열 전도 계수를 가질 수 있다. 본딩제(244)를 포함하는 접착제 재료들은 부가적으로, 적어도 하나의 열 전도성 세라믹 충전제, 예컨대 알루미늄 산화물(Al2O3), 알루미늄 질화물(AlN), 및 티타늄 디보라이드(TiB2) 등을 포함할 수 있다.

[0059] [0070] 일 실시예에서, 가열기 조립체(170)는 본딩제(242)를 활용하여 냉각 베이스(130)에 커플링된다. 본딩제(242)는 본딩제(244)와 유사할 수 있고, 접착제, 이를테면 아크릴-계 접착제, 에폭시, 네오프렌-계 접착제, 실리콘 접착제, 또는 다른 적합한 접착제일 수 있다. 일 실시예에서, 본딩제(242)는 에폭시이다. 본딩제(242)는 0.01 내지 200 W/mK의 범위, 그리고 일 예시적인 실시예에서는 0.1 내지 10 W/mK의 범위에서 선택되는 열 전도 계수를 가질 수 있다. 본딩제(242)를 포함하는 접착제 재료들은 부가적으로, 적어도 하나의 열 전도성 세라믹 충전제, 예컨대 알루미늄 산화물(Al2O3), 알루미늄 질화물(AlN), 및 티타늄 디보라이드(TiB2) 등을 포함할 수 있다.

[0060] [0071] 본딩제들(244, 242)은 정전 척(132), 냉각 베이스(130), 및 가열기 조립체(170) 중 하나 또는 그 초파리를 개장하는 경우에 제거될 수 있다. 다른 실시예들에서, 가열기 조립체(170)는 파스너들 또는 클램프들(미도시)을 활용하여 정전 척(132) 및 냉각 베이스(130)에 제거가능하게 커플링된다.

[0061] [0072] 가열기 조립체(170)는 공간적 튜닝가능 가열기들(140A, 140B, 140C, 140D 등)로서 예시적으로 도시된 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 포함할 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 일반적으로, 복수

의 저항성 가열기들이 가열기 조립체(170)와 정전 척(132) 사이의 열 전달을 실시하고 있는 가열기 조립체(170) 내의 밀폐된 볼륨이다. 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 가열기 조립체(170)에 걸쳐 측방향으로 배열될 수 있고, 그리고 셀(200)과 정렬된 가열기 조립체(170)의 영역에 부가적인 열을 국부적으로 제공하기 위해 가열기 조립체(170)(및 메인 저항성 가열기(154)의 부분) 내에 셀(200)을 정의한다. 가열기 조립체(170)에 형성되는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 수는 변화될 수 있고, 그리고 메인 저항성 가열기들(154)의 수보다 적어도 10배 더 많은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)(및 셀들(200))이 있다는 것이 고려된다. 가열기 조립체(170)가 4개의 메인 저항성 가열기들(154)을 갖는 일 실시예에서, 40개 초파의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)이 있을 수 있다. 그러나, 300 mm 기판과 함께 사용하도록 구성된 기판 지지 조립체(126)의 주어진 실시예에서, 약 200개, 약 400개, 또는 한층 더 많은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)이 있을 수 있다는 것이 고려된다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 예시적인 분배가 도 4a 내지 도 4d를 참조하여 아래에서 더 설명된다.

[0062]

[0073] 가열기 조립체(170)는 복수의 온도 센서들(예컨대, 복수의 RTD들)(141A, 141B, 141C, 141D 등)을 더 포함할 수 있다. 온도 센서들(141)은 일반적으로, 가열기 조립체(170) 내의 밀폐된 볼륨일 수 있다. 각각의 온도 센서(141)는, 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 의해 정의된, 가열기 조립체(170) 내의 셀(200) 내에 각각의 온도 센서(141)가 있도록, 가열기 조립체(170)에 걸쳐 측방향으로 배열될 수 있다. 일 실시예에서, 온도 센서들(141)은 공간적 튜닝가능 가열기들(140)보다 더 작다. 일 실시예에서, 각각의 온도 센서(141)는 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 의해 정의된 셀(200)의 중앙에서 대략 측방향으로 위치된다. 각각의 온도 센서(141)는 그 각각의 온도 센서(141)가 내부에 배치된 셀(200)의 온도를 측정할 수 있고, 그리고/또는 그 셀(200)에서의 공간적 튜닝가능 가열기(140)의 동작성을 결정할 수 있다. 부가적으로, 메인 저항성 가열기(154)에 의해 정의된 구역에 있는 하나 또는 그 초파의 온도 센서들(141)은 구역의 온도를 측정하기 위해 그리고/또는 메인 저항성 가열기(154)의 동작성을 결정하기 위해 사용될 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기(140)와 메인 저항성 가열기(154) 둘 모두의 동작성을 결정하기 위해 단일 온도 센서(141)가 사용될 수 있다.

[0063]

[0074] 셀들(200)은 가열기 조립체(170)의 바디(152)를 구성하는 하나 또는 그 초파의 층들(260, 262, 264)을 통해 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 셀들은 바디(152)의 하부 및 상부 표면(270, 272)으로 개방된다. 셀들은 측벽들(214)을 포함할 수 있다. 측벽들(214)은 서멀 초크(thermal choke)(216)로서 작용하는 재료(또는 캡)로 구성될 수 있다. 서멀 초크들(216)은 바디(152)의 상부 표면(270)에 형성될 수 있다. 서멀 초크들(216)은 인접 셀들(200)을 분리하고, 인접 셀들(200) 사이의 전도를 감소시킨다. 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 제공되는 전력, 그리고 결과적으로는 셀(200)을 통한 열 전달을 개별적으로 그리고 독립적으로 제어함으로써, 기판(134)의 특정 포인트들이 가열 또는 냉각될 수 있게 하여 기판(134)의 표면의 진정으로 어드레싱 가능한 측방향 온도 프로파일 튜닝 및 제어를 가능하게 하는, 온도 제어에 대한 핵심 단위 접근법이 실현될 수 있다.

[0064]

[0075] 바디(152)의 측방향 최외측 측벽(280)과 반경 방향 최외측 측벽(280) 사이에 부가적인 서멀 초크(216)가 형성될 수 있다. 바디(152)의 측방향 최외측 측벽(280)과 최외측 셀들(200) 사이에 위치된 이러한 최외측 서멀 초크(216)는 프로세싱 챔버(100)의 내부 볼륨(124)과 측방향 최외측 측벽(280)에 인접한 셀들(200) 사이의 열 전달을 최소화한다. 내부 볼륨(124)과 최외측 셀들(200) 사이의 열 전달의 최소화는 기판 지지 조립체(126)의 에지에 더 근접한 곳에서 더 정확한 온도 제어를 가능하게 하고, 결과로서, 기판(134)의 외측 직경 에지에 대한 더 양호한 온도 제어를 가능하게 한다.

[0065]

[0076] 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 튜닝 가열기 제어기(202)에 독립적으로 커플링될 수 있다. 부가적으로, 각각의 온도 센서(141)는 튜닝 가열기 제어기(202)에 독립적으로 커플링될 수 있다. 일 실시예에서, 튜닝 가열기 제어기(202)는 기판 지지 조립체(126)에 배치될 수 있다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 각각의 셀(200)에서의 가열기 조립체(170) 내의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 온도를 다른 셀들(200)에 대하여 조절할 수 있다. 대안적으로, 튜닝 가열기 제어기(202)는 셀들(200)의 그룹에 걸친 가열기 조립체(170) 내의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 그룹의 온도를 셀들(200)의 다른 그룹에 대하여 조절한다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 개별적인 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 대해 온/오프 상태를 토글링할 수 있고, 그리고/또는 듀티 사이클을 제어할 수 있다. 대안적으로, 튜닝 가열기 제어기(202)는 개별적인 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 전달되는 전력의 양을 제어할 수 있다. 예컨대, 튜닝 가열기 제어기(202)는 하나 또는 그 초파의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 10 와트의 전력을 제공할 수 있고, 다른 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 9 와트의 전력을 제공할 수 있으며, 또 다른 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 1 와트의 전력을 제공할 수 있다.

[0066]

[0077] 일 실시예에서, 가열기 제어기(202)는 복수의 온도 센서들(141)로부터 온도 측정들을 수신한다. 일 실시예에서, 가열기 제어기(202)는 저항 측정으로서 각각의 온도 측정을 수신할 수 있다. 이어서, 가열기 제어기

(202)는 저항 대 온도 변환 모델에 기초하여 저항 측정을 온도 측정으로 변환시킬 수 있다. 각각의 온도 센서에 대해, 별개의 저항 대 온도 변환 모델이 사용될 수 있다. 대안적으로, 다수의 온도 센서들에 대해, 동일한 저항 대 온도 변환 모델이 사용될 수 있다. 저항 대 온도 변환 모델들은 온도 센서들의 교정을 수행함으로써 생성될 수 있다.

[0067] [0078] 가열기 제어기(202)는 각각의 온도 센서(141)에 대한 수신된 온도 측정을 그 온도 센서(141)에 대한 예상된 온도 측정과 비교할 수 있다. 온도 센서(141)에 대한 예상된 온도 측정은, 온도 센서(141)가 위치된 구역 또는 셀과 연관된, 공간적 튜닝가능 가열기(140)의 현재의 세팅 및/또는 메인 저항성 가열기(154)의 현재의 세팅에 기초할 수 있다. 온도 센서(141)에 대한 예상된 온도 측정과 수신된 온도 측정 사이의 델타(delta)가 임계치를 초과하는 경우에, 가열기 제어기(202)는 온도 센서(141)와 연관된 특정한 공간적 튜닝가능 가열기(140)의 전력 및/또는 듀티 사이클을 조정할 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 가열기 제어기(202)는 온도 센서(141)와 연관된 메인 저항성 가열기의 전력 및/또는 듀티 사이클을 조정할 수 있다. 온도 센서들(141)은 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및/또는 메인 저항성 가열기들(154)의 피드백 제어를 위해 사용될 수 있다.

[0068] [0079] 일 실시예에서, 각각의 셀(200)은, 예컨대 서멀 초크(216)를 사용하여, 이웃 셀들(200)로부터 열적으로 격리될 수 있는데, 이는 더 정확한 온도 제어를 가능하게 한다. 다른 실시예에서, 각각의 셀(200)은 인접 셀에 열적으로 결합될 수 있고, 그에 따라, 가열기 조립체(170)의 상부 표면(270)을 따라 유사한(즉, 평활한 또는 블렌딩된) 온도 프로파일이 생성될 수 있다. 예컨대, 메인 저항성 가열기들(154)과 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 사이에서, 금속 층, 이를테면 알루미늄 포일이 열 확산기로서 사용될 수 있다.

[0069] [0080] 메인 저항성 가열기들(154)에 의해 생성되는 온도 프로파일을 평활화하거나 또는 정정하기 위한, 독립적으로 제어가능한 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 사용은, 기판(134)을 프로세싱하는 경우에, 정확한 프로세스 및 CD 제어를 가능하게 하고, 매우 작은 허용오차들에 대한 기판에 걸친 국부적 온도 균일성의 제어를 가능하게 한다. 부가적으로, 메인 저항성 가열기들(154)에 대한 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 작은 사이즈 및 높은 밀도는, 이웃 영역들의 온도에 실질적으로 영향을 미치지 않으면서, 기판 지지 조립체(126) 상의 특정 위치들에서의 온도 제어를 가능하게 한다. 이는 스큐잉 또는 다른 온도 비대칭들을 도입하지 않으면서 국부적 고온 및 저온 스포트들이 보상될 수 있게 한다. 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 갖는 기판 지지 조립체(126)는 기판 지지 조립체(126) 상에서 프로세싱되는 기판(134)의 온도 균일성을 섭씨 약 ± 0.3 도 미만까지 제어하는 능력을 갖는다.

[0070] [0081] 기판 지지 조립체(126)의 일부 실시예들의 다른 이익은 RF 전력이 제어 회로를 통해 흐르는 것을 방지하는 능력이다. 예컨대, 튜닝 가열기 제어기(202)는 전기 전력 회로(210) 및 광학 전력 제어기(220)를 포함할 수 있다. 전기 전력 회로(210)는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 커플링된다. 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 전기 전력 회로(210)에 연결된 전력 리드들(커넥터들(250))의 쌍을 갖는다. 50개의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 갖는 예시적인 가열기 조립체(170)에서, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 제어하기 위해, 60개의 핫 및 1개의 공통 전력 리드(커넥터들(250))가 사용될 수 있다. RF 에너지는 플라즈마를 형성하기 위해 프로세싱 챔버(100) 내에 공급될 수 있고, 전력 리드들에 커플링될 수 있다. 필터들, 이를테면 도 1에 도시된 RF 필터들(182, 184, 186)은 RF 에너지로부터 전기 장비, 이를테면 메인 가열기 전력 소스(156)를 보호하기 위해 사용된다. 전기 전력 회로(210)에서 전력 리드들(커넥터들(250))을 종결시키고, 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 대해 광학 전력 제어기(220)를 활용함으로써, 전기 전력 소스(210)와 전력 소스(156) 사이에서 단일 RF 필터(184)가 사용될 수 있다. 각각의 가열기가 전용 RF 필터를 갖는 대신에, 공간적 튜닝가능 가열기들은 하나의 RF 필터를 사용할 수 있으며, 이는 사용되는 RF 필터들의 수를 상당히 감소시킨다. 전용 RF 필터들을 위한 공간은 매우 제한되고, 기판 지지 조립체 내에서 활용되는 가열기들의 수가 또한 제한된다. 메인 가열기 구역들의 수는 제한되지 않고, 공간적 튜닝가능 가열기들을 구현하는 것이 가능하게 된다. 광학 전력 제어기(220)와 함께 전기 전력 회로(210)를 사용하는 것은 더 많은 가열기들을 가능하게 하고, 결과적으로, 우수한 측방향 온도 제어를 가능하게 한다.

[0071] [0082] 전기 전력 회로(210)는 복수의 커넥터들(250)로의 전력을 스위칭할 수 있거나 또는 순환시킬 수 있다. 전기 전력 회로(210)는 하나 또는 그 초과의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 활성화하기 위해 커넥터들(250) 각각에 전력을 제공한다. 전기 전력 소스가 궁극적으로, 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 전력을 공급하지만, 전기 전력 회로(210)는 단일 전력 소스, 즉 튜닝 가열기 전력 소스(142)를 갖고, 단일 필터(184)를 사용한다. 유리하게, 다수의 가열기들 및 가열기 구역들의 사용을 가능하게 하면서, 부가적인 필터들을 위한 공간 및 비용이 완화된다.

[0072]

[0083] 광학 전력 제어기(220)는 커넥터들(250) 및 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 공급되는 전력을 제어하기 위해, 광섬유 인터페이스(226), 이를테면 광섬유 케이블에 의해, 전기 전력 제어기(210)에 커플링될 수 있다. 광학 전력 제어기(220)는 광 도파로(228)를 통해 광 변환기(178)에 커플링될 수 있다. 광 변환기(178)는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 기능을 제어하는 신호들을 제공하기 위해 제어기(148)에 커플링된다. 광섬유 인터페이스(226) 및 광 도파로(228)는 전자기 간섭 또는 무선 주파수(RF) 에너지를 겪지 않는다. 튜닝 가열기 제어기(202)로부터의 RF 에너지 송신으로부터 제어기(148)를 보호하기 위한 RF 필터가 필요하지 않고, 이는 기판 지지 조립체(126)에서 다른 유트리티들을 라우팅하기 위한 더 많은 공간을 가능하게 한다.

[0073]

[0084] 광학 제어기(220)는 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140), 또는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 그룹들/영역들을 조절하기 위해, 전기 전력 회로(210)에 커맨드들 또는 명령들을 전송할 수 있다. 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 양의 리드와 음의 리드, 즉 전기 전력 회로(210)에 부착된 커넥터들(250)의 조합을 사용하여 활성화될 수 있다. 전력은 전기 전력 회로(210)로부터 양의 리드를 통해 공간적 튜닝가능 가열기(140)로 유동할 수 있고, 임의 리드를 통해 전기 전력 소스(210)로 다시 리턴할 수 있다. 일 실시예에서, 음의 리드들은 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 사이에서 공유된다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 각각, 공통 음의 리드를 공유하면서, 개별적인 전용 양의 리드를 가질 수 있다. 이러한 어레인지먼트에서, 전기 전력 회로(210)로부터 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)로의 커넥터들(250)의 수는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 수보다 하나 더 많다. 예컨대, 기판 지지 조립체(126)가 100개의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 갖는 경우에, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)과 전기 전력 회로(210) 사이의 총 101개의 커넥터들(250)에 대해, 100개의 양의 리드들 및 1개의 음의 리드가 있을 것이다. 다른 실시예에서, 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 전기 전력 회로(210)에 공간적 튜닝가능 가열기(140)를 연결하는 별개의 음의 리드를 갖는다. 이러한 어레인지먼트에서, 전기 전력 회로(210)로부터 공간적 튜닝가능 가열기들(140)로의 커넥터들(250)의 수는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 수보다 2배만큼 더 많다. 예컨대, 기판 지지 조립체(126)가 100개의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)을 갖는 경우에, 공간적 튜닝가능 가열기들(140)과 전기 전력 회로(210) 사이의 총 200개의 커넥터들(250)에 대해, 100개의 양의 리드들 및 100개의 음의 리드들이 있을 것이다.

[0074]

[0085] 광학 전력 제어기(220)는 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)에서의 온도를 측정함으로써 프로그래밍 및 교정될 수 있다. 광학 제어기(220)는 개별적인 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 대한 전력 파라미터들을 조정함으로써 온도를 제어할 수 있다. 일 실시예에서, 온도는 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 대한 충분 전력 증가들로 조절될 수 있다. 예컨대, 온도 상승은 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 공급되는 전력에서의 퍼센티지 증가, 예컨대 9 % 증가로 획득될 수 있다. 다른 실시예에서, 온도는 공간적 튜닝가능 가열기(140)를 온파오프로 사이클링함으로써 조절될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 온도는 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)로의 전력을 사이클링하는 것과 충분적으로 조정하는 것의 조합에 의해 조절될 수 있다. 이러한 방법을 사용하여 온도 맵이 획득될 수 있다. 온도 맵은 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 대한 온도 대 전력 분포 곡선 또는 CD와 상관될 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 개별적인 공간적 튜닝가능 가열기들(140)에 대한 전력 세팅들을 조절하는 프로그램에 기초하여, 기판 상의 온도 프로파일을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 로직은 광학 제어기(220)에 직접적으로 배치될 수 있거나, 또는 외부에 연결된 제어기, 이를테면 제어기(148)에 배치될 수 있다.

[0075]

[0086] 이제, 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 및 연관된 온도 센서들(141)의 어레인지먼트가 도 4a 내지 도 4d를 참조하여 논의될 것이다. 도 4a는 일 실시예에 따른, 단면선 A--A를 따른 도 2의 단면도이다. 도 4b 내지 도 4d는 대안적인 실시예들에 따른, 도 2의 동일한 단면선 A--A를 따른 단면도들이다.

[0076]

[0087] 이제 도 4a를 참조하면, 복수의 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 가열기 조립체(170)의 바디(152)를 통하는 단면선 A--A의 평면을 따라 배치된다. 서멀 초크(216)는 각각의 이웃 셀(200) 사이에 배치되고, 각각의 셀(200)은 공간적 튜닝가능 가열기들(140) 중 적어도 하나와 연관된다. 부가적으로, 서멀 초크(216)는 기판 지지 조립체(126)의 외측 표면(426)을 따라 배치된다. 도시된 셀들(200)의 수는 단지 예시일 뿐이고, 임의의 수의 실시예들은 실질적으로 더 많은(또는 더 적은) 셀들(200)을 가질 수 있다. 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 수는 메인 저항성 가열기들(154)의 수보다 적어도 10배 더 많을 수 있다. 일부 실시예들에서, 기판 지지 조립체(126)에 걸쳐 위치된 공간적 튜닝가능 가열기들(140)의 수는 수백개를 초과할 수 있다.

[0077]

[0088] 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 단자들(406, 408)로 종결되는 레지스터(404)를 갖는다. 전류가 하나의 단자, 이를테면 406으로 표시된 단자에 진입하고 다른 단자, 이를테면 408로 표시된 단자에서 빠져나가기 때문에, 전류는 레지스터(404)의 외이어에 걸쳐 흐르고, 열을 생성한다. 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 기판 지지 조립체(126)의 외측 표면(426)을 따라 적절한 온도 상승을 제공하기 위해 설계 전력 밀도를 가질 수 있

다. 레지스터(404)에 의해 방출되는 열의 양은 레지스터(404)를 통과하는 전류의 제곱에 비례한다. 전력 설계 밀도는 약 1 와트/셀 내지 약 100 와트/셀, 이를테면 10 와트/셀일 수 있다.

[0078] [0089] 레지스터(404)는 닉롬, 레늄, 백금, 탄탈럼, 또는 다른 적합한 재료들의 막으로 형성될 수 있다. 레지스터(404)는 전기 저항률( $\rho$ )을 가질 수 있다. 낮은  $\rho$ 는 레지스터(404)에 걸친 전하의 이동을 쉽게 허용하는 재료를 표시한다. 저항( $R$ )은 와이어의 단면적( $A$ ) 분의  $\rho$  곱하기 길이( $l$ ), 또는 간단히  $R = \rho \cdot l / A$ 에 따라 좌우된다. 백금은 20 °C에서 약  $1.06 \times 10^{-7} (\Omega \cdot m)$ 의  $\rho$ 를 갖는다. 텅스텐은 20 °C에서 약  $6.60 \times 10^{-8} (\Omega \cdot m)$ 의  $\rho$ 를 갖는다. 닉롬은 20 °C에서 약  $1.1 \times 10^{-8}$  내지 약  $1.5 \times 10^{-8} (\Omega \cdot m)$ 의  $\rho$ 를 갖는다. 이를 전술된 재료들 중에서, 닉롬으로 구성된 레지스터(404)는 전하가 더 쉽게 이동할 수 있게 하고, 더 많은 열을 생성할 수 있게 한다. 그러나, 텅스텐의 전기 특성들은 특정 온도 범위들에서 재료를 저항성 가열기로서 식별할 수 있다.

[0079] [0090] 레지스터(404)는, 전류가 레지스터(404)를 따라 통과되는 경우에, 열을 효율적으로 제공하도록 구성된 와이어 두께(472) 및 막 두께(미도시)를 가질 수 있다. 레지스터(404)에 대한 와이어 두께(472)의 증가는 레지스터(404)의 저항( $R$ )의 감소를 발생시킬 수 있다. 와이어 두께(472)는 텅스텐 와이어에 대해 약 0.05 mm 내지 약 0.5 mm, 그리고 닉롬 와이어에 대해 약 0.5 mm 내지 약 1 mm의 범위를 가질 수 있다.

[0080] [0091] 공식  $R = \rho \cdot l / A$ 를 상기하면, 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)에 의해 생성되는 비용, 전력 소비, 및 열을 제어하기 위해, 재료, 와이어의 길이, 및 와이어 두께가 레지스터(404)에 대해 선택될 수 있다. 일 실시예에서, 레지스터(404)는 텅스텐으로 구성되고, 약 0.08 mm의 와이어 두께(472) 및 10 와트의 전력에서의 약 90 음의 저항을 갖는다.

[0081] [0092] 공간적 튜닝가능 가열기들(140)은 기판 지지 조립체(126)의 표면을 따라 열 프로파일을 효율적으로 생성하기 위해 패턴(490)으로 구성될 수 있다. 패턴(490)은 리프트 핀들 또는 다른 기계, 유체, 또는 전기 연결들을 위한 홀들(422) 내 그리고 주위에 클리어런스를 제공하면서, 중간점에 대해 대칭적일 수 있다. 각각의 공간적 튜닝가능 가열기(140)는 튜닝 가열기 제어기(202)에 의해 제어될 수 있다. 튜닝 가열기 제어기(202)는 가열기(440)를 정의하는 단일 공간적 튜닝가능 가열기(140); 또는 내측 웨지(462), 둘레 그룹(464), 파이 형상 영역(460), 또는 불-연속적인 구성을 포함하는 다른 기하학적 구성을 정의하도록 그룹화된 복수의 공간적 튜닝 가능 가열기들(140)을 턴 온시킬 수 있다. 이러한 방식으로, 온도는 기판 지지 조립체(126)의 표면을 따르는 독립적인 위치들에서 정확하게 제어될 수 있고, 그러한 독립적인 위치들은 이를테면 본 기술분야에 알려져 있는 동심 링으로 제한되지 않는다. 도시된 패턴이 더 작은 유닛들로 구성되지만, 패턴은 대안적으로, 더 큰 및/또는 더 작은 유닛들을 가질 수 있거나, 예지로 연장될 수 있거나, 또는 다른 형태들을 가질 수 있다.

[0082] [0093] 또한 도 4a에는 온도 센서(141)의 일 유형인 RTD(405)가 도시된다. RTD(405)는 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)의 위 또는 아래에 위치된다. 도시된 바와 같이, 대부분의 경우에 RTD(405)는 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)보다 작을 것이다. RTD(405)는 온도에 기초하여 저항을 변화시키는 특정 유형의 레지스터일 수 있다. 일 실시예에서, RTD(405)는 백금 와이어이다. 대안적으로, RTD(405)는 본 명세서에서 논의된 임의의 다른 재료들일 수 있다. RTD(405)는 단자들(407 및 409)에서 끝난다. 전류는 단자들을 통해 RTD(405)를 경유하여 전송될 수 있고, RTD(405)의 저항은 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)의 온도를 결정하기 위해 측정될 수 있다. RTD(405)에 대한 재료, 와이어의 길이, 및 와이어 두께는 RTD(405)가 민감한 온도 범위를 제어하기 위해 선택될 수 있다.

[0083] [0094] 도 4b는 다른 실시예에 따른, 바디(152)를 통과하는 단면 라인 A-A의 평면을 따라 배치된 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 평면도이다. 열적 초크들(216)은 선택적으로 존재할 수 있다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 그리드 패턴으로 또한 배열된 온도 제어 셀들(200)의 어레이를 정의하는, 그리드의 형태로 배열된다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 그리드 패턴이 행들과 열들로 구성된 X/Y 그리드로서 도시되어 있지만, 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 그리드 패턴은 대안적으로 육각형에 가까운 팩(hexagon close pack)과 같은, 몇몇 다른 균일하게 패킹된 형태를 가질 수 있다. 상기 논의된 바와 같이, 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 그룹으로 또는 개별적으로 활성화될 수 있다는 것이 인식되어야 한다.

[0084] [0095] 도 4c는 다른 실시예에 따른, 바디(152)를 통과하는 단면 라인 A-A의 평면을 따라 배치된 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 평면도이다. 도 4c는 바디(152)의 극성 어레이로 배열된 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 예시한다. 선택적으로, 하나 또는 그 초과의 열적 초크들(216)은 공간적으로 튜닝가

능한 히터들(140) 사이에 배치될 수 있다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 극성 어레이 패턴은 또한 극성 어레이로 배열되는 이웃 셀들(200)을 정의한다. 선택적으로, 이웃 셀들(200)을 인접 셀들(200)로부터 격리시키기 위해 열적 초크들(216)이 이용될 수 있다.

[0085] [0096] 도 4d는 다른 실시예에 따른, 바디(152)를 통과하는 단면 라인 A—A의 평면을 따라 배치된 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 평면도이다. 도 4d는 동심형 채널들로 바디(152)에 배열된 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 예시한다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 동심형 채널 패턴은 열적 초크들(216)에 의해 선택적으로 분리될 수 있다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140) 및 셀들(200)은 다른 배향들로 배열될 수 있다는 것이 고려된다.

[0086] [0097] 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)의 수 및 밀도는 기판(134)을 프로세싱할 때 정밀한 프로세스 및 CD 제어를 가능하게 하는 매우 작은 공차들로 기판들에 걸친 온도 균일성을 제어하는 능력에 기여한다. 부가적으로, 또 다른 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 대한 하나의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)의 개별적 제어는 이웃 영역들의 온도에 실질적으로 영향을 미치지 않으면서 기판 지지 조립체(126) 내의 특정 위치들에서의 온도 제어를 가능하게 하며, 이는 스큐잉(skewing) 또는 다른 온도 비대칭들을 도입하지 않고 국소적인 핫 스팟 및 쿨 스팟을 보상할 수 있게 한다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)는 약 0.1 °C의 증가로 온도 상승을 제어하는 능력을 가지고 약 0.0 °C 내지 약 10.0 °C의 개별 온도 범위를 가질 수 있다. 일 실시예에서, 주 저항성 히터들(154)와 관련하여 기판 지지 조립체(126) 내의 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 그 위에 프로세싱된 기판(134)의 온도 균일성을 약 ± 0.3 °C 미만으로 제어하는 능력을 갖는다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 기판 지지 조립체(126) 상에 프로세싱된 기판(134)의 측면 온도 프로파일의 측방향 및 방위각 튜닝 모두를 허용한다.

[0087] [0098] 도 5로 돌아가서, 주 저항성 히터들(154) 및 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 대한 다른 배선 스키마(schema)를 위한 그래픽적 묘사가 제공된다. 배선 스키마는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 통해 멀티플렉스 제어와 대조적으로 개별 제어를 제공한다. 개별 제어는 임의의 하나의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140) 또는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 대한 선택이 임의의 다른 공간적으로 튜닝가능한 히터(140) 또는 공간적으로 튜닝가능한 히터들 중 다른 하나의 히터에 대한 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들 중 하나의 히터의 출력의 독립적인 제어를 허용한다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 다른 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)로의 전력 공급 또는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 대한 선택을 가능하게 하기 위해 온 상태와 오프 상태 사이에서 사이클링되는 전력을 갖지 않는다. 이러한 배열은 유리하게 맞춤형 온도 프로파일을 달성하기 위해 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에서 빠른 응답 시간을 허용한다.

[0088] [0099] 주 저항성 히터들(154) 및 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 제어 보드(502)에 부착될 수 있다. 제어 보드(502)는 단일 RF 필터(510)를 통해 전원(578)에 부착될 수 있다. 각각의 히터(154, 140)가 단일 RF 필터(510)를 공유하고 그 자신의 RF 필터를 갖지 않기 때문에, 기판 지지 어셈블리(126) 내의 공간은 보전되고 부가적인 필터들과 연관된 부가적인 비용들은 유리하게 완화된다. 제어 보드(502)는 도 1 및 도 2에 도시된 제어기(202)와 유사하고, 유사한 버전의 전기 제어기(210) 및 광학 제어기(220)를 갖는다. 제어 기판(502)은 기판 지지 조립체(126)의 내부 또는 외부에 있을 수 있다. 일 실시예에서, 제어 보드(502)는 서비스 플레이트(180)와 냉각 베이스(130) 사이에 형성된다.

[0089] [00100] 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140<sub>(1-n)</sub>)은 비유적으로 도시되며, 공간적으로 튜닝가능한 히터(140<sub>1</sub>)는 공통 존 내의 공간적으로 튜닝가능한 히터들의 큰 그룹 또는 대안적으로 기판 지지 조립체(126)에 걸쳐 배치된 모든 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 나타낼 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 일 구현예에서, 주 히터들(154)보다 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)가 더 많으며, 전기 제어기(210) 및 광학 제어기(220)에 더 많은 연결이 있다.

[0090] [00101] 전기 제어기(210)는 냉각 베이스(130)를 통해 형성된 하나 또는 그 초과의 홀들 또는 슬롯들(520)을 통해 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)로부터 복수의 커넥터들(512)을 수용한다. 커넥터들(512)은 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)과 전기 제어기(210) 사이의 통신에 적합한 다수의 연결들을 포함할 수 있다. 커넥터들(512)은 케이블, 개별 와이어들, 리본과 같은 플랫 플렉서블 케이블, 메이팅 커넥터, 또는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)과 전기 제어기(210) 사이에서 신호들을 전송하기 위한 다른 적합한 기법일 수 있다. 일 실시예에서, 커넥터들(512)은 리본 케이블들이다. 커넥터들(512)은 전력 리본(512)이라는 용어를 사용하여 논의될 것이다.

[0091]

[00102] 전력 리본(512)은 한 단부에서 ESC(132) 내의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 연결될 수 있고, 다른 단부에서 전기 제어기(210)에 연결될 수 있다. 전력 리본(512)은 직접 배선, 소켓, 또는 적합한 소켓을 통해 전기 제어기에 연결될 수 있다. 일 실시예에서, 전기 제어기(210)는 고밀도의 연결들을 위해 구성된 소켓을 갖는다. 전력 리본들(512)은 고밀도 커넥터들을 사용하여 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)로부터 전기 제어기(210)까지 50 개 또는 그 초과의 연결들과 같은 많은 수의 연결들을 제공할 수 있다. 전기 제어기(210)는 종래의 인쇄 회로 보드들보다 더 큰 단위 면적당 배선 밀도를 갖는 고밀도 상호연결(HDI, high density interconnect)을 가질 수 있다. HDI는 전력 리본(512)의 고밀도 커넥터와 인터페이싱할 수 있다. 커넥터는 유리하게 고밀도 연결들 및 기판 지지 조립체(126)의 용이한 조립 및 분해를 허용한다. 예를 들어, ESC(132)는 유지 보수, 표면 처리(resurfacing), 또는 교체를 겪을 수 있고, 커넥터들은 유지 보수를 위해 ESC(132)를 제거하고 신속하게 ESC(132)를 기판 지지 조립체(126)에 다시 재연결하는 빠르고 쉬운 방법을 제공한다.

[0092]

[00103] 전기 제어기(210)는 냉각 베이스(130)를 통해 형성된 슬롯(520)을 통해 주 저항성 히터들(154)로부터 복수의 전력 리본들(522)을 부가적으로 수용할 수 있다. 전력 리본들(512, 522)은 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140) 및 주 저항성 히터(154)에 대한 다수의 전력 리드들을 그래픽으로 도시한다. 예를 들어, 전력 리본(512)은 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 대해 복수의 별개의 양의 및 음의 전력 리드들을 포함한다. 마찬가지로, 전력 리본(522)은 각각의 주 저항성 히터(154)에 대해 별개의 양의 및 음의 전력 리드들을 포함한다. 일 실시예에서, 각각의 전력 리드는 광학 제어기(220)에 의해 관리되는 스위치(560)를 갖는다. 스위치(560)는 전기 제어기(210) 내에, 제어 보드(502) 상에, 또는 다른 적절한 위치에 상주할 수 있다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140) 및 주 저항성 히터(154)에 대한 전력 리드들을 라우팅하기 위해 단일 리본 또는 심지어 3 개 또는 그 초과의 동일하게 이격된 리본들이 이용될 수 있다는 것이 고려된다. 동일하게 이격된 리본들은 필드 균일성 및 프로세싱 결과들의 균일성을 향상시킨다.

[0093]

[00104] 광학 제어기(220)는 외부 제어기(도 1의 148)에 연결되고, 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 전력을 공급하기 위한 명령어들을 전기 제어기에 제공하도록 구성된다. 광학 제어기(220)는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)를 관리하기 위한 복수의 제어 리본들(540)을 수용한다. 일 실시예에서, 제어 리본들(540)은 제어 보드(502)에 내장되고, 광학 제어기(220)를 전기 제어기(210)에 연결한다. 예를 들어, 제어 리본들(540)은 2 개의 제어기들(210, 220)를 연결하는 회로일 수 있다. 다른 실시예에서, 제어 리본은 제어 보드(502) 외부의 케이블 또는 다른 적절한 연결을 통해 광학 제어기(220)를 전기 제어기(210)에 부착할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 제어 리본(540)은 냉각 베이스를 통해 형성된 슬롯(520)을 통과할 수 있고, 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)를 개별적으로 관리할 수 있다.

[0094]

[00105] 광학 제어기(220)는 선택적으로 주 저항성 히터들(154)을 관리하기 위한 복수의 제어 리본들(550)을 수용할 수 있다. 대안적으로, 주 저항성 히터들은 제 2 광학 제어기에 의해 또는 외부 제어기에 의해 관리될 수 있다. 제어 리본(540)과 유사하게, 제어 리본(550)은 제어 보드(502)에 내장되거나 또는 주 저항성 히터들(154)에 부착될 수 있다. 대안적으로, 주 저항성 히터들은 제어 리본(550)을 갖지 않을 수 있으며, 전력의 사이클링 및 강도는 전원(138)에서 외부적으로 관리될 수 있다.

[0095]

[00106] 리본들(540, 550)은 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140) 및 주 저항성 히터(154)에 대한 다수의 제어 리드(lead)들을 그래픽으로 도시한다. 예를 들어, 제어 리본(540)은 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 대해 개별적인 양 및 음의 제어 리드들을 포함한다. 광학 제어기(220)는 프로그램, 온도 측정 디바이스, 외부 제어기, 사용자, 또는 또 다른 소스로부터 입력을 취할 수 있다. 광학 전력 제어기(220)는 어느 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140) 및/또는 주 저항성 히터들(154)를 관리할지를 결정할 수 있다. 광학 제어기(220)는 광학(optics)을 사용하여 전기 제어기(210)와 같은 RF 환경의 외부에 있는 다른 디바이스들과 통신하기 때문에, 광학 전력 제어기(220)는 RF 간섭을 받지 않으며, RF 신호를 프로세싱 챔버 외부의 구역들로 전파하지 않는다. 단일 리본, 또는 심지어 3 개 또는 그 초과의 리본들이 제어 리드들을 라우팅하는데 이용될 수 있다는 것이 고려된다.

[0096]

[00107] 제어 리본들(540)은 광학 제어기(220)에 의해 생성된 신호들을 제공하여, 스위치(560)의 상태를 제어한다. 스위치(560)는 전계 효과 트랜지스터, 또는 다른 적합한 전자 스위치일 수 있다. 선택적으로, 스위치(560)는 전기 제어기(210) 내의 광학적으로 제어되는 회로 보드에 내장될 수 있다. 스위치(560)는 히터들(154, 140)에 대한 통전(energized)(활성화) 상태와 비통전(de-energized)(비활성) 상태 사이의 단순한 사이클링을 제공할 수 있다.

[0097]

[00108] 제어기(202)는 하나 또는 그 초과의 선택된 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 인가된 듀티 사이클,

전압, 전류, 또는 지속기간 중 적어도 하나 또는 그 초과를 또 다른 시간에 또는 동시에 제어할 수 있다. 일 실시예에서, 제어기(202)는 제어 리본(540<sub>1</sub>)을 따라 신호를 제공하여 스위치(560<sub>1</sub>)에 90 %의 전력이 통과할 수 있도록 지시한다. 전기 제어기(210)는 전력 리본(5121)을 따라 약 10 와트의 전력을 제공한다. 스위치(560<sub>1</sub>)는 공급된 전력의 90 %가 약 9 와트의 전력으로 가열하는 공간적으로 튜닝가능한 히터(140<sub>1</sub>)를 통과하게 한다.

[0098] 다른 실시예에서, 제어기(202)는 제어 리본(5502)을 따라 신호를 제공하여 스위치(560<sub>2</sub>)에 100 %의 전력이 통과할 수 있도록 지시한다. 전기 제어기(210)는 전력 리본(522<sub>2</sub>)을 따라 약 100 와트의 전력을 제공한다. 스위치(560<sub>2</sub>)는 공급된 전력의 100 %가 약 100 와트의 전력으로 가열하는 주 저항성 히터(154<sub>2</sub>)를 통과하게 한다. 유사하게, 주 저항성 히터들(154<sub>(1-N)</sub>)은 모두 제어기(202)로부터 작동될 수 있다.

[0099] 또 다른 실시예에서, 튜닝 히터 제어기(202)는 전력을 통과시키는 활성 상태 또는 전력이 통과하는 것을 방지하는 비활성 상태 중 하나가 되도록 스위치들(560)에 명령하기 위해 제어 리본(540)을 따라 신호를 제공한다. 전기 제어기(210)는 활성 상태에서 스위치(560)에 커플링된 각각의 개별적인 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 전력 리본(512)을 따라 약 10 와트의 전력을 제공한다. 튜닝 히터 제어기(202)는 스위치(560)가 활성 상태로 유지되는 지속기간 및 다른 스위치들(560)에 대한 각각의 스위치(560)의 뉴터 사이클 중 적어도 하나를 독립적으로 제어하며, 이는 궁극적으로 기판 지지 조립체(126) 및 그 상부에 위치된 기판의 온도 균일성을 제어한다. 주 저항성 히터들(154)에 대한 전력을 제어하는 스위치들(560)은 유사하게 제어될 수 있다.

[0100] 다른 실시예에서, 별개의 존(zone)을 나타내는 각각의 주 저항성 히터(154<sub>(1-N)</sub>)는 별개의 제어기(202)를 가질 수 있다. 이 실시예에서, 하나의 주 저항성 히터(154<sub>(1-N)</sub>)를 갖는 존에 공통인 공간적으로 튜닝가능한 히터들(1-N)은 공통 주 저항성 히터(154<sub>(1-N)</sub>)와 제어기(202)를 공유할 수 있다. 예를 들어, 4 개의 존들이 있다면, 4 개의 주 저항성 히터들(154<sub>(1-4)</sub>) 및 4 개의 동일하게 이격된 제어기들(202)이 존재할 것이다.

[0101] 다른 실시예들에서, 개별 제어기들(202)은 단일 제어기에 의해 서비스되는 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 분할하는데 이용될 수 있다. 예를 들어, 각각의 제어 리본(540)은 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 세트 수를 개별적으로 관리하기 위한 별개의 광학 제어기(220)를 가질 수 있다. 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)의 제어를 분할함으로써, 냉각 베이스를 통해 형성된 슬롯들(520)을 통해 리본들을 라우팅하기 위한 공간이 줄어들고 제어기들이 작아진다.

[0102] 도 6으로 돌아가서, 주 저항성 히터들(154) 및 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 대한 다른 배선 스키마(schema)를 위한 그래픽적 묘사가 제공된다. 도 6에 도시된 배선 스키마는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)의 개별적인 제어를 제공한다. 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)은 튜닝 히터 제어기(202)에 부착된다. 제어 보드(502)상의 전기 제어기(210)는 RF 필터(184)를 통해 전원(156)에 부착된다. 광학 제어기(220)는 외부 제어기(도 1의 148)에 연결되고, 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 전력을 공급하기 위한 명령어들을 전기 제어기에 제공하도록 구성된다. 광학 제어기(220)는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 관리하기 위해 전기 제어기(210)와 광섬유 인터페이스(226)를 통해 통신한다. 도 5의 배선 스키마와 유사하게, 도 6의 배선 스키마는 다른 공간적으로 튜닝가능한 히터들에 대한 복수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들 중 하나 히터의 출력의 독립적인 제어를 제공한다.

[0103] 주 저항성 히터들(154)은 선택적으로 튜닝 히터 제어기(202'), 튜닝 히터 제어기(202), 또는 기판 지지 조립체(126) 외부의 다른 제어기에 부착될 수 있다. 튜닝 히터 제어기(202')는 튜닝 히터 제어기(202)와 실질적으로 유사할 수 있다. 주 저항성 히터들(154)의 제어는 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 대해 설명된 것과 유사할 수 있음이 인식되어야 한다. 대안적으로, 주 저항성 히터들(154)은 도 1에 도시된 바와 같이 외부적으로 관리될 수 있다.

[0104] 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140<sub>(1-n)</sub>)은 비유적으로 도시되며, 공간적으로 튜닝가능한 히터(140<sub>1</sub>)는 공통 존 내의 공간적으로 튜닝가능한 히터들의 큰 그룹 또는 대안적으로 기판 지지 조립체(126)에 걸쳐 배치된 모든 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 나타낼 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 각각의 공간적으로 튜닝 가능한 히터(140)는 전기 제어기(210)로부터 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)로 전력을 전달하기 위한 커넥터(250)를 갖는다.

[0105] 전기 제어기(210)는 냉각 베이스(130)를 통해 형성된 하나 또는 그 초과의 홀들 또는 슬롯들(520)을 통

해 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)로부터 복수의 전력 리본들(612)을 수용한다. 리본들(612)은 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 대한 다수의 전력 리드들을 그래픽으로 도시한다. 전력 리본(612)은 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 전력을 공급하기 위한 전기 경로를 제공한다. 일 실시예에서, 전력 리본(612)은 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 대해 별개의 양의 전력 리드들을 포함한다. 전력 리본(612)은 선택적으로 전력 리본(612)에 부착된 모든 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 공통인 단일 음의 전력 리드를 가질 수 있다. 대안적으로, 전력 리본(612)은 음의 전력 리턴 경로를 갖지 않을 수 있고, 전류에 대한 복귀 경로는 별개의 케이블, 공통 버스, 또는 다른 적합한 커넥터를 통해 제공될 수 있다. 다른 실시예에서, 전력 리본(612)은 각각의 공간적으로 튜닝가능한 히터(140)에 대해 별개의 음의 전력 리드들을 포함한다. 전력 리본(612)은 선택적으로 전력 리본(612)에 부착된 모든 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 공통인 단일 양의 전력 리드를 가질 수 있다. 대안적으로, 전력 리본(612)은 양의 전력 공급 경로를 갖지 않을 수 있고, 전류에 대한 전력 공급 경로는 별개의 케이블, 공통 버스, 또는 다른 적합한 커넥터를 통해 제공될 수 있다.

[0106]

[00117] 도 7을 간단히 참조하면, 도 7은 도 6에 도시된 배선 스키마를 위해 구성된 정전 척(132)의 바닥(794)의 사시도이다. 정전 척(132)은 정전 척(132) 상에 배치되는 기판에 척킹력(chucking force)을 공급하기 위한 하나 또는 그 초과의 전극들을 가질 수 있고, 전극들에 전력을 공급하기 위한 하나 또는 그 초과의 커넥터들(742)을 가질 수 있다. 커넥터들(742)은 주 저항성 히터들에 추가로 연결될 수 있다. 일 실시예에서, 단극 척킹 전극에 전력을 공급하기 위해 단일 커넥터가 사용된다. 다른 실시예에서, 양극 척킹 전극에 전력을 공급하기 위해 2 개의 커넥터들이 사용된다. 일 실시예에서, 6 개의 커넥터들이 4 개의 주 저항성 히터들에 전력을 공급하는데 사용된다. 각각의 주 저항성 히터는 단일 핫 커넥터를 가질 수 있으며, 다른 주 저항성 히터와 공통/접지 커넥터를 공유할 수 있다. 일 실시예에서, 복수의 추가 커넥터들이 복수의 온도 센서들에 연결된다. 일 예에서, 150 개의 온도 센서들이 있고, 온도 센서들 각각은 전용 커넥터를 갖는다. 모든 온도 센서들은 공통 접지를 제공하는 단일 커넥터를 공유할 수 있다. 대안적으로, 온도 센서들의 상이한 서브세트들은 별개의 공통 라인들을 공유할 수 있다. 복수의 추가 커넥터들은 예시된 커넥터들을 둘러쌀 수 있다.

[0107]

[00118] 전력 리본들(612)은 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140) 및/또는 온도 센서들(141)이 형성된 정전 척(132)의 바닥(794)에 전기적으로 부착될 수 있다. 전력 리본들(612)은 각각 일 단부에 커넥터(712)를 그리고 다른 단부에 콘택들(720)을 갖는, 폴리이미드 플랫 플렉서블 케이블과 같은 평평한 플렉서블 케이블(FFC, flat flexible cable) 또는 플렉서블 인쇄 회로(FPC, flexible printed circuit)일 수 있다. 커넥터(712)는 전기 제어기(210)에 연결된다. 커넥터(712)는 개별 와이어들, 소켓 커넥터, 플러그, 플랫 플렉서블 케이블들 또는 플렉서블 인쇄 회로들와 함께 사용되는 것들과 같은 고밀도 커넥터, 또는 다른 적합한 커넥터일 수 있다. 콘택들(720)은 정전 척(132)에 형성된 전기 접속부, 즉 비아들에 부착될 수 있다. 콘택들(720)은 정전 척(132)에 납땜, 접착, 또는 다른 방식으로 부착될 수 있다. 대안적으로, 콘택들(720)은 유선 전력 리드들과 같이 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)에 직접 연결되어 형성될 수 있다. 콘택들(720)은 약 0.75 인치 직경의 원보다 작은 정전 척(132)과 접촉하는 결합된 영역을 가질 수 있다. 콘택들(720)이 정전 척(132)과 갖는 이 최소 영역은 콘택들(720)이 정전 척(132)이 정전 척(132)으로부터 냉각 베이스(130)로의 열 전달을 감소시킨다. 콘택들(720)은 원형, 직사각형, 반원형, 또는 임의의 다른 형상일 수 있다. 전력 리본(612)은 하나 초과의 콘택(720) 및 100 개 또는 그 초과의 리드들을 가질 수 있다. 단일 전력 리본(612)은 공통 음의 리드를 공유하는 것과 같은 전기 제어기(210)에 대한 배선 연결 구성에 따라, 다수의 공간적으로 튜닝가능한 히터들(140)을 연결하고 개별적으로 제어할 수 있다. 또한, 전력 리본들(612)은 온도 센서들에 연결하기 위해 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 정전 척(132)은 동일하게 이격되어 납땜된 6 개의 전력 리본들(612)을 갖는다. 전력 리본들(612)은 각각 25 개의 납땜된 콘택들(720)을 가질 수 있다. 대안적으로, 정전 척(132)은 더 많거나 적은 전력 리본들(612)을 가질 수 있다.

[0108]

[00119] 대안적으로, 전력 리본들(612)은 핀/리셉터를 커넥터로 대체될 수 있다. 도 10을 간단히 참조하면, 도 10은 ESC(132)를 튜닝 히터 제어기(202)에 연결하는 메이팅 커넥터(1010)에 대한 단면도를 예시한다. 메이팅 커넥터(1010)는 튜닝 히터 제어기(202)와 ESC(132) 사이의 연결을 제공하기 위해 냉각 베이스(130) 내의 슬롯(520)을 통과하도록 사이즈 설정될 수 있다. 메이팅 커넥터(1010)는 플랜지(1008)를 가질 수 있다. 플랜지(1008)는 냉각 베이스(130)와 튜닝 히터 제어기(202) 사이에 배치될 수 있다. 캡(1050)은 냉각 베이스(130)와 튜닝 히터 제어기(202) 사이에 형성될 수 있다. 대안적으로, 튜닝 히터 제어기(202)는 메이팅 커넥터(1010)가 그 사이를 관통하여 튜닝 히터 제어기(202)와 냉각 베이스(130) 사이의 캡(1050)을 실질적으로 감소시키도록 허용하는, 컷아웃, 노치, 홀, 보이드, 또는 다른 개구를 가질 수 있다.

[0109]

[00120] 메이팅 커넥터(1010)는 제 1 단부(1002) 및 제 2 단부(1004)를 가질 수 있다. 제 1 단부(1002)는

ESC(132)와 인터페이싱할 수 있다. 제 2 단부(1004)는 튜닝 히터 제어기(202)와 인터페이싱할 수 있다. 복수의 콘택 펈들(1012, 1014)은 ESC(132)와 튜닝 히터 제어기(202) 사이의 전기 연결을 제공하기 위해 다수의 펈 리셉터클들(1020, 1022)과 인터페이싱한다. 펈들(1012, 1014)은 약 0.3mm 또는 그 미만일 수 있다. 펈들(1012, 1014)은 펈들(1012, 1014)을 수용하고 전기적 연속성을 제공하도록 구성된 대응하는 복수의 펈 리셉터클들(1020, 1022)을 갖는다. 펈들(1012, 1014) 또는 펈 리셉터클들(1020, 1022)은 메이팅 커넥터(1010)의 제 1 단부 및 제 2 단부(1002, 1004) 중 하나 또는 그 초과 상에 형성될 수 있고, ESC(132)와 튜닝 히터 제어기(202) 사이에서 인터페이싱할 수 있다.

[0110] [00121] 메이팅 커넥터(1010)는 튜닝 히터 제어기(202)와 ESC(132) 사이에 직접적인 물리적 전기 연결을 제공할 수 있다. 예를 들어, 펈들(1014)을 수용하는 리셉터클들은 튜닝 히터 제어기(202) 상에 형성될 수 있다. 냉각 베이스(130)는 ESC(132), 냉각 베이스(130) 내의 슬롯(520)을 통해 삽입된 메이팅 커넥터(1010), 및 메이팅 커넥터(1010) 상에 배치된 튜닝 히터 제어기(202) 바로 위에 배치되어, ESC(132)와 튜닝 히터 제어기(202) 사이에 연결을 형성할 수 있다. 대안적으로, 메이팅 커넥터(1010)는 케이블, 리본, 또는 플랫 커넥터를 이용하여, 튜닝 히터 제어기(202)와 ESC(132) 사이의 연결을 완료할 수 있다.

[0111] [00122] 바람직하게는, 메이팅 커넥터(1010)는 상응하여 냉각 베이스(130) 내의 작은 개방 공간을 사용하는 작은 단면 영역을 가질 수 있으며, 이는 열 균일성을 위해 냉각 베이스(130)의 열 전도성 또는 교란을 최소화한다. 또한, 메이팅 커넥터(1010)는 프로세싱 환경으로부터 연결을 보호하고, 전기 연결들의 수명을 연장시킬 수 있다.

[0112] [00123] 다시 도 6으로 돌아가서, 전기 제어기(210)는 내부에 형성된 복수의 스위치들(660)을 가질 수 있다. 각각의 스위치(660)는 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터(140)를 제어하기 위해 전력 리본들(612) 중 하나로부터 양의 전력 리드를 수용할 수 있다. 광학 제어기(220)는 광섬유 인터페이스(226)를 통해 전기 제어기(210)에 대해 스위치들(660)을 관리한다. 회로(640)는 전기 제어기(210) 또는 튜닝 히터 제어기(202)에 내장되어 광학 신호를 스위치들(660)에 제공된 명령어들을 위한 전기 신호로 변환할 수 있다.

[0113] [00124] 스위치들(660)은 전계 효과 트랜지스터, 또는 다른 적합한 전자 스위치일 수 있다. 스위치(660)는 히터들(154, 140)에 대한 통전(energized)(활성화) 상태와 비통전(de-energized)(비활성) 상태 사이의 단순한 사이클링을 제공할 수 있다. 대안적으로, 스위치(660)는 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)에 공급되는 전력의 양을 제어할 수 있는 다른 적합한 디바이스일 수 있다.

[0114] [00125] 스위치들(660)은 정전 척(132), 냉각베이스(130), 히터 조립체(170), 및 설비 플레이트(180)에서와 같이, 기판지지 조립체(126)의 내부에 형성될 수 있다. 대안적으로, 스위치(660)는 제어기(148)에서와 같이 기판지지 조립체(126) 또는 심지어 프로세싱 챔버(100) 외부에 형성될 수 있다.

[0115] [00126] 도 8을 참조하면, 도 8은 도 6에 도시된 배선 스키마를 위해 구성된 냉각 베이스(130)의 바닥 사시도를 예시한다. 냉각 베이스(130)는 바닥면(894), 복수의 냉각 통로들(도 8에 미도시) 및 통로들(842)을 가질 수 있다. 냉각 통로들은 정전 척(132)의 온도를 조절하기 위해 냉각 통로들을 통해 냉각 유체를 순환시키도록 구성될 수 있다. 통로들(842)은 정전 척(132)에 전력을 공급하는 전극들(742)이 냉각 베이스(130)를 통과하게끔 허용하도록 구성될 수 있다. 통로들(842)은 냉각 베이스(130)에 에너지를 공급하는 전극들(742)으로부터 보호를 제공하기 위해 전기적으로 절연될 수 있다. 부가적으로, 냉각 베이스는 하나 또는 그 초과의 슬롯들(520)을 가질 수 있다. 슬롯들(520)은 리본(612)이 정전 척(132)으로부터 내부적으로 냉각 베이스(130)를 통해 바닥면(894)으로 통과하게끔 허용하도록 구성될 수 있다.

[0116] [00127] 전기 제어기(210)는 냉각 베이스(130)의 바닥면(894) 상에 배치될 수 있다. 전기 제어기(210)는 RF 환경에 장착되고, 전기 제어기(210)와의 통신은 광섬유를 통해 수행될 수 있는 한편, 전기 제어기(210)로의 전력은 RF 필터를 통해 공급될 수 있다. 전기 제어기(210)는 전송(826) 및 수신(828) 광섬유 인터페이스(226)를 가질 수 있다. 광섬유 인터페이스(226)는 광학 제어기(220)에 광학 연결을 제공한다. 광섬유 인터페이스(226)는 RF 및 다른 전기적 간섭에 영향을 받지 않으며, 광학 제어기(220)와 같은 연결된 디바이스들/제어기를 보호하기 위해 필터를 사용하지 않는다.

[0117] [00128] 튜닝 히터 제어기(202)는 복수의 소켓들(812)을 가질 수 있다. 소켓들(812)은 리본들(612)의 단부에 부착된 커넥터들(712)과 연결되도록 구성될 수 있다. 소켓들은 각각의 리본(612)에 대해 50 개 또는 그 초과의 개별 연결들을 제공할 수 있다. 전기 제어기(210)는 기판(830) 상에 형성된 복수의 회로들(832, 834)을 갖는 기판(830)으로 구성될 수 있다. 복수의 회로들(832, 834)은 트랜지스터들, 저항기들, 캐패시터들, 및 스위치들

을 형성하고 소켓들(812) 내의 개별적인 연결로의 전력의 흐름을 제어하기 위한 다른 전기적 피처들을 포함할 수 있다. 전기 제어기(210)는 리본들(612)에 부착된 소켓들(812) 내의 개별 연결들에 인가되는 전력의 듀티 사이클, 전압, 전류, 또는 지속기간 중 적어도 하나 또는 그 초과를 제어함으로써, 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)을 관리할 수 있다.

[0118] [00129] 부가적으로, 히터 제어기(202)는 복수의 온도 센서들(141)에 의해 생성된 판독들로부터 온도를 측정하기 위해 하나 또는 그 초과의 온도 측정 회로들(미도시)을 포함할 수 있다. 온도 측정 회로들은 공간적으로 튜닝 가능한 히터들 및/또는 주 저항성 히터들과 연관된 온도 측정 값들을 전기 제어기(210)에 제공할 수 있다. 전기 제어기(210)는 그 후 연관된 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 대한 듀티 사이클, 전압 등을 조절할지 여부를 결정할 수 있다.

[0119] [00130] 일 실시예에서, 스위치들(660)은 전기 제어기(210) 상에 형성된다. 커넥터들(712)을 갖는 리본들(612)은 냉각 베이스(130) 내의 슬롯들(520)을 통하여 정전 척(132) 내의 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)을 전기 제어기(210)에 연결한다. 커넥터들(712)은 리본들(612)을 전기 제어기(210) 상의 소켓들(812)에 연결한다. 광학 제어기(220)는 소켓(812) 내의 개별 연결들에 대한 전력을 제어하기 위해 광섬유 인터페이스(226)를 통해 전기 제어기(210)에 광학 신호들을 제공한다. 광학 제어기(220)와 전기 제어기(210)의 결합은 정전 척(132) 상에 배치된 기판 상에 맞춤형 온도 프로파일을 생성하도록 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)에 대한 임의의 선택이 동시에 전력 공급/차단되고 그리고/또는 순환/비순환되도록 한다. 고밀도 상호 연결들의 사용은 많은 개수의 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)의 독립적인 제어 및 온도 프로파일의 향상된 제어를 가능하게 한다. 유리하게, 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)의 독립적인 제어는 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터(140) 및 더 큰 동적 온도 범위당 높은 듀티 사이클을 허용한다. 공간적으로 튜닝 가능한 히터들(140)의 개별적 제어는 빠른 응답 시간과 함께 단위 시간당 더 많은 전력을 제공한다.

[0120] [00131] 도 9는 특히 상기 설명된 기판 지지 조립체와 같은 기판 지지 어셈블리를 이용하여 기판을 프로세싱하기 위한 방법(900)의 일 실시예에 대한 흐름도이다. 방법(900)은 기판 지지 어셈블리에 형성된 주 저항성 히터에 전력을 인가함으로써 블록(902)에서 시작한다. 주 저항성 히터는 단일 히터이거나, 또는 존들로 분할될 수 있다. 주 저항성 히터 존들은 독립적으로 제어가능할 수 있다.

[0121] [00132] 블록(904)에서, 기판지지 조립체 주위에 분포된 복수의 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 전력이 제공된다. 튜닝 히터 제어기는 각각의 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 대한 전력을 개별적으로 제어한다. 공간적으로 튜닝 가능한 히터들 중 적어도 2 개는 미리 결정된 상이한 양의 열을 생성한다. 하나의 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 의해 생성된 열의 차이는 다른 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 관해 임의의 하나의 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 인가되는 전력의 듀티 사이클, 전압, 전류, 지속기간 중 적어도 하나 또는 그 초과를 제어함으로써 제어될 수 있다. 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 공급되는 전력은 또한 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 걸쳐 순차적으로 스캐닝될 수 있다.

[0122] [00133] 각각의 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 대한 제어는 특정 척도 프로파일을 신속하게 생성하기 위해 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 대한 임의의 선택을 허용하는 정전 척(132)에서 동시에 수행될 수 있다. 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 제공되는 전력의 제어는 광학 연결을 통해 인터페이싱하는 외부 제어기를 통해 기판 지지 조립체 내에 배치된 튜닝 히터 제어기에 제공될 수 있다. 외부 제어기는 튜닝 히터 제어기에 대한 광학 연결에 의해 RF로부터 격리된다.

[0123] [00134] 블록(906)에서, 기판과 같은 워크피스는 기판 지지 조립체 상에서 프로세싱될 수 있다. 예를 들어, 기판은 예를 들어 플라즈마 프로세스를 사용하여 진공 챔버 내에서 프로세싱될 수 있다. 프로세싱 챔버 내의 플라즈마의 존재 하에 선택적으로 수행될 수 있는 진공 프로세스는 애칭, 화학 기상 증착, 물리 기상 증착, 이온 주입, 플라즈마 처리, 어닐링, 산화물 제거, 저감(abatement), 또는 다른 플라즈마 프로세스 중 하나일 수 있다. 워크피스는 다른 애플리케이션들에 대해 다른 환경들에서, 예를 들어 대기 조건들에서 온도 제어된 표면상에서 프로세싱될 수 있다.

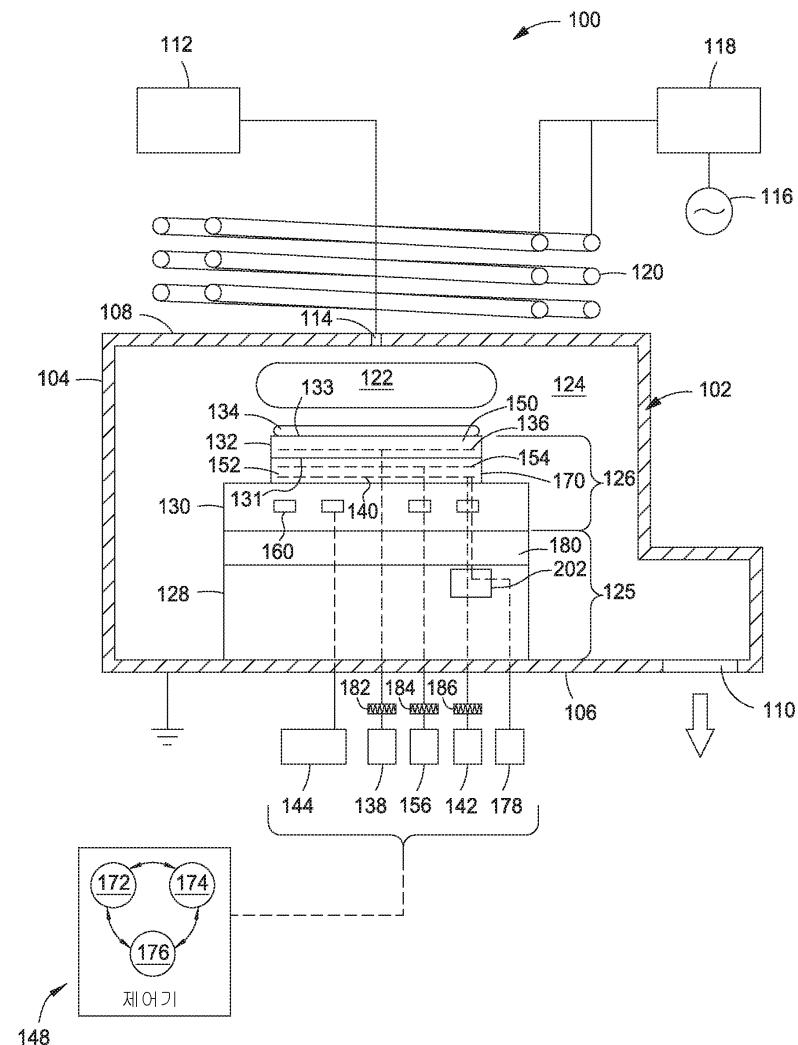
[0124] [00135] 선택적으로, 블록(906)에서, 기판 지지 조립체 내에서 측방향으로 분포된 개별적인 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 제공된 전력은 프로세스 조건들 또는 프로세스 레시피의 변화에 응답하여 변경될 수 있다. 예를 들어, 하나 또는 그 초과의 공간적으로 튜닝 가능한 히터들에 제공되는 전력은 튜닝 히터 제어기로부터의 명령들을 이용하여 변경될 수 있다. 튜닝 히터 제어기는 또 다른 공간적으로 튜닝 가능한 히터를 사이클링하고 또 다른 공간적으로 튜닝 가능한 히터들을 상이한 종첩 시간 간격으로 여전히 순환하면서, 동시에 하나의 공간적으로 튜닝 가능한 히터에 전력을 제공할 수 있다.

[0125]

[00136] 전술한 내용은 본 발명의 구현들에 관한 것이지만, 본 발명의 기본 범위를 벗어나지 않고 다른 및 추가 구현들이 고안될 수 있으며, 그 범위는 다음의 청구 범위에 의해 결정된다.

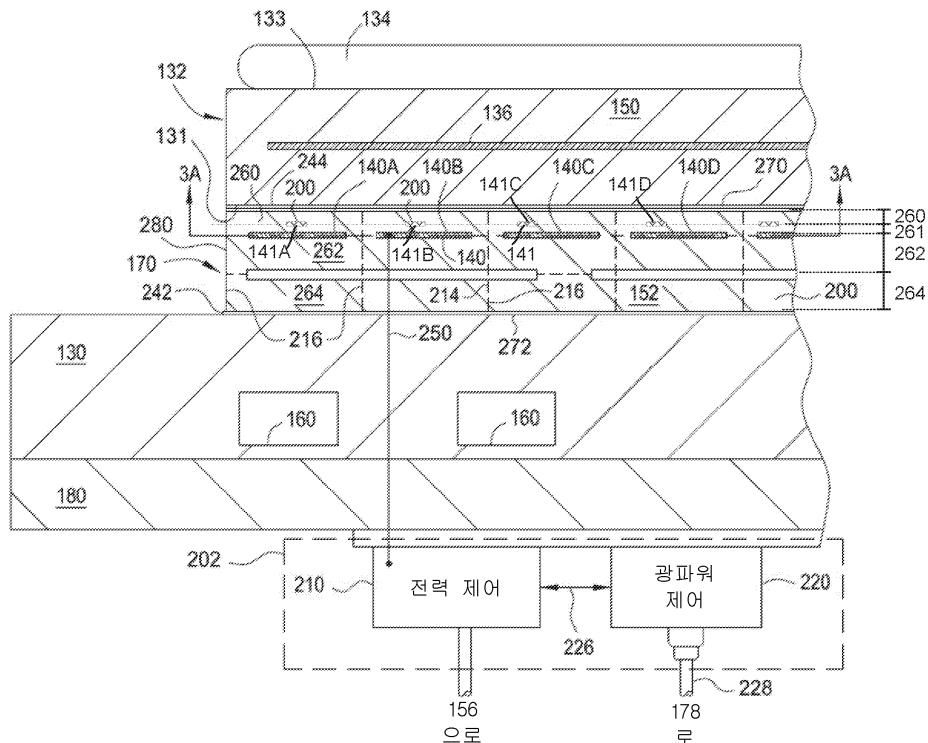
## 도면

### 도면1

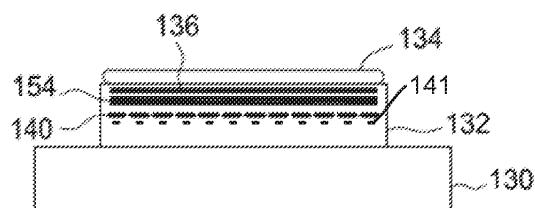


148

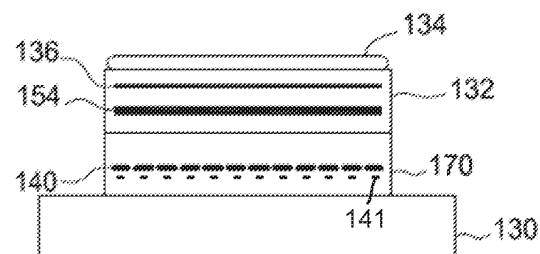
## 도면2



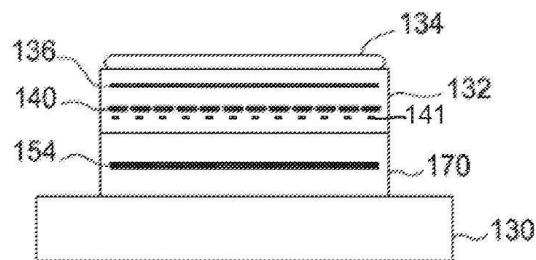
## 도면3a



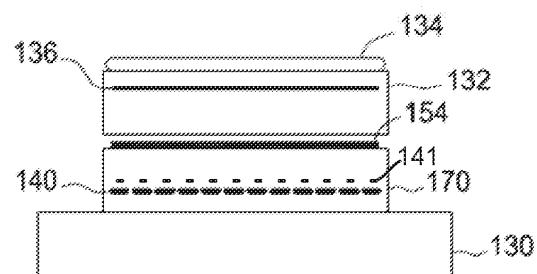
## 도면3b



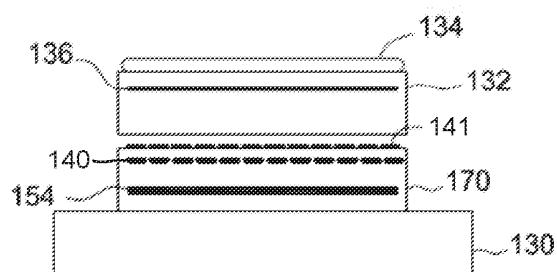
도면3c



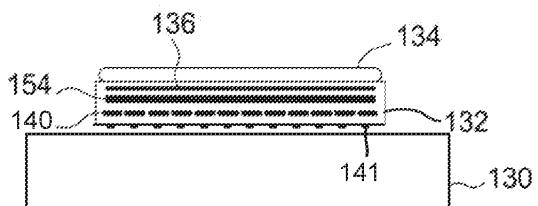
도면3d



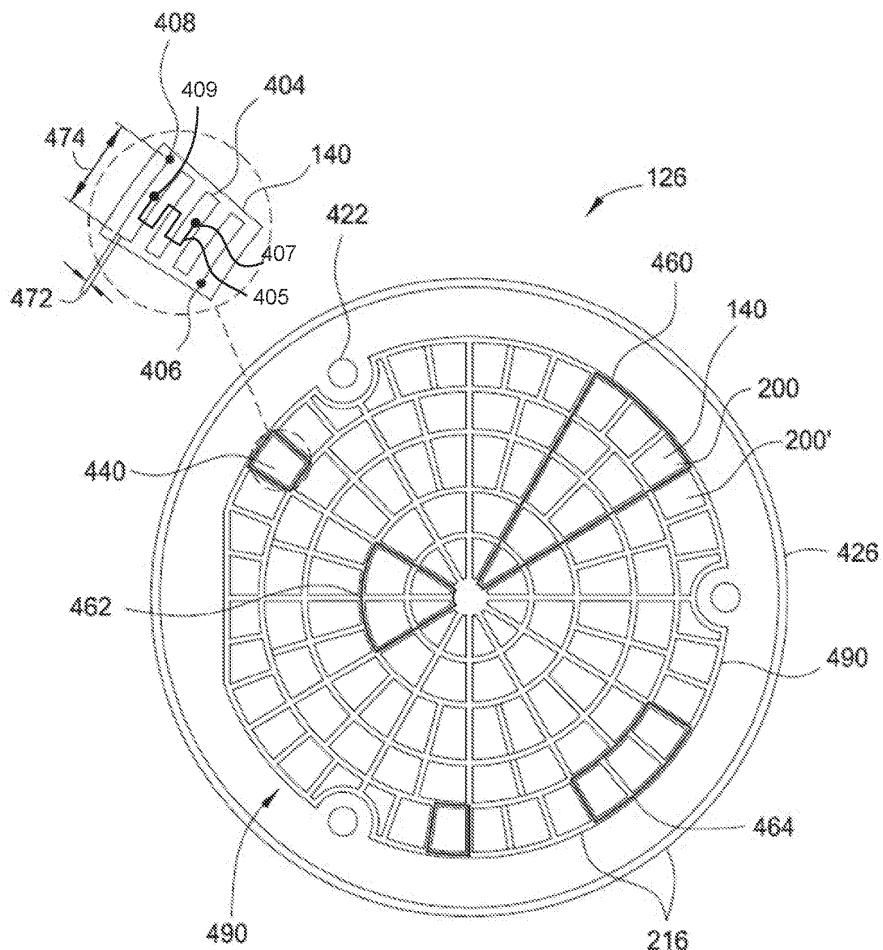
도면3e



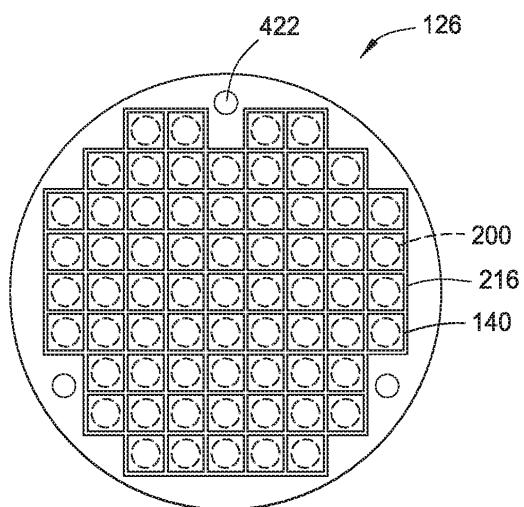
도면3f



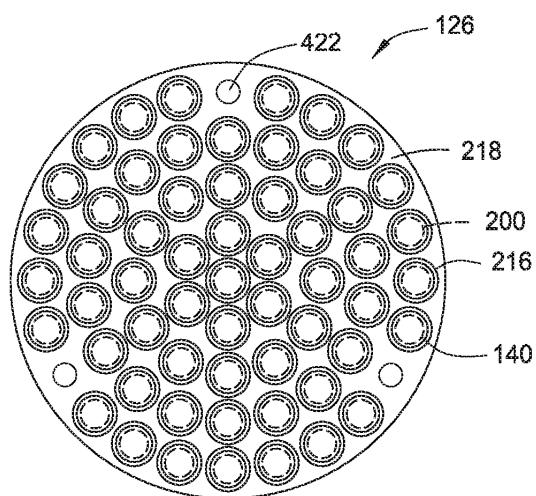
도면4a



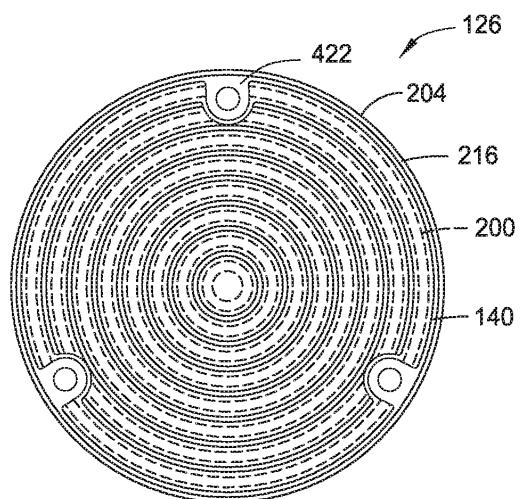
도면4b



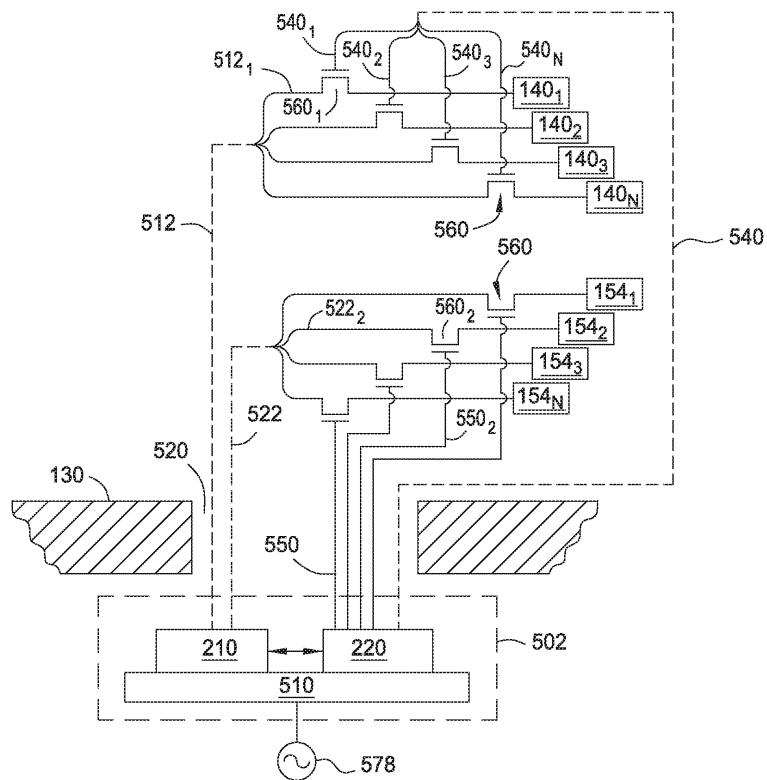
도면4c



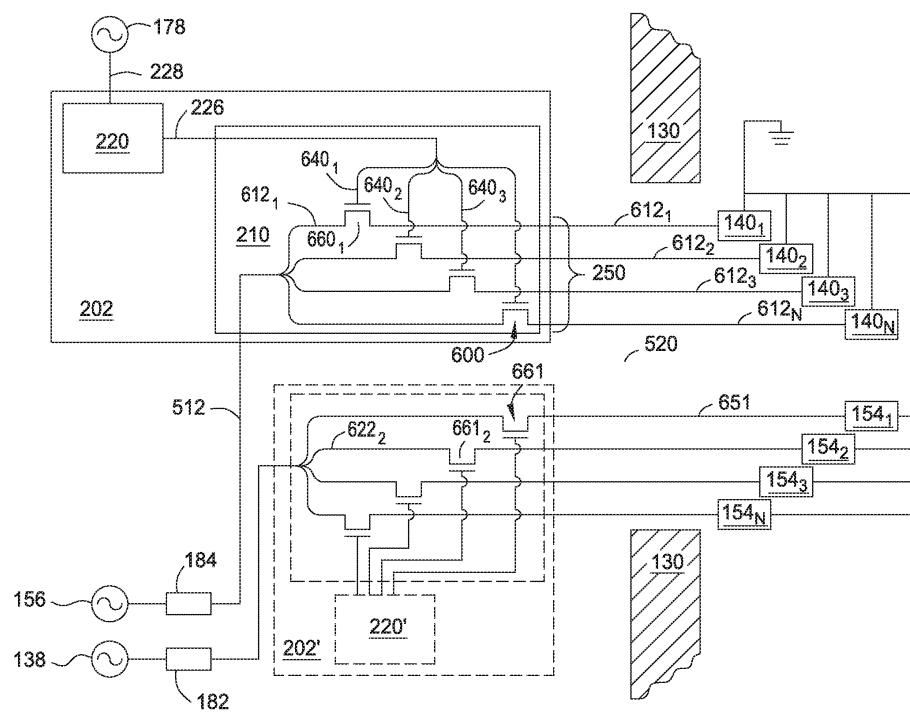
도면4d



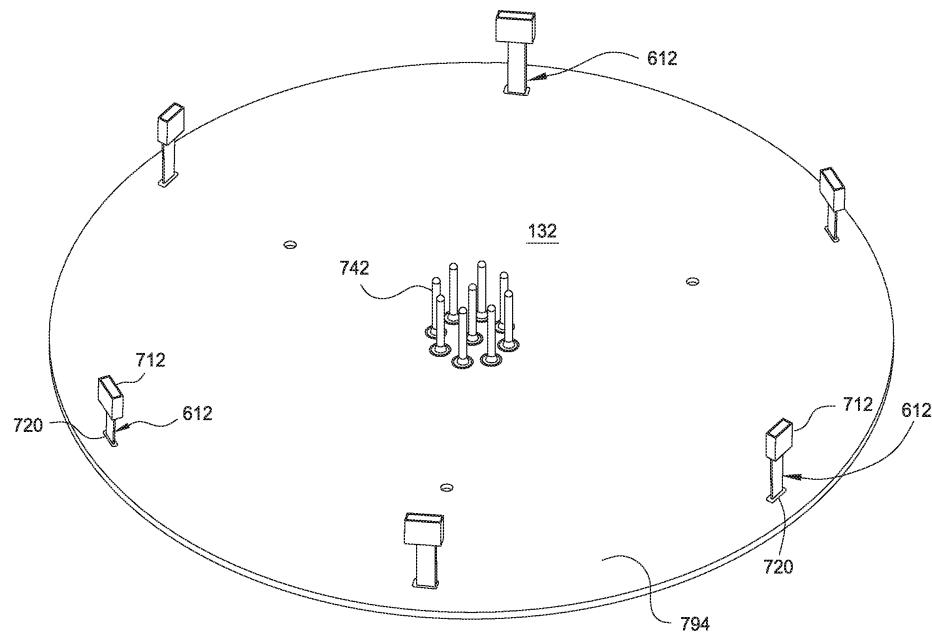
## 도면5



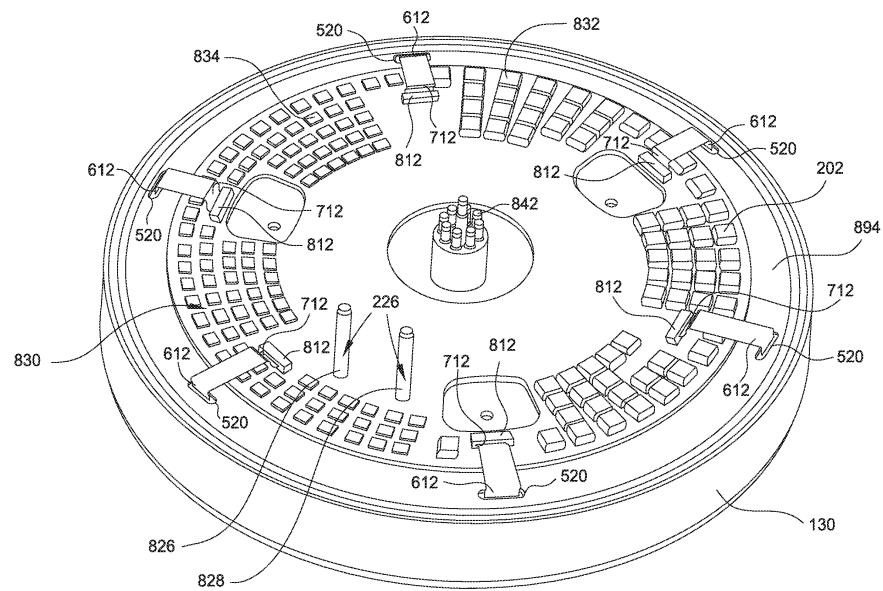
## 도면6



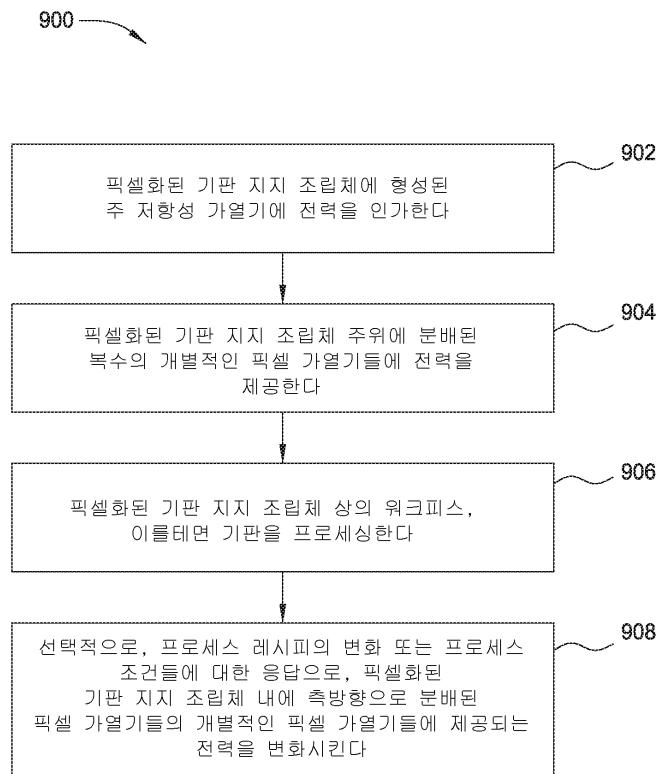
도면7



도면8



## 도면9



## 도면10

