(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0051431
(43) 공개일자 2014년04월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/477 (2006.01) *H01L 21/324* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7007098
(22) 출원일자(국제) 2012년08월16일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2014년03월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/051029
(87) 국제공개번호 WO 2013/025852
국제공개일자 2013년02월21일
(30) 우선권주장
61/524,546 2011년08월17일 미국(US)

(71) 출원인
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
피스 존
미국, 캘리포니아 94403, 산 마테오, 뷰릿지 드라이브 925
(74) 대리인
오세일

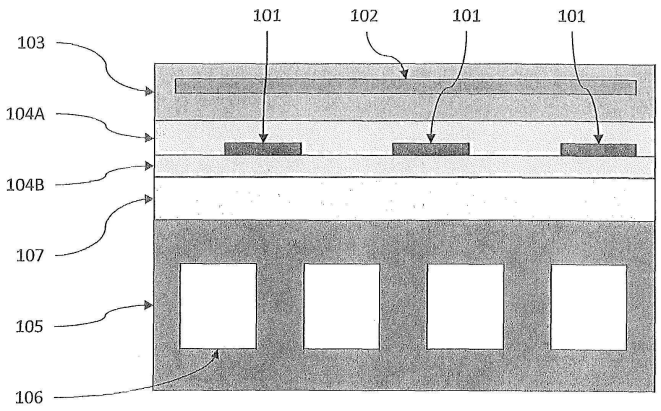
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **멀티플렉싱된 가열기 어레이의 온도를 모니터링하고 이를 제어하는 시스템 및 방법**

(57) 요 약

반도체 처리 장치에서 반도체 기판을 지지하는데 사용되는 기판 지지 어셈블리 내의 다중-존 가열 플레이트(multi-zone heating plate)의 온도들을 측정하고 이를 제어하도록 동작 가능한 시스템은 전류 측정 디바이스 및 스위칭 장치들을 포함한다. 제 1 스위칭 장치는 전력 복귀 라인들 각각을, 다른 전력 복귀 라인들과는 독립적으로, 전기적 접지 (electrical ground), 전압 공급부 또는 전기적으로 격리된 단자에 선택적으로 접속시키도록 구성된다. 제 2 스위칭 장치는 상기 전력 공급 라인들 각각을, 다른 전력 공급 라인들과는 독립적으로, 전기적 접지, 전력 공급부, 상기 전류 측정 디바이스 또는 전기적으로 격리된 단자에 선택적으로 접속시키도록 구성된다. 이 시스템은 평면형 가열기 존들에 직렬로 접속된 다이오드들의 역 포화 전류의 전류 판독치를 취하고 가열 존들의 온도를 계산하고 목표된 온도 프로파일에 도달하기 위해서 각 가열기 존에 전력을 공급함으로써 상기 가열 플레이트의 목표된 온도 프로파일을 유지하는데 사용된다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

반도체 처리 장치에서 반도체 기판을 지지하는데 사용되는 기판 지지 어셈블리 내의 다중-존 가열 플레이트 (multi-zone heating plate) 의 온도들을 측정하며 상기 다중-존 가열 플레이트를 제어하도록 동작 가능한 시스템으로서,

상기 가열 플레이트는 복수의 평면형 가열기 존들, 복수의 다이오드, 복수의 전력 공급 라인들 및 복수의 전력 복귀 라인들을 포함하며,

각 평면형 가열기 존은 상기 전력 공급 라인들 중 하나 및 상기 전력 복귀 라인들 중 하나에 접속되며, 어떠한 2 개의 평면형 가열기 존들도 동일한 전력 공급 라인과 전력 복귀 라인 쌍을 공유하지 않으며,

다이오드는 상기 전력 복귀 라인으로부터 각 평면형 가열기 존을 통해서 상기 전력 공급 라인으로의 방향으로의 전류 흐름을 허용하지 않도록, 상기 다이오드는 각 평면형 가열기 존과 각 평면형 가열기 존에 접속된 전력 공급 라인 간 또는 각 평면형 가열기 존과 각 평면형 가열기 존에 접속된 전력 복귀 라인 간에 직렬로 접속되며,

상기 시스템은,

전류 측정 디바이스;

상기 전력 복귀 라인들 각각을, 다른 전력 복귀 라인들과는 독립적으로, 전기적 접지 (electrical ground), 전압 공급부 또는 전기적으로 격리된 단자에 선택적으로 접속시키도록 구성된 제 1 스위칭 장치; 및

상기 전력 공급 라인들 각각을, 다른 전력 공급 라인들과는 독립적으로, 전기적 접지, 전력 공급부, 상기 전류 측정 디바이스 또는 전기적으로 격리된 단자에 선택적으로 접속시키도록 구성된 제 2 스위칭 장치를 포함하는,

시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

온-오프 스위치; 및

상기 온-오프 스위치를 통해서 상기 전류 측정 디바이스에 접속되고 상기 전압 공급부에 접속되도록 구성된 캘리브레이션 디바이스를 더 포함하는,

시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 전압 공급부는 음이 아닌 전압 (non-negative voltage) 을 출력하는,

시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 전류 측정 디바이스는 앰프 미터 (amp meter) 이거나/이고 연산 증폭기를 포함하는,

시스템.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 캘리브레이션 디바이스는 캘리브레이션 가열기, 캘리브레이션된 온도 미터기 및 캘리브레이션 다이오드를 포함하며,

상기 캘리브레이션 다이오드는 상기 온-오프 스위치를 통해서 상기 전류 측정 디바이스에 접속된 애노드 및 상기 전압 공급부에 접속되도록 구성된 캐소드를 갖는,

시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 캘리브레이션 디바이스의 상기 캘리브레이션 다이오드는 상기 가열 플레이트 내의 평면형 가열기 존들에 접속된 다이오드들과 동일한,

시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 평면형 가열기 존들 각각의 크기는 16 내지 100 cm^2인,

시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 가열 플레이트는 10 내지 100 개, 100 내지 200 개, 200 내지 300 개 또는 그 이상의 평면형 가열기 존들을 포함하는,

시스템.

청구항 9

기판 지지 어셈블리 및 제 1 항의 시스템을 포함하는 플라즈마 처리 장치로서,

상기 시스템은 상기 반도체 처리 장치에서 반도체 기판을 지지하는데 사용되는 상기 기판 지지 어셈블리 내의 다중-존 가열 플레이트의 각 가열기 존의 온도를 측정하고 각 가열기 존을 제어하도록 동작 가능한,

플라즈마 처리 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 플라즈마 처리 장치는 플라즈마 에칭 장치인,

플라즈마 처리 장치.

청구항 11

제 1 항의 시스템의 온도를 측정하고 이 시스템에 걸쳐서 목표된 온도 프로파일을 유지하는 방법으로서, 상기 방법은 온도 측정 단계를 포함하며,

상기 온도 측정 단계는,

상기 평면형 가열기 존들 중 하나에 접속된 전력 공급 라인을 상기 전류 측정 디바이스에 접속시키는 단계;

모든 다른 전력 공급 라인(들)을 전기적 접지에 접속시키는 단계;

상기 평면형 가열기 존에 접속된 전력 복귀 라인을 전압 소스에 접속시키는 단계;

모든 다른 전력 복귀 라인(들)을 전기적으로 격리된 단자에 접속시키는 단계;

상기 평면형 가열기 존에 직렬로 접속된 상기 다이오드의 역 포화 전류의 전류 판독치를 상기 전류 측정 디바이스로부터 취하는 단계;

상기 전류 판독치로부터 상기 평면형 가열기 존의 온도 T를 계산하는 단계;

전체 가열 플레이트에 대한 목표된 온도 프로파일으로부터 상기 평면형 가열기 존에 대한 설정치 (setpoint) 온도 T_0를 추정하는 (deducing) 단계; 및

기간 t 동안에 상기 전력 공급부를 이용하여 상기 평면형 가열기 존에 전력을 공급하는 것이 상기 평면형 가열기 존의 온도를 T에서 T_0로 변경시키도록 상기 기간 t 를 계산하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 온도 측정 단계 이후에 전력 공급 단계 (powering step) 를 더 포함하며,

상기 전력 공급 단계는 상기 평면형 가열기 존에 접속된 전력 공급 라인과 상기 전력 공급부 간의 접속 및 상기 평면형 가열기 존에 접속된 전력 복귀 라인과 전기적 접지 간의 접속을 상기 기간 t 동안에 유지하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 평면형 가열기 존들 각각에 대해서 상기 온도 측정 단계 및/또는 전력 공급 단계를 반복하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 평면형 가열기 존에 대해서 상기 온도 측정 단계를 수행하기 이전에 선택적인 방전 단계를 더 포함하며,

상기 방전 단계는 상기 평면형 가열기 존에 접속된 다이오드의 접합부 커패시턴스를 방전시키도록 상기 평면형

가열기 존에 접속된 전력 공급 라인을 접지에 접속시키는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 평면형 가열기 존에 대해서 상기 온도 측정 단계를 수행하기 이전에 제로 포인트 (zero point) 보정 단계를 더 포함하며,

상기 제로 포인트 보정 단계는,

상기 평면형 가열기 존에 접속된 전력 공급 라인을 상기 전류 측정 디바이스에 접속시키는 단계;

모든 다른 전력 공급 라인(들)을 상기 전기적 접지에 접속시키는 단계;

상기 평면형 가열기 존에 접속된 전력 복귀 라인을 상기 전기적 접지에 접속시키는 단계;

상기 다른 전력 공급 라인(들) 각각을 전기적으로 격리된 단자에 접속시키는 단계; 및

상기 전류 측정 디바이스로부터 전류 판독치 (제로 포인트 전류) 를 취하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 전류 측정 단계는 상기 평면형 가열기 존의 온도 T를 계산하기 이전에 상기 역 포화 전류의 전류 판독치로부터 상기 제로 포인트 전류를 감산하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 17

제 6 항의 시스템 내의 다이오드들을 캘리브레이션하는 방법으로서,

모든 전력 공급 라인들 및 전력 복귀 라인들을 상기 전류 측정 디바이스로부터 분리하는 단계;

상기 온-오프 스위치를 폐쇄하는 단계;

상기 다이오드들의 동작 온도 범위 내의 온도로 상기 캘브레이션 가열기를 사용하여서 상기 캘리브레이션 다이오드를 가열하는 단계;

상기 캘리브레이션된 온도 미터기를 사용하여서 상기 캘리브레이션 다이오드의 온도를 측정하는 단계;

상기 캘리브레이션 다이오드 의 역 포화 전류를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 온도 및 상기 측정된 역 포화 전류에 기초하여서 각 다이오드에 대한 등식 1로부터 파라미터들 A 및 γ 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함하며,

상기 등식 1은

$$I_r = A \cdot T^{3+\gamma/2} \cdot e^{-E_g/kT}$$

이며,

상기 A는 상기 다이오드의 접합부의 면적이며, T는 상기 다이오드의 칼빈 온도이며, 상기 γ는 상수이고, 상기 E_g는 상기 다이오드 접합부를 구성하는 재료의 에너지 갭 (실리콘의 경우에 1.12eV) 이며, k는 볼트만 상수인,

방법.

청구항 18

제 10 항의 플라즈마 에칭 장치에서 반도체 기판을 처리하는 방법으로서,

(a) 상기 기판 지지 어셈블리 상에 반도체 기판을 지지시키는 단계;

(b) 상기 시스템을 사용하여 내부의 평면형 가열기 존들에 전력을 제공함으로써 상기 가열 플레이트에 걸쳐서 목표된 온도 프로파일을 생성하는 단계;

(c) 프로세스 가스를 플라즈마로 에너지화하는 단계;

(d) 상기 플라즈마로 상기 반도체 기판을 에칭하는 단계; 및

(e) 상기 플라즈마로 반도체 기판을 에칭하는 동안에, 상기 시스템을 사용하여서 상기 목표된 온도 프로파일을 유지하는 단계를 포함하는,

반도체 기판 처리 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 단계 (e) 에서, 상기 시스템은 상기 가열 플레이트 내의 각 평면형 가열기 존의 온도를 측정하고 상기 측정된 온도에 기초하여서 각 평면형 가열기 존에 전력을 공급함으로써 상기 목표된 온도 프로파일을 유지하는,

반도체 기판 처리 방법.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 시스템은 상기 평면형 가열기 존에 직렬로 접속된 다이오드의 역 포화 전류의 전류 판독치를 취함으로써 각 평면형 가열기 존의 온도를 측정하는,

반도체 기판 처리 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본원은 2011년 8월 17일자에 출원된 미국 가출원 번호 61/524,546 "A SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING TEMPERATURES OF AND CONTROLLING MULTIPLEXED HEATER ARRAY"를 35 U.S.C. §119(e) 하에서 우선권으로 주장하고 있으며, 이 문헌의 전체 내용은 본 명세서에서 참조로서 인용된다.

배 경 기 술

[0002] 반도체 기술이 각기 연속적으로 발전함에 따라서, 기판 직경은 증가하고 트랜지스터 크기는 감소하고 이로써 기판 처리 시에 더 높은 정확도 및 재현성이 요구되고 있다. 실리콘 기판과 같은 반도체 기판 재료들은 진공 챔버들을 사용하는 바를 포함하는 기술들에 의해서 처리된다. 이러한 기술들은 전자 빔 증착과 같은 비플라즈마 기술 및 스퍼터 증착, PECVD, 레지스트 탈피, 및 플라즈마 에칭과 같은 플라즈마 기술을 포함한다.

[0003] 오늘날 입수 가능한 플라즈마 처리 시스템들은 그 개선된 정확도 및 재현성의 요구가 증가하고 있는 반도체 제조 툴들에 속한다. 플라즈마 처리 시스템에 대한 하나의 계측 사항은 증가된 균일성이며, 이 균일성은 반도체 기판 표면에 대한 처리 결과의 균일성 및 설계상 (nominally) 동일한 입력 파라미터들을 사용하여서 처리된 일

련의 기판들 간의 처리 결과들의 균일성을 포함한다. 기판 상 균일성 (on-substrate uniformity) 이 계속적으로 개선됨이 필요하다. 다른 것들 중에서도, 이는 개선된 균일성, 일관성 및 자가 진달을 갖는 플라즈마 챔버들을 요구한다.

발명의 내용

[0004] 반도체 처리 장치에서 반도체 기판을 지지하는데 사용되는 기판 지지 어셈블리 내의 다중-존 가열 플레이트 (multi-zone heating plate) 의 온도들을 측정하여 이를 제어하도록 동작 가능한 시스템이 개시되며, 상기 가열 플레이트는 복수의 평면형 가열기 존들, 복수의 다이오드, 복수의 전력 공급 라인들 및 복수의 전력 복귀 라인들을 포함하며, 각 평면형 가열기 존은 상기 전력 공급 라인들 중 하나 및 상기 전력 복귀 라인들 중 하나에 접속되며, 어떠한 2 개의 평면형 가열기 존들도 동일한 전력 공급 라인과 전력 복귀 라인 쌍을 공유하지 않으며, 다이오드는 상기 전력 복귀 라인으로부터 각 평면형 가열기 존을 통해서 상기 전력 공급 라인으로의 방향으로의 전류 흐름을 허용하지 않도록, 상기 다이오드는 각 평면형 가열기 존과 각 평면형 가열기 존에 접속된 전력 공급 라인 간 또는 각 평면형 가열기 존과 각 평면형 가열기 존에 접속된 전력 복귀 라인 간에 직렬로 접속되며, 상기 시스템은, 전류 측정 디바이스; 상기 전력 복귀 라인들 각각을, 다른 전력 복귀 라인들과는 독립적으로, 전기적 접지 (electrical ground), 전압 공급부 또는 전기적으로 격리된 단자에 선택적으로 접속시키도록 구성된 제 1 스위칭 장치; 및 상기 전력 공급 라인들 각각을, 다른 전력 공급 라인들과는 독립적으로, 전기적 접지, 전력 공급부, 상기 전류 측정 디바이스 또는 전기적으로 격리된 단자에 선택적으로 접속시키도록 구성된 제 2 스위칭 장치를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0005] 도 1은 평면형 가열기 존들의 어레이를 갖는 가열 플레이트가 포함되며 정전척 (ESC) 을 포함하는 기판 지지 어셈블리의 개략적 단면도이다.

도 2는 기판 지지 어셈블리 내에 포함될 수 있는 가열 플레이트의 일 실시예 내의 평면형 가열기 존들의 어레이로의 전력 공급 라인들 및 전력 복귀 라인들의 접속들의 토폴러지를 나타내고 있다.

도 3은 본 명세서에서 기술된 기판 지지 어셈블리를 포함할 수 있는 예시적인 플라즈마 처리 챔버의 개략도이다.

도 4는 가열 플레이트 내의 평면형 가열기 존에 접속된 다이오드의 예시적인 전류-전압 특성 (I-V 커브) 의 그래프이다.

도 5는 가열 플레이트를 제어하고 각 평면형 가열기 존의 온도를 측정하도록 구성된, 일 실시예에 따른, 시스템의 회로도이다.

도 6은 도 5의 시스템 내의 전류 측정 디바이스의 회로도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] 기판 상에서 요구된 CD (critical dimension) 균일성을 달성하기 위해서 반도체 처리 장치에서 방사상 및 방위각에 기초하여서 기판 온도를 제어하는 것이 점점 요구되고 있다. 소량의 온도 편차도, 특히 CD가 반도체 가공처리에서 서브-100 nm에 근접함에 따라서, CD에 허용 불가능할 정도로 영향을 준다.

[0007] 기판 지지 어셈블리는 처리 동안에 기판을 지지하고, 기판 온도를 조절하고 무선 주파수 전력을 공급하는 것과 같은 다양한 동작들을 위해서 구성될 수 있다. 기판 지지 어셈블리는 처리 동안에 기판을 기판 지지 어셈블리에 정전 방식으로 기판을 클램핑하는데 유용한 정전척 (ESC) 을 포함할 수 있다. ESC는 튜닝 가능한 ESC (T-ESC) 일 수 있다. T-ESC는 본 출원인에게 공동으로 양도된 미국 특허 제6,847,014호 및 제6,921,724호에 기술되며, 이 문헌들은 본 명세서에서 참조로서 인용된다. 이 기판 지지 어셈블리는 세라믹 기판 홀더, 유체 냉각형 히트 싱크 (이후부터는 냉각 플레이트로서 지칭됨) 및 단계별 방사상 온도 제어를 실현하는 복수의 동심 평면형 가열기 존들 (zones) 을 포함한다. 통상적으로, 냉각 플레이트는 0℃ 내지 30 ℃ 에서 유지된다. 가열기들은 단열재 층을 사이에 두고 냉각 플레이트 상에 위치한다. 가열기들은 기판 지지 어셈블리의 지지 표면을 냉각 플레이트 온도보다 높은 온도인 약 0 ℃ 내지 80 ℃ 에서 유지할 수 있다. 복수의 평면형 가열기 존들 내

의 가열 전력을 변화시킴으로써, 기판 지지 온도 프로파일이 중앙 고온, 중앙 저온과 균일 온도 간에서 변화될 수 있다. 또한, 평균 기판 지지 온도가 냉각 플레이트 온도보다 높은 온도인 약 0 ℃ 내지 80 ℃의 동작 범위 내에서 단계별로 변화될 수 있다. 소량의 방위각 온도 편차도, 반도체 기술 진보와 함께 CD가 감소함에 따라서, 계속적으로 상당한 문제를 낳고 있다.

[0008] 온도 제어는 몇몇 이유로 인해서 용이한 작업이 아니다. 먼저, 히트 소스 및 히트 싱크의 위치, 매체의 이동, 재료 및 형상 등과 같은 다수의 요인들이 열 전달에 영향을 줄 수 있다. 둘째로, 열 전달은 동적 프로세스이다. 해당 시스템이 열 평형 상태에 있지 않으면, 열 전달이 발생하고 온도 프로파일 및 열 전달이 시간에 따라서 변할 것이다. 셋째로, 물론 플라즈마 처리 시에 존재하는 플라즈마와 같은 비평형 현상은 임의의 실제 플라즈마 처리 장치의 열 전달 거동의 이론적 예측을 불가능하지 않다면 매우 용이하지 않게 한다.

[0009] 플라즈마 처리 장치 내의 기판 온도 프로파일은 플라즈마 밀도 프로파일, RF 전력 프로파일 및 척 내의 다양한 가열 요소들 및 냉각 요소들의 세부 구조와 같은 다수의 요인들에 의해서 영향을 받으며, 따라서 기판 온도 프로파일은 균일하지 않으며 작은 개수의 가열 또는 냉각 요소들을 사용하여서 제어하기 어렵다. 이러한 문제는 전체 기판에 걸친 처리 레이트 불균일성 및 기판 상의 디바이스 다이들의 CD 불균일성을 낳는다.

[0010] 온도 제어의 복잡한 성질로 인해서, 복수의 독립적으로 제어 가능한 평면형 가열기 존들을 기판 지지 어셈블리 내에 포함시켜서 반도체 처리 장치가 목표된 공간적 그리고 시간적 온도 프로파일을 능동적으로 생성 및 유지하게 하고 CD 균일성에 영향을 주는 다른 다양한 요소들을 보상하게 하는 것이 유리할 것이다.

[0011] 복수의 독립적으로 제어 가능한 평면형 가열기 존들을 구비한, 반도체 처리 장치 내의 기판 지지 어셈블리용의 가열 플레이트는 본 출원인이 공동으로 소유하고 있는 미국 특허 공개 2011/0092072에 기술되어 있으며, 이 문헌은 그 내용이 본 명세서에서 참조로서 인용된다. 이 가열 플레이트는 평면형 가열기 존들의 스케일가능한 멀티플렉싱 레이아웃 및 전원 및 전력 복귀 라인을 포함한다. 평면형 가열기 존들의 전력을 조절 또는 튜닝함으로써, 처리 동안에 온도 프로파일은 방사상 및 방위각에 따라서 형상화될 수 있다. 이러한 가열 플레이트는 주로 플라즈마 처리 장치에서 기술되었지만, 이러한 가열 플레이트는 또한 플라즈마를 사용하지 않는 다른 반도체 처리 장치에서도 사용될 수 있다.

[0012] 이러한 가열기 플레이트 내의 평면형 가열기 존들은 바람직하게는 예를 들어서 직사각형 그리드, 육각형 그리드, 폴형 어레이 (polar array), 동심 링들 또는 임의의 목표된 패턴과 같은 규정된 패턴으로 배열된다. 각 평면형 가열기 존은 임의의 적합한 크기를 가지며 하나 이상의 가열기 요소들을 가질 수 있다. 소정의 실시예들에서, 평면형 가열기 존 내의 모든 가열기 요소들은 함께 턴 오프 또는 턴 온된다. 전기적 접속 수를 최소화하기 위해서, 각 전력 공급 라인이 평면형 가열기 존들의 상이한 그룹에 접속되고 각 전력 복귀 라인도 평면형 가열기 존들의 상이한 그룹에 접속되며 각 평면형 가열기 존은 특정 전력 공급 라인에 접속된 그룹들 중 하나의 그룹 및 특정 전력 복귀 라인에 접속된 그룹들 중 하나의 그룹 내에 존재하도록 전력 공급 라인 및 전력 복귀 라인이 구성된다. 소정의 실시예들에서, 어떠한 2 개의 평면형 가열기 존들도 동일한 쌍의 전력 공급 라인 및 전력 복귀 라인에 접속되지 않는다. 따라서, 평면형 가열기 존은 이 특정 평면형 가열기 존이 접속된 한 쌍의 전력 공급 라인 및 전력 복귀 라인을 통해서 전류를 흐르게 함으로써 활성화될 수 있다. 가열기 요소들의 전력은 바람직하게는 20 W보다 작으며 보다 바람직하게는 5 내지 10 W이다. 가열기 요소들은 폴리이미드 가열기, 실리콘 고무 가열기, 마이카 가열기 (mica heater), 금속 가열기 (예들 들어서, W, Ni/Cr 합금, Mo 또는 Ta), 세라믹 가열기 (예를 들어서, WC), 반도체 가열기 또는 카본 가열기일 수 있다. 가열기 요소들은 스크린 인쇄된 가열기, 와이어 권선된 가열기 또는 에칭된 포일 가열기일 수 있다. 일 실시예에서, 각 평면형 가열기 존은 반도체 기판 상에 제조되는 4 개의 디바이스 다이들보다 크지 않거나 반도체 기판 상에 제조되는 2 개의 디바이스 다이들보다 크지 않거나 반도체 기판 상에 제조되는 1 개의 디바이스 다이들보다 크지 않거나 그 면적이 이 기판 상의 디바이스 다이들에 대응되게 16 내지 100 cm^2이거나 1 내지 15 cm^2이거나 2 내지 3 cm^2일수 있다. 가열기 요소들의 두께는 2 마이크로미터 내지 1 밀리미터, 바람직하게는 5 내지 80 마이크로미터 범위일 수 있다. 평면형 가열기 존들 및/또는 전력 공급 라인 및 전력 복귀 라인 간의 공간을 허용하도록, 평면형 가열기 존들의 총 면적은 기판 지지 어셈블리의 상부 표면의 면적의 90 %에 달할 수 있으며 예를 들어서 상부 표면의 면적의 50 내지 90 %일 수 있다. 전력 공급 라인들 또는 전력 복귀 라인들 (총괄하여서, 전력 라인들) 은 평면형 가열기 존들 간의 1 내지 10 mm의 갭 내에 배열되거나 전기 절연층들에 의해서 평면형 가열기 존들로부터 분리된 별도의 면들 내에 배열될 수 있다. 전력 공급 라인들 및 전력 복귀 라인들은 바람직하게는 큰 전류를 반송하고 줄 (Joule) 열을 저감시키도록 공간이 허용하는 한 폭이 넓을 수 있다. 전력 라인들이 평면형 가열기 존들과 동일한 면 내에 있는 일 실시예에서, 전력 라인들의 폭이 바람직하게는 0.3 mm 내지 2 mm이다. 전

력 라인들이 평면형 가열기 존들과 상이한 면 내에 있는 다른 실시예에서, 전력 라인들의 폭은 평면형 가열기 존들과 동일한 크기를 가지며 예를 들어서 300 mm 척의 경우에 그 폭은 1 내지 2 인치이다. 전력 라인들의 재료는 가열기 요소들의 재료와 동일하거나 상이할 수 있다. 바람직하게는, 전력 라인들의 재료는 Cu, Al, W, Inconel® 또는 Mo와 같은 저 저항을 갖는 재료들이다.

[0013] 도 1 및 도 2는 2 개의 전기 절연 층들 (104A,104B) 내에 포함된 평면형 가열기 존들 (101) 의 어레이를 갖는 가열 플레이트의 일 실시예를 포함하는 기판 지지 어셈블리를 나타내고 있다. 전기 절연 층들은 폴리머 재료, 무기 재료, 실리콘 산화물과 같은 세라믹, 알루미나, 이트리아, 알루미늄 질화물 또는 다른 적합한 재료일 수 있다. 기판 지지 어셈블리는 (a) DC 전압을 사용하여서 기판을 세라믹 층 (103) 의 표면에 정전 방식으로 클램핑하도록 전극 (예를 들어서, 단극성 또는 쌍극성) 이 내장된 세라믹 층 (103) (정전 클램핑 층) 을 갖는 ESC, (b) 열적 장벽 층 (106), 및 (c) 냉각제 플로우를 위한 채널 (106) 을 포함하는 냉각 플레이트 (105) 를 더 포함한다.

[0014] 도 2에 도시된 바와 같이, 평면형 가열기 존들 (101) 각각이 전력 공급 라인들 (201) 중 하나 및 전력 복귀 라인들 (202) 중 하나에 접속된다. 어떠한 2 개의 평면형 가열기 존들 (101) 도 동일한 쌍의 전력 공급 라인 (201) 및 전력 복귀 라인 (202) 을 공유하지 않는다. 적합한 전기적 스위칭 장치에 의해서, 한 쌍의 전력 공급 라인 (201) 및 전력 복귀 라인 (202) 을 전원 (미도시) 에 접속할 수 있으며, 이로써 이 한 쌍의 전력 라인들에 접속된 평면형 가열기 존만이 턴 온된다. 각 평면형 가열기 존의 시간 평균된 가열 전력은 시간 영역 멀티플렉싱함으로써 개별적으로 튜닝될 수 있다. 상이한 평면형 가열기 존들 (101) 간의 크로스토크를 방지하기 위해서, 다이오드 (250) 가 전력 복귀 라인 (202) 으로부터 평면형 가열기 존 (101) 을 통해서 전력 공급 라인 (201) 으로의 방향으로의 전류 흐름을 허용하지 않도록 다이오드 (250) 가 각 평면형 가열기 존 (101) 과 이에 접속된 전력 공급 라인 (201) 간에 직렬로 접속되거나 (도 2에 도시됨) 각 평면형 가열기 존 (101) 과 이에 접속된 전력 복귀 라인 (202) 간에 직렬로 접속된다 (미도시). 다이오드 (250) 는 평면형 가열기 존 내에 또는 이에 인접하여서 물리적으로 위치한다.

[0015] 기판 지지 어셈블리는 기판 온도 및 따라서 플라즈마 에칭 프로세스가 기판으로부터의 디바이스 수율을 최대화하도록 각 디바이스 다이 위치에서 제어될 수 있도록 가열 플레이트의 각 평면형 가열기 존이 기판 상의 단일 디바이스 다이 또는 단일 디바이스 그룹과 동일한 크기를 갖거나 이보다 작은 크기를 갖는 가열 플레이트의 일 실시예를 포함할 수 있다. 이러한 가열 플레이트는 10 내지 100 개, 100 내지 200 개, 200 내지 300 개 또는 그 이상의 평면형 가열기 존을 포함할 수 있다. 이러한 가열기 플레이트의 스케일가능한 아키텍처는 최소 개수의 전력 공급 라인들, 전력 복귀 라인들 및 냉각 플레이트 내의 피드쓰루 (feedthrough) 를 사용하여서 다이별 기판 온도 제어를 위해서 필요한 다수의 평면형 가열기 존들 (통상적으로, 300 mm 직경 기판 상의 100 개보다 많은 다이들 및 따라서 100 개 이상의 가열기 존들) 을 용이하게 수용할 수 있으며, 이로써 기판 온도에 대한 교란 (disturbance), 제조 비용 및 기판 지지 어셈블리의 복잡성을 저감시킬 수 있다. 도시되지는 않았지만, 기판 지지 어셈블리는 기판을 상승시키는 리프트 핀들, 헬륨 백 냉각 (helium back cooling), 온도 피드백 신호들을 제공하기 위한 온도 센서들, 가열 전력 피드백 신호들을 제공하기 위한 전압 및 전류 센서, 가열기 및/또는 클램프 전극을 위한 전력 피드, 및/또는 RF 필터들과 같은 특징부들을 더 포함할 수 있다.

[0016] 플라즈마 처리 챔버가 동작하는 방식의 개략으로서, 도 3은 상부 샤워헤드 전극 (703) 및 기판 지지 어셈블리 (704) 가 배치된 챔버 (713) 를 포함하는 플라즈마 처리 챔버의 개략도이다. 기판 (712) 은 로딩 포트 (711) 를 통해서 기판 지지 어셈블리 (704) 상에 로딩된다. 가스 라인 (709) 은 프로세스 가스를 상부 샤워헤드 전극 (703) 으로 전달하여 이 전극 (703) 은 프로세스 가스를 챔버로 전달한다. 가스 소스 (708) (예를 들어서, 적합한 가스 혼합물을 공급하는 대량 플로우 제어기 전력) 가 가스 라인 (709) 에 연결된다. RF 전력 소스 (702) 가 상부 샤워헤드 전극 (703) 에 접속된다. 동작 시에, 챔버는 진공 펌프 (710) 에 의해서 배기되며 RF 전력이 상부 샤워헤드 전극 (703) 과 기판 지지 어셈블리 (704) 내의 하부 전극 간에서 용량 결합되어서 기판 (712) 과 상부 샤워헤드 전극 (703) 간의 공간에서 프로세스 가스를 플라즈마로 에너지화한다. 플라즈마는 기판 상의 층들 내로 디바이스 다이 피처들을 에칭하는데 사용될 수 있다. 기판 지지 어셈블리 (704) 는 그 내에 포함된 가열기를 가질 수 있다. 플라즈마 처리 챔버의 상세한 설계는 변할수 있지만, RF 전력은 기판 지지 어셈블리 (704) 를 통해서 플라즈마에 결합된다.

[0017] 각 평면형 가열기 존 (101) 에 공급된 전력은 목표된 기판 지지 온도 프로파일을 달성하도록 그의 실제 온도에 기초하여서 조절될 수 있다. 각 평면형 가열기 존 (101) 의 실제 온도는 그에 접속된 다이오드 (250) 의 역 포화 전류를 측정함으로써 모니터링될 수 있다. 도 4는 다이오드 (250) 의 예시적인 전류-전압 특성 (I-V 커브) 를 나타내고 있다. 다이오드 (250) 가 그의 역 바이어스 영역 (음영진 박스 (401) 에 으해서 표시된 바와

같은 영역) 에 있으면, 이 다이오드 (205) 를 통한 전류는 반드시 다이오스 (250) 상의 바이어스 전압과는 독립적으로 된다. 그 전류의 크기는 역 포화 전류 Ir로 지칭된다. 이 전류 Ir의 온도 의존성은 다음과 같이 근사화될 수 있다:

$$I_r = A \cdot T^{3+\gamma/2} \cdot e^{-E_g/kT} \quad \text{(Eq. 1);}$$

[0018]

[0019] 여기서, A는 다이오드 (250) 의 접합부의 면적이며, T는 다이오드 (250) 의 칼빈 온도이며, γ는 상수이고, E_g는 접합부를 구성하는 재료의 에너지 갭 (실리콘의 경우에 1.12eV) 이며, k는 볼트만 상수이다.

[0020] 도 5는 각 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 다이오드 (250) 의 역 포화 전류 Ir를 측정함으로써 가열 플레이트를 제어하고 각 평면형 가열기 존 (101) 의 온도를 모니터링하도록 구성된 시스템 (500) 의 회로도이다. 단순화를 위해서, 오직 4 개의 평면형 가열기 존이 도시되어 있다. 이 시스템 (500) 은 임의의 개수의 평면형 가열기 존들에 대해서 동작하도록 구성될 수 있다.

[0021] 시스템 (500) 은 전류 측정 디바이스 (560), 스위칭 장치 (1000), 스위칭 장치 (2000), 선택사양적 온-오프 스위치 (575) 및 선택 사양적 캘리브레이션 디바이스 (570) 를 포함한다. 스위칭 장치 (1000) 는 각 전력 복귀 라인 (202) 을, 다른 전력 복귀 라인들과 독립적으로, 접지, 전압 소스 (520) 또는 전기적으로 격리된 단자로 선택적으로 접속시키도록 구성된다. 스위칭 장치 (2000) 는 각 전력 공급 라인 (201) 을, 다른 전력 공급 라인들과 독립적으로, 접지, 전력 소스 (510), 전류 측정 디바이스 (560), 또는 전기적으로 격리된 단자로 선택적으로 접속시키도록 구성된다. 전압 소스 (520) 는 음이 아닌 전압을 공급한다. 선택 사양적 캘리브레이션 디바이스 (570) 는 각 다이오드 (250) 의 역 포화 전류와 그의 온도 T 간의 관계를 캘리브레이션하기 위해서 제공될 수 있다. 캘리브레이션 디바이스 (570) 는 평면형 가열기 존들 (101) 및 다이오드 (250) 로부터 열적으로 격리된 캘리브레이션 가열기 (571), 캘리브레이션된 온도 미터기 (572) (예를 들어서, 써멀 커플) 및 다이오드 (250) 와 동일한 타입의 (바람직하게는 동일한) 캘리브레이션 다이오드 (573) 를 포함한다. 캘리브레이션 디바이스 (570) 는 시스템 (500) 내에 위치할 수 있다. 캘리브레이션 가열기 (571) 및 캘리브레이션된 온도 미터기 (572) 는 전압 소스 (520) 에 의해서 전력 공급을 받을 수 있다. 캘리브레이션 다이오드 (573) 는 전압 소스 (520) 에 접속되고 애노드는 온-오프 스위치 (575) 를 통해서 전류 측정 디바이스 (560) 에 접속된다 (즉, 캘리브레이션 다이오드 (573) 가 역 바이어싱된다). 캘리브레이션 가열기 (571) 는 평면형 가열기 존들의 동작 온도 (예를 들어서, 20 내지 200 ℃) 에 근접한 온도에서 캘리브레이션 다이오드 (573) 를 유지한다. 프로세서 (5000) (예를 들어서, 마이크로 제어기 유닛, 컴퓨터 등) 는 스위칭 장치 (1000,2000), 캘리브레이션 디바이스 (570) 및 스위치 (575) 를 제어하며 전류 측정 디바이스 (570) 로부터 전류 판독 사항을 수신하고, 캘리브레이션 디바이스 (570) 로부터 온도 판독 사항을 수신한다. 요구된다면, 프로세서 (5000) 는 시스템 (500) 내에 포함될 수 있다.

[0022] 전류 측정 디바이스 (560) 는 도 6에 도시된 연산 증폭기 (op amp) 를 기반으로 하는 앰프 미터 (amp meter) 또는 디바이스와 같은 임의의 적합한 디바이스일 수 있다. 측정될 전류는 입력 단자들 (605) 로 흐르고 이 입력 단자는 선택 사양적 커패시터 (602) 를 통해서 op amp (601) 의 반전 입력부 (601a) 로 접속된다. op amp (601) 의 반전 입력부 (601a) 는 저항 R1을 갖는 저항기 (603) 를 통해서 op amp (601) 의 출력부 (601c) 에 접속된다. op amp (601) 의 비반전 입력부 (601b) 는 접지된다. op amp (601) 의 출력부 (601c) 에 접속된 출력 단자 (606) 상의 전압 V는 전류 I의 판독치이며, V = I · R1이다. 도 6에 도시된 디바이스는 입력 단자 (605) 상의 다이오드 (다이오드들 (250) 중 하나 또는 캘리브레이션 다이오드 (573)) 의 전류 신호를 온도 판독치로서 프로세서 (5000) 에 전송될 출력 단자 (606) 의 전압 신호로 변환한다.

[0023] 가열 플레이트의 온도를 측정하고 이를 제어하는 방법은 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 공급 라인 (201) 을 전류 측정 디바이스 (560) 에 접속시키는 단계와, 모든 다른 전력 공급 라인들을 전기적 접지에 접속시키는 단계와, 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 복귀 라인 (202) 을 전압 소스 (520) 에 접속시키는 단계와, 모든 다른 전력 복귀 라인들을 전기적으로 격리된 단자에 접속시키는 단계와, 상기 평면형 가열기 존에 직렬로 접속된 다이오드 (520) 의 역 포화 전류의 전류 판독치를 상기 전류 측정 디바이스 (560) 로부터 취하는 단계와, 등식 1에 기초하여서 상기 전류 판독치로부터 평면형 가열기 존 (101) 의 온도 T를 계산하는 단계와, 전체 가열 플레이트에 대한 목표된 온도 프로파일으로부터 평면형 가열기 존 (101) 에 대한 설정치 온도 T_0를

추정하는 (deducing) 단계와, 기간 t 동안에 전력 공급부 (510) 에서 평면형 가열기 존 (101) 에 전력을 공급하는 바가 평면형 가열기 존 (101) 의 온도를 T에서 온도 T_0로 변경하도록 기간 t 를 계산하는 단계를 포함하는 온도 측정 단계를 포함한다. 평면형 가열기 존 (101) 에 접속되지 않은 모든 전력 공급 라인들을 전기적 접지에 접속시킴으로써, 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 다이오드 (250) 로부터의 오직 역 포화 전류만이 전류 측정 디바이스 (560) 에 도달하는 것이 보장된다.

[0024] 이 방법은 온도 측정 단계 이후에 전력 공급 단계 (powering step) 를 더 포함하며, 상기 전력 공급 단계는 상기 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 공급 라인 (201) 과 상기 전력 공급부 (510) 간의 접속 및 상기 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 복귀 라인 (202) 과 상기 전기적 접지 간의 접속을 상기 기간 t 동안에 유지하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한 상기 평면형 가열기 존들 (101) 각각에 대해서 상기 온도 측정 단계 및 전력 공급 단계를 반복하는 단계를 더 포함한다.

[0025] 이 방법은 평면형 가열기 존 (101) 에 대해서 온도 측정 단계를 수행하기 이전에 선택적인 방전 단계를 더 포함하며, 상기 방전 단계는 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 다이오드 (250) 의 접합부 커패시턴스를 방전시키도록 상기 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 공급 라인 (201) 을 접지에 접속시키는 단계를 포함한다.

[0026] 이 방법은 상기 평면형 가열기 존 (101) 에 대해서 온도 측정 단계를 수행하기 이전에 선택적인 제로 포인트 (zero point) 보정 단계를 더 포함하며, 상기 제로 포인트 보정 단계는 상기 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 공급 라인 (201) 을 상기 전류 측정 디바이스 (560) 에 접속시키는 단계; 모든 다른 전력 공급 라인(들)을 전기적 접지에 접속시키는 단계; 상기 평면형 가열기 존 (101) 에 접속된 전력 복귀 라인 (202) 을 전기적 접지에 접속시키는 단계; 모든 다른 전력 공급 라인(들)을 전기적으로 격리된 단자에 접속시키는 단계; 및 상기 전류 측정 디바이스 (560) 로부터 전류 판독치 (제로 포인트 전류) 를 취하는 단계를 포함한다. 이 제로 포인트 전류는, 상기 평면형 가열기 존 (101) 의 온도 T를 계산하기 이전에, 상기 온도 측정 단계에서의 전류 판독치로부터 감산될 수 있다. 이 제로 포인트 보정 단계는 전력 공급부 (510) 로부터 스위칭 장치 (2000) 를 통해서 발생하는 임의의 누설 전류로부터 발생하는 오차들을 제거할 수 있다. 상기 측정 단계, 제로 포인트 보정 단계 및 방전 단계 모두는 제어기 (5000) 또는 추가적인 동기적 검출 전자 장치에 의해서 연산 증폭기 (601) 의 출력부 상에서의 동기적 검출을 사용하도록 충분한 속도로 수행될 수 있다. 측정된 신호의 동기적 검출은 측정 노이즈를 저감시키고 정확성을 개선한다.

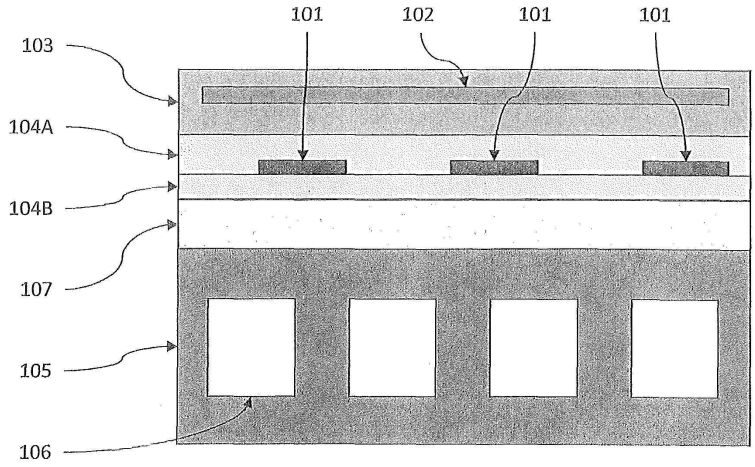
[0027] 이 방법은 임의의 다이오드 (250) 의 역 포화 전류의 온도 의존성의 임의의 시간적 시프트를 보정하는 선택적인 캘리브레이션 단계를 더 포함한다. 이 캘리브레이션 단계는 모든 전력 공급 라인들 (201) 및 모든 전력 복귀 라인들 (202) 을 상기 전류 측정 디바이스 (560) 로부터 분리하는 단계; 상기 온-오프 스위치 (575) 를 폐쇄하는 단계; 바람직하게는 다이오드 (250) 의 동작 온도 범위 내의 온도로 상기 캘브레이션 가열기 (571) 를 사용하여서 상기 캘리브레이션 다이오드 (573) 를 가열하는 단계; 상기 캘리브레이션된 온도 미터기 (572) 를 사용하여서 상기 캘리브레이션 다이오드 (573) 의 온도를 측정하는 단계; 상기 캘리브레이션 다이오드 (573) 의 역 포화 전류를 측정하는 단계; 및 상기 측정된 온도 및 상기 측정된 역 포화 전류에 기초하여서 각 다이오드 (250) 에 대한 등식 1에서의 파라미터들 A 및 γ을 조절하는 단계를 포함한다.

[0028] 본 명세서에서 기술된 시스템 및 기판 지지 어셈블리를 포함하는 플라즈마 에칭 장치에서 반도체를 처리하는 방법은 (a) 상기 기판 지지 어셈블리 상에 반도체 기판을 지지시키는 단계; (b) 상기 시스템 내의 평면형 가열기 존들에 전력을 제공함으로써 상기 가열 플레이트에 걸쳐서 목표된 온도 프로파일을 생성하는 단계; (c) 프로세스 가스를 플라즈마로 에너지화하는 단계; (d) 상기 플라즈마로 상기 반도체를 에칭하는 단계; 및 (e) 상기 플라즈마로 반도체를 에칭하는 동안에, 상기 시스템을 사용하여서 상기 목표된 온도 프로파일을 유지하는 단계를 포함한다. 단계 (e) 에서, 시스템은 상기 가열 플레이트 내의 각 평면형 가열기 존의 온도를 측정하고 상기 측정된 온도에 기초하여서 각 평면형 가열기 존에 전력을 공급함으로써 상기 목표된 온도 프로파일을 유지한다. 상기 시스템은 상기 평면형 가열기 존에 직렬로 접속된 다이오드의 역 포화 전류의 전류 판독치를 취함으로써 각 평면형 가열기 존의 온도를 측정한다.

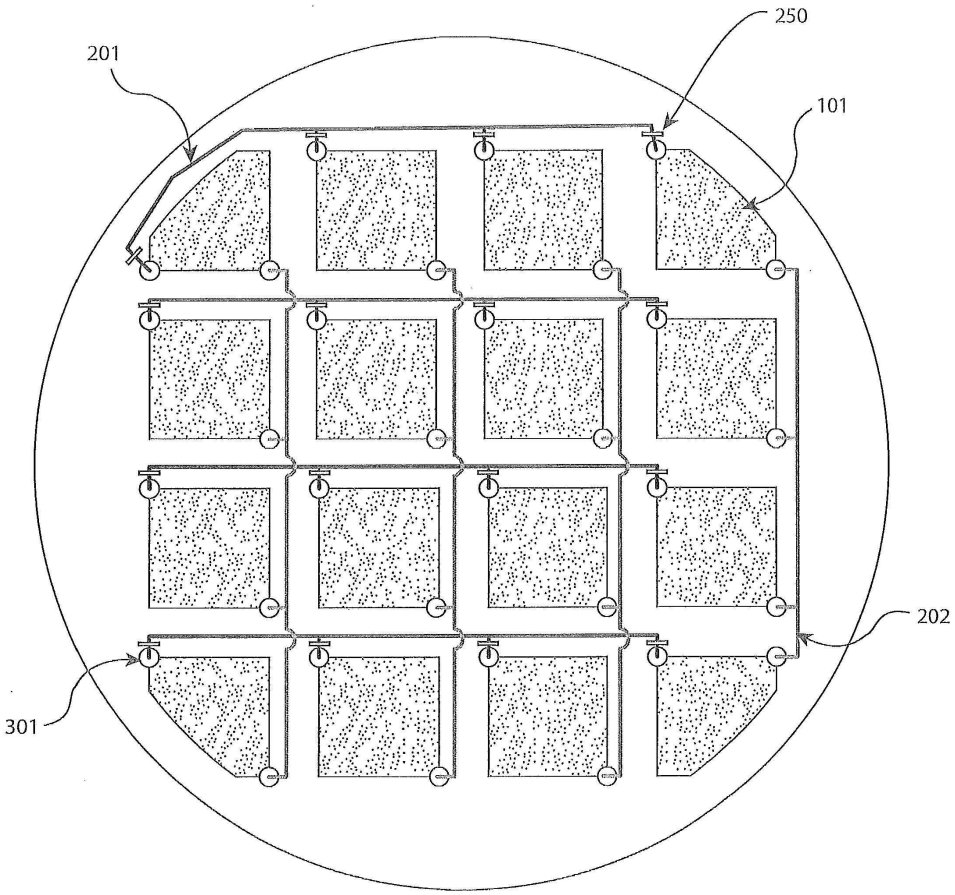
[0029] 가열 플레이트의 온도를 측정하고 가열 플레이트를 제어하는 시스템 (500) 및 방법은 이들의 특정 실시예들을 참조하여서 세부적으로 기술되었지만, 다양한 수정 및 변경 및 균등 사항들이 첨부된 청구 범위 내에서 가능하다.

도면

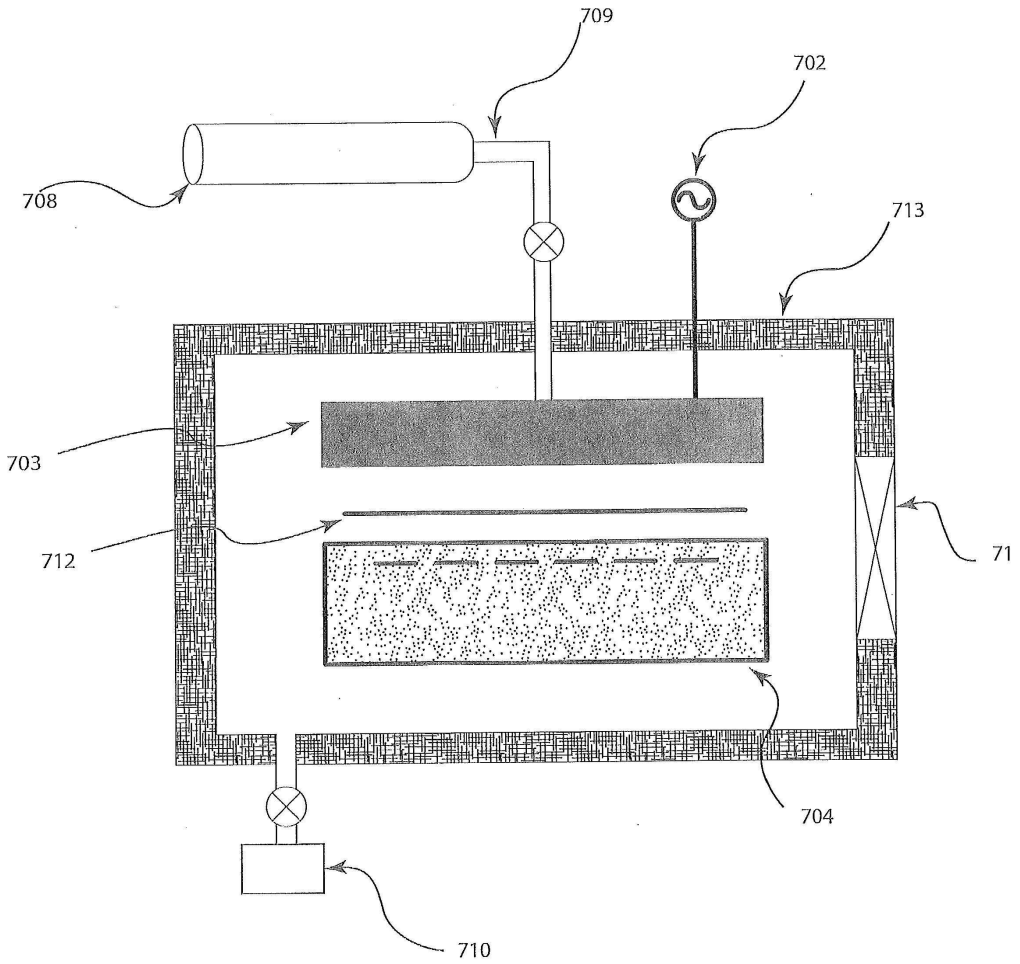
도면1



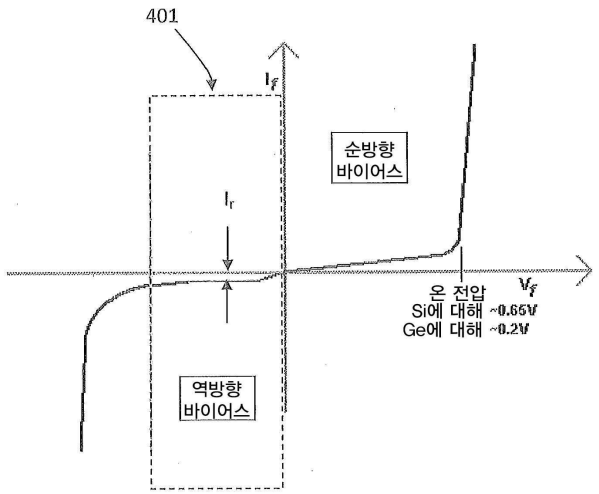
도면2



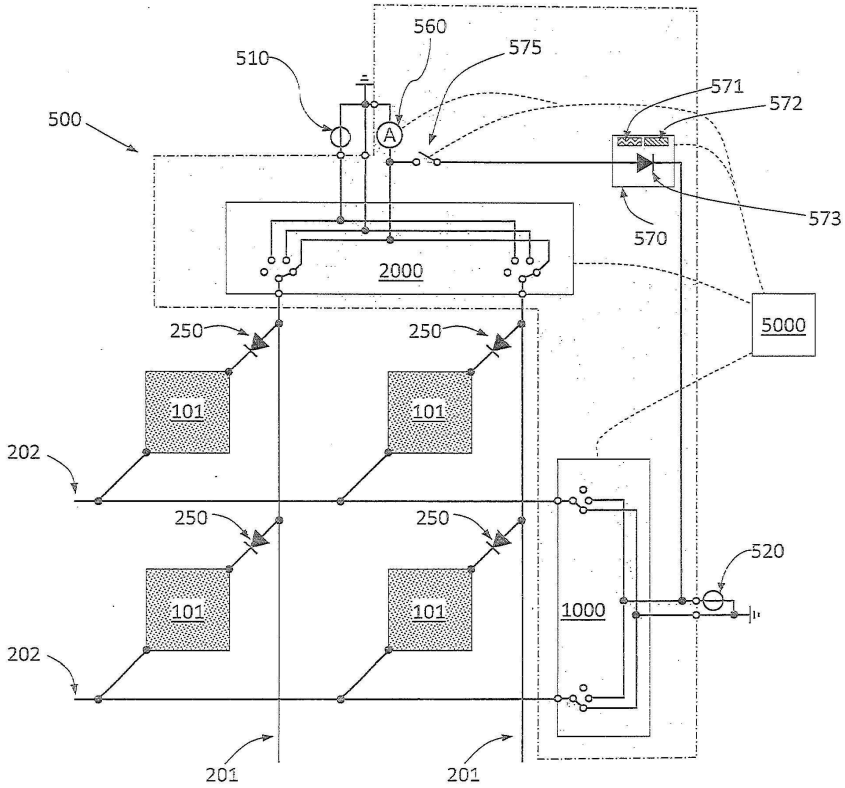
도면3


709
702
708
713
703
712
71
704
710

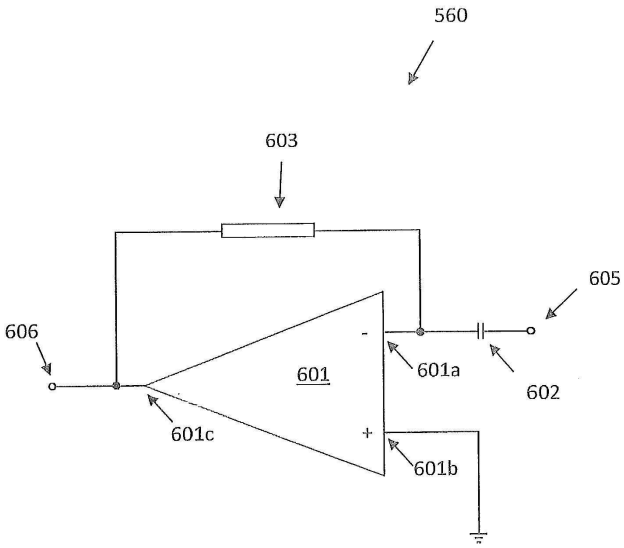
도면4


401
I_f
순방향
바이어스
I_r
온 전압
Si에 대해 ~0.65V
Ge에 대해 ~0.2V
V_f
역방향
바이어스

도면5


560
575
510
571
572
500
573
570
2000
5000
250
250
101
101
202
250
250
520
101
101
1000
202
201
201

도면6


560
603
605
606
601
601a
602
601c
601b