



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년08월01일
 (11) 등록번호 10-1644673
 (24) 등록일자 2016년07월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01L 21/3065 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-7015227
 (22) 출원일자(국제) 2010년12월13일
 심사청구일자 2015년09월18일
 (85) 번역문제출일자 2012년06월13일
 (65) 공개번호 10-2012-0102077
 (43) 공개일자 2012년09월17일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2010/003149
 (87) 국제공개번호 WO 2011/081645
 국제공개일자 2011년07월07일
 (30) 우선권주장
 61/286,653 2009년12월15일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2006519497 A

(73) 특허권자
램 리썬치 코퍼레이션
 미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이
 4650
 (72) 발명자
가프 키스 윌리엄
 미국 94536 캘리포니아주 프레몬트 그랜빌 코트
 5363
싱 하르미트
 미국 94539 캘리포니아주 프레몬트 프라데리아 서
 클 759
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
특허법인인벤투스

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 이정은

(54) 발명의 명칭 **C D 균일성을 향상시키기 위한 기판 온도의 조절**

(57) 요약

다수의 독립적으로 제어가능한 히터 존들을 구비한 기판 지지 어셈블리를 갖는 플라즈마 식각 시스템. 플라즈마 식각 시스템은, 임계 디바이스 파라미터들의 사전 식각 및/또는 사후 식각 비균일성이 보상될 수 있도록 미리 결정된 위치들의 식각 온도를 제어하도록 구성된다.

(72) 발명자

코멘던트 키스

미국 94536 캘리포니아주 프레몬트 글리든 웨이
4350

바헤디 바히드

미국 94611 캘리포니아주 오كل랜드 맥앤드류 드라
이브 5970

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법으로서,

상기 플라즈마 식각 시스템은,

기관 상의 디바이스 다이 위치들 아래에서 일 배열로 복수의 독립적으로 제어가능한 히터 존들을 포함하는, 플라즈마 식각 동안 상기 기관을 지지하기 위한 기관 지지 어셈블리, 및

각각의 히터 존을 제어하는 제어기 유닛을 포함하고,

상기 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법은,

상기 기관 상의 복수의 디바이스 다이 위치들에 대해 사전 식각 (pre-etch) 임계 디바이스 파라미터들을 측정하는 단계;

상기 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들 및 이전에 식각된 기관으로부터의 사후 식각 (post-etch) 임계 디바이스 파라미터들 중 적어도 하나를 상기 플라즈마 식각 시스템에 통신하는 단계;

후속하여 상기 기관 지지 어셈블리 상에 상기 기관을 지지하는 단계;

프로세스 레시피 (recipe) 파라미터들을 상기 플라즈마 식각 시스템에 통신하고 및/또는 상기 프로세스 레시피 파라미터들을 메모리로부터 상기 플라즈마 식각 시스템으로 로딩하는 단계;

상기 프로세스 레시피 파라미터들, 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들, 상기 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들, 및 상기 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들 중 적어도 하나로부터 상기 기관 상의 미리결정된 위치들에 대해 타겟 식각 온도를 추론하는 (deduce) 단계;

상기 제어가능한 히터 존들을 이용하고, 상기 타겟 식각 온도 및 상기 히터 존들의 타겟 제어 파라미터들 사이의 관계에 기초하여 상기 히터 존들에 대해 직접 제어되는 히터 전력 설정점들을 결정하여, 각각의 디바이스 다이 위치의 온도를 그 타겟 식각 온도로 조절하는 단계; 및

상기 기관을 플라즈마 식각하는 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

식각 프로세스 레시피의 각각의 단계에 대해서 프로세스 레시피 파라미터들을 상기 플라즈마 식각 시스템에 통신하고 및/또는 상기 프로세스 레시피 파라미터들을 메모리로부터 상기 플라즈마 식각 시스템으로 로딩하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기관 상의 미리결정된 위치들에서의 상기 타겟 식각 온도들에 기초하여 각각의 히터 존의 타겟 제어 파라미터들을 통신 및/또는 산출하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 히터 존들의 수 및 상기 디바이스 다이 위치들의 수는 동일하며,

상기 제어가능한 히터 존들을 이용하여 온도를 조절하는 단계는,

상기 히터 존들의 상기 타겟 제어 파라미터들 및 상기 디바이스 다이 위치들의 상기 타겟 식각 온도들의 관계를 나타내는 역행렬을, 원소들이 상기 디바이스 다이 위치들의 상기 타겟 식각 온도들인 벡터로 곱함으로써 상기

히터 존들에 대한 상기 히터 전력 설정점들을 결정하는 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 플라즈마 식각 시스템은 각각의 히터 존 위치의 식각 온도를 측정하기 위해 구성된 하나 이상의 온도 센서들을 포함하고,

상기 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법은 상기 온도 센서들로부터의 출력들에 기초하여 각각의 히터 존의 타겟 제어 파라미터들을 산출하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 히터 존들의 수 및 상기 디바이스 다이 위치들의 수는 동일하지 않으며,

상기 제어가능한 히터 존들을 이용하여 온도를 조절하는 단계는,

상기 히터 존들의 타겟 제어 파라미터들 및 상기 기관 상의 미리결정된 위치들의 예측된 식각 온도들의 관계를 나타내는 행렬에 기초하여 상기 히터 존들에 대한 상기 히터 전력 설정점들을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 디바이스 다이 위치들의 예측된 식각 온도들 및 상기 디바이스 다이 위치들의 타겟 식각 온도들 사이의 차는 최적화 기술에 의해 최소화되는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 최적화 기술은 최소 자승 최적화 (least squares optimization) 인, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 8

플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법으로서,

상기 플라즈마 식각 시스템은,

기관 상의 디바이스 다이 위치들 아래에서 일 배열로 독립적으로 제어가능한 히터 존들을 포함하는, 플라즈마 식각 동안 상기 기관을 지지하기 위한 기관 지지 어셈블리, 및

각각의 히터 존을 제어하는 제어기 유닛을 포함하고,

상기 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법은,

상기 기관 상의 제 1 세트의 미리결정된 위치들에서 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들을 측정하는 단계;

상기 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들 및 이전에 식각된 기관으로부터의 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들 중 적어도 하나를 상기 플라즈마 식각 시스템에 통신하는 단계;

후속하여 상기 기관 지지 어셈블리 상에 상기 기관을 지지하는 단계;

프로세스 레시피 파라미터들 중 적어도 하나를 통신하고, 상기 프로세스 레시피 파라미터들을 메모리로부터 상기 플라즈마 식각 시스템으로 로딩하는 단계;

상기 프로세스 레시피 파라미터들, 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들, 상기 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들, 및 상기 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들 중 적어도 하나에 기초하여 상기 기관 상의 제 2 세트의 미리결정된 위치들에서의 타겟 식각 온도들을 추론하는 단계;

상기 히터 존들의 각각에 대한 히터 전력 및 상기 제 2 세트의 미리결정된 위치들에서의 예측된 식각 온도들 사이의 관계에 기초하여 상기 제어가능한 히터 존들에 대해 직접 제어되는 히터 전력 설정점들을 결정하는 단계로서, 상기 히터 전력 설정점들은 상기 예측된 식각 온도들 및 상기 타겟 식각 온도들 사이의 차가 최적화 기술에

의해 최소화되도록 결정되는, 상기 히터 전력 설정점들을 결정하는 단계;

상기 기관을 플라즈마 식각하는 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 최적화 기술은 최소 자승 최적화인, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 타겟 식각 온도들을 추론하는 단계는, 상기 제 1 세트의 미리결정된 위치들에서의 사전 식각 또는 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들의 데이터에 기초하여, 상기 제 2 세트의 미리결정된 위치들에서의 사전 식각 또는 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들의 데이터를 추정하는 (estimate) 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 추정하는 단계는, 상기 제 1 세트의 미리결정된 위치들에서의 상기 사전 식각 또는 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들의 데이터에 기초하여, 상기 제 2 세트의 미리결정된 위치들에서의 상기 사전 식각 또는 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들의 데이터를 보간하는 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 히터 존들의 각각에 대한 상기 히터 전력 및 상기 제 2 세트의 미리결정된 위치들에서의 상기 예측된 식각 온도들 사이의 관계는 행렬에 의해 나타내지는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 보간하는 단계는 선형 보간인, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 보간하는 단계는 비선형 보간인, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 프로세스 레시피 파라미터들 및 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들 중 적어도 하나에 기초하여 상기 기관 상의 미리결정된 위치들에 대해 타겟 식각 온도를 추론하는 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

청구항 16

제 8 항에 있어서,

상기 프로세스 레시피 파라미터들 및 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들 중 적어도 하나에 기초하여 상기 기관 상의 제 2 세트의 미리결정된 위치들에서 타겟 식각 온도를 추론하는 단계를 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 출원은 2009년 12월 15일에 출원된 미국 가출원 No. 61/286,653 에 대해 35 U.S.C. § 119 하에서 우선권을 주장하며, 그 내용은 전체가 참조로써 본 명세서에 인용된다.

배경 기술

각각의 연속적인 반도체 테크놀로지 세대에 따라, 기판들, 예를 들어, 웨이퍼들의 직경들이 증가하고 트랜지스터 사이즈가 작아지는 경향이 있어, 그 결과 기판 프로세싱에 있어서 보다 더 높은 정도의 정확성 및 반복성이 요구되고 있다. 반도체 기판 재료들, 예컨대, 실리콘 기판들이 진공 챔버들의 사용을 포함하는 기술들에 의해 프로세싱된다. 이 기술들은 전자 빔 증착 등의 비플라즈마 애플리케이션들, 그리고 스퍼터 증착, 플라즈마 강화 화학적 기상 증착 (PECVD), 레지스트 스트립, 및 플라즈마 식각 등의 플라즈마 애플리케이션들을 포함한다.

오늘날 이용가능한 플라즈마 식각 시스템들은 정확성 및 반복성 향상을 위해 요구가 증가되는 반도체 제조 툴들에 속한다. 플라즈마 식각 시스템들에 대한 하나의 메트릭 (metric) 은, 반도체 기판 표면 상의 프로세스 결과들의 균일성, 및 명목상 동일한 입력 파라미터들로 프로세싱된 일련의 기판들의 프로세스 결과들의 균일성을 포함하는, 증가된 균일성이다. 기판내 균일성의 연속적인 개선이 바람직하다. 다른 것들 중에서도, 이것은 개선된 균일성, 일관성 및 자기 진단을 갖는 플라즈마 챔버들을 요구한다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

본 명세서에는, 기판 상의 디바이스 다이 위치들 아래에서 일 배열로 복수의 독립적으로 제어가능한 히터 존들을 포함하는, 플라즈마 식각 동안 기판을 지지하기 위한 기판 지지 어셈블리, 및 각각의 히터 존을 제어하는 제어기 유닛을 포함하는, 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법이 개시되어 있다. 방법은 (a) 기판 상의 기판의 디바이스 다이 위치들에 대해, 사전 식각 (pre-etch), 또는 이전에 식각된 기판으로부터의 사후 식각 (post-etch) 임계 디바이스 파라미터들을 측정하는 단계; (b) 사전 식각 또는 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들을 플라즈마 식각 시스템에 통신하는 단계; (c) 후속하여 기판 지지 어셈블리 상에 기판을 지지하는 단계; (d) 프로세스 레시피 파라미터들을 플라즈마 식각 시스템에 통신하고 및/또는 프로세스 레시피 파라미터들을 메모리로부터 플라즈마 식각 시스템으로 로딩하는 단계; (e) 프로세스 레시피 파라미터들, 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터 데이터, 및 인입되는 기판들로부터의 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들, 및/또는 이전에 식각된 기판으로부터의 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들로부터 기판 상의 미리결정된 위치들에서의 타겟 식각 온도들을 추천하는 단계; (f) 제어가능한 히터 존들을 이용하여 미리결정된 위치에서의 타겟 식각 온도에 기초하여 각각의 미리결정된 위치에서의 온도를 조절하는 단계; 및 (g) 기판을 플라즈마 식각하는 단계를 포함한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

기판 상의 타겟 임계 치수 (CD) 균일성을 달성하기 위해서 반도체 프로세싱 장치에서의 방사상 및 방위각의 기판 온도 제어가 더욱 요구되고 있다. 온도의 작은 변화조차도 CD 에 허용불가능한 정도로 영향을 줄 수도 있으며, CD 가 반도체 제조 프로세스들에서 20nm 아래로 접근하는 경우 특히 그러하다.

기판 지지 어셈블리는, 기판을 지지하고, 기판 온도를 튜닝하며, 무선 주파수 전력을 공급하는 것과 같은 프로세싱 동안의 다양한 기능들을 위해 구성될 수도 있다. 기판 지지 어셈블리는 프로세싱 동안 기판 지지 어셈블리 상에 기판을 정전기적으로 클램핑하기에 유용한 정전척 (ESC) 을 포함할 수 있다. ESC 는 튜닝가능한 ESC (T-ESC) 일 수도 있다. T-ESC 는 참조로써 인용되는, 공동 양도된 (commonly assigned) 미국 특허 Nos. 6,847,014 및 6,921,724 에 기재되어 있다. 기판 지지 어셈블리는 세라믹 기판 홀더, 유체-냉각된 히트 싱크 (이하, 냉각판이라 함) 및 복수의 동심원 히터 존들을 포함하여, 단계적이고 방사상인 온도 제어를 실현할 수도 있다. 통상적으로, 냉각판은 0 °C ~ 30 °C 에서 유지된다. 히터들은 사이에 열적 절연체층을 갖는 냉각판 상에 위치된다. 히터들은 기판 지지 어셈블리의 지지 표면을, 냉각판 온도를 초과하는 약 0 °C ~ 80 °C 의 온도로 유지할 수 있다. 복수의 히터 존들 내의 히터 전력을 변화시킴으로써, 기판 지지 온도 프로파일이 중심 고온, 중심 저온 및 균일한 온도 사이에서 변화될 수 있다. 또한, 평균 기판 지지 온도는 냉각판 온도를 초과하는 0 ~ 80 °C 의 동작 범위 내에서 단계적으로 변화될 수 있다. CD 가 반도체 테크놀

로지의 진보에 따라 감소하므로 작은 방위각 온도 변화는 점점 더 큰 도전을 제기한다.

온도 제어는 여러가지 이유들 때문에 쉬운 일이 아니다. 첫째로, 열원들 및 열 싱크들의 위치들, 미디어의 이동, 재료들 및 형상들과 같은 많은 팩터들이 열 전달에 영향을 줄 수 있다. 둘째로, 열 전달은 동적 프로세스이다. 문제의 시스템이 열 평형이 아닌 경우에는, 열 전달이 일어날 것이고 온도 프로파일 및 열 전달이 시간에 따라 변할 것이다. 셋째로, 물론 플라즈마 프로세싱에서 항상 존재하는, 플라즈마와 같은 비평형 현상은, 임의의 실제적인 플라즈마 프로세싱 장치의 열 전달 거동의 이론적 예측을 불가능하지는 않지만 매우 곤란하게 한다.

플라즈마 프로세싱 장치에서의 기관 온도 프로파일은 플라즈마 밀도 프로파일, RF 전력 프로파일 및 정전척에서의 다양한 가열 또는 냉각 소자들의 상세 구조와 같은, 많은 팩터들에 의해 영향을 받으며, 이로 인해 기관 온도 프로파일은 종종 비균일하고 소수의 가열 또는 냉각 소자들을 이용해 제어하기에 곤란한 경우가 있다. 이러한 결점은 전 기관에 걸친 프로세싱 속도에서의 비균일성 및 기관 상의 디바이스 다이들의 임계 치수에서의 비균일성으로 해석된다.

임계 치수의 비균일성은 업스트림 프로세스들, 예를 들어, 포토리소그래피에 의해 야기될 수 있다. 포토리소그래피의 평행 성질 (parallel nature) (즉, 기관 상의 모든 디바이스 다이들이 함께 노출됨) 및 광원 비균일성, 포토마스크들 상의 회절, 온도의 비균일성, 포토레지스트 두께의 비균일성 등과 같은 제어하기 어려운 팩터들 때문에, 사후 리소그래피 및 사전 식각 기관들은 보통 디바이스 피쳐들에서 비균일성을 갖는다. 체크되지 않고 다운스트림 프로세스들로 전파되는 것으로 허용되는 경우, 이러한 비균일성은 결과적으로 디바이스 수율을 감소시킬 수 있다.

다수의 독립적으로 제어가능한 히터 존들을 기관 지지 어셈블리에 포함시켜, 플라즈마 식각 시스템이 타겟 공간적 및 시간적 온도 프로파일을 활성적으로 생성 및 유지하고, CD 균일성에 영향을 주는 부정적인 팩터들을 보상할 수 있도록 하는 것이 이롭고 바람직할 것이다.

독립적으로 제어된 히터 존들을 갖는 기관 지지 어셈블리는 참조로써 인용되는 2009년 10월 21일에 출원된 미국 특허 출원 No. 12/582,991 에 기재되어 있다.

본 명세서에는, 기관 상의 복수의 디바이스 다이 위치들에 대해 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들, 또는 이전에 식각된 기관으로부터의 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들을 측정하고, 측정된 정보를 식각 동안 기관 상의 미리결정된 위치들에서의 온도들을 튜닝하기 위해서 이용함으로써, 식각될 기관 상의 비균일성을 보상하기 위해서, 독립적으로 제어가능한 히터 존들을 구비한 기관 지지 어셈블리를 갖는 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법이 기재되어 있다.

예를 들어, 기관이 리소그래피를 겪은 이후, 기관 상의 레지스트층에 패턴이 형성된다. 레지스트층에서의 패턴은 임계 치수들에서의 비균일성을 가질 수 있다. 기관 상의 각 디바이스 다이 상의 레지스트층에서의 사전 식각 임계 치수들은 적합한 톨을 이용하여 측정될 수 있다. 패턴링된 레지스트층은 기관 하부의 이후의 플라즈마 식각에서 마스크로서 사용된다. 플라즈마 식각 동안의 온도는 기관에서의 식각된 패턴의 임계 치수들 (사후 식각 임계 치수들) 에 영향을 줄 수 있다. 디바이스 다이 위치에서의 사전 식각 임계 치수들이 타겟 값들로부터 허용가능한 에러를 넘는 것으로 결정된다면, 사후 식각 임계 치수들이 타겟 값들로부터 허용가능한 에러 내에 있도록 디바이스 다이 위치의 식각 온도가 히터 존들에 의해 튜닝될 수 있다. 즉, 측정된 사전 식각 임계 치수들을 사용하여 각 디바이스 다이 위치의 식각 온도를 조절하여, 디바이스 다이 위치에서의 사전 식각 임계 치수들의 특정량의 에러를 보상할 수 있다.

플라즈마 식각 시스템은 가열관에 조립된 독립적으로 제어가능한 히터 존들, 및 각각의 히터 존을 제어하는 제어기 유닛을 가질 수 있다. 제어기 유닛의 제어하에서 각각의 히터 존의 전력을 튜닝함으로써, 프로세싱 동안의 온도 프로파일이 방사상 및 방위각 모두로 형태를 가질 수 있다. 히터 존들은 바람직하게 정의된 패턴, 예를 들어, 직사각형 그리드, 육각형 그리드, 또는 다른 패턴으로 배열된다. 가열관의 각각의 히터 존은 바람직하게 기관 상의 단일 디바이스 다이와 유사한 사이즈 (예를 들어, $\pm 10\%$) 이다. 예시적인 배열에서, 전기적 접속들의 수를 최소화하기 위해서, 각각의 전력 공급선이 히터 존들의 상이한 그룹에 접속되고 각각의 전력 리턴선이 히터 존들의 상이한 그룹에 접속되도록 전력 공급 및 전력 리턴선들이 배열되고, 각각의 히터 존은 특정 전력 공급선에 접속된 그룹들 중 하나 및 특정 전력 리턴선에 접속된 그룹들 중 하나에 있다.

어떠한 2개의 히터 존들도 동일한 쌍의 전력 공급 및 전력 리턴선들에 접속되지 않는다. 즉, 히터 존은 이 특정 히터 존이 접속되는 한 쌍의 전력 공급 및 전력 리턴선들을 통해 전기적 전류를 안내함으로써 활성화될 수

있다. 히터 소자들의 전력은 바람직하게 20W 보다 작고, 보다 바람직하게 5 ~ 10 W 이다. 히터 소자들은 펠티에 (Peltier) 디바이스들 및/또는 폴리이미드 히터들, 실리콘 고무 히터들, 마이카 히터들, 금속 히터들 (예를 들어, W, Ni/Cr 합금, Mo 또는 Ta), 세라믹 히터들 (예를 들어, WC), 반도체 히터들 또는 카본 히터들과 같은 저항성 히터들일 수 있다. 히터 소자들은 스크린 인쇄되거나, 와이어 와인딩되거나, 또는 식각된 호일 히터들일 수도 있다. 히터 소자들의 두께는 2 μm ~ 1 mm, 바람직하게 5 ~ 80 μm 일 수 있다. 히터 존들 및/또는 전력 공급 및 전력 리턴선들 사이에 공간을 허용하기 위해서, 히터 존들의 총 면적은 기판 지지 어셈블리의 상부 표면의 면적의 90% 까지일 수도 있으며, 예를 들어, 그 면적의 50-90% 일 수도 있다. 전력 공급선들 또는 전력 리턴선들 (총체적으로, 전력선들) 은 히터 존들 사이에서 1 ~ 10 mm 범위의 갭으로 배열될 수 있거나, 또는 전기적 절연층들에 의해 히터 존들 평면으로부터 분리된 별도의 평면에 배열될 수도 있다. 전력 공급선들 및 전력 리턴선들은, 큰 전류를 운반하고 주열 (Joule) 열을 감소시키기 위해서, 공간이 허용하는 한 넓게 만들어지는 것이 바람직하다. 전력선들은 히터 존들과 동일한 평면에 있을 수 있거나, 또는 히터 존들과 상이한 평면들 상에 있을 수 있다. 전력 공급 및 전력 리턴선들의 재료들은 히터 소자들의 재료들과 동일하거나 또는 상이할 수도 있다. 바람직하게, 전력 공급 및 전력 리턴선들의 재료들은 Cu, Al, W, Inconel® 또는 Mo 과 같이, 저항율이 낮은 재료들이다. 기판 지지 어셈블리는, 기판으로부터 디바이스들의 수율을 최대화하기 위해서, 기판 온도 및 결과적으로 각각의 디바이스 다이 위치에서의 플라즈마 식각 프로세스를 제어하도록 작동가능하다. 플라즈마 식각 시스템은 바람직하게 적어도 9개의 히터 존들을 갖는다.

일 실시형태에서, 플라즈마 식각 시스템은, 인간 사용자 (human user), 온보드 (onboard) 측정 툴, 호스트 네트워크 (프로세싱 라인에서 프로세싱 툴들 사이의 데이터를 공유하는 네트워크) 등과 같은 소스들로부터, 내부에서 프로세싱될 기판 상의 복수의 디바이스 다이 위치들 (바람직하게 각각의 디바이스 다이 위치에서의 적어도 하나의 위치) 에서 측정된 임계 디바이스 파라미터들 (예를 들어, 사전 식각 임계 치수들) 을 수신할 수 있다 (사전 식각 임계 디바이스 파라미터들). 바람직하게, 플라즈마 식각 시스템은, 호스트 통신 네트워크를 통해 오프-보드 (off-board) 검사 툴로부터, 프로세싱될 기판의 배치의 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들을 수신한다. 이러한 오프-보드 검사 툴은 광학 및/또는 전자 빔 검사 툴일 수 있다. 플라즈마 식각 시스템은 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들을 수신하기 위한 하드웨어 및/또는 소프트웨어 인터페이스를 가질 수 있다. 플라즈마 식각 시스템은 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들을 프로세싱하기 위해 적합한 소프트웨어를 가질 수 있다.

플라즈마 식각 시스템은 또한 하드웨어 및/또는 소프트웨어 인터페이스를 통해 수신할 수 있고 및/또는 측정된 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들 및 식각 온도들에 대한 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들의 의존성을 정의하는 프로세스 레시피 파라미터들을 메모리로부터 로딩할 수 있고; 그리고 프로세스 레시피 파라미터들, 타겟 사후 식각 임계 디바이스 파라미터들, 및 측정된 사전 식각 임계 디바이스 파라미터들로부터 기판 상의 미리결정된 위치들에서의 타겟 식각 온도를 추론할 수 있다. 바람직하게, 플라즈마 식각 시스템은 각각의 프로세스 레시피 단계에 대해 이러한 프로세스 레시피 파라미터들을 수신할 수 있다.

바람직하게, 플라즈마 식각 시스템은 또한, 각각의 디바이스 다이의 타겟 임계 디바이스 파라미터를 달성하기 위해서, 각각의 디바이스 다이 위치의 타겟 식각 온도에 기초하여 각각의 히터 존에 대해 타겟 제어 파라미터들 (전력, 전압, 전류 등과 같이 직접 제어될 수 있는 파라미터들) 을 산출할 수 있다.

타겟 제어 파라미터들은, 적용된 상이한 제어 파라미터들에 대한 기판 지지 어셈블리의 표면 온도들의 응답을 측정함으로써, 기판 지지 어셈블리의 제작 동안 획득될 수 있다. 대안으로, 타겟 제어 파라미터들은 열 전달 이론 또는 유한 요소 해석 등과 같은 이론적 또는 경험적 모델을 이용함으로써 결정될 수 있다.

바람직하게, 정상 이득 행렬 (steady gain matrix) 은 히터 존 하부에 적용된 제어 파라미터에 대한 각각의 디바이스 다이 위치의 직접적 응답, 및 다른 히터 존들에 적용된 제어 파라미터들에 대한 상기 디바이스 다이의 간접적 응답 (크로스토크) 을 이용하여 타겟 제어 파라미터들을 산출하기 위해서 사용될 수 있다. 정상 이득 행렬은, 그 전체가 참조로써 원용되는 G. Golub 등에 의한 행렬 연산 (Matrix Computation) (존스 홉킨스 대학 출판사, 보스톤, 1996년) 에 기재된 방법들을 이용하여 산출될 수 있다.

일 실시형태에서, 플라즈마 식각 시스템은 n 개의 독립적인 히터 존들을 갖는 것으로 가정한다. 그들 각각의 제어 파라미터는 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) 이다. 모든 제어 파라미터들 X_i 는 벡터로서 기재될 수 있다.

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix},$$

여기서, X_i 는 바람직하게 i 번째 히터 존에 적용된 시간-평균된 (time-averaged) 전력이다.

T_i 는 i 번째 히터 존 내의 디바이스 다이 위치에서의 타겟 식각 온도이며, 이것은 다른 벡터로 기재될 수 있다.

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{pmatrix},$$

벡터 T 는 벡터 X 의 함수이다. 벡터 X 및 T 사이의 관계는 $n \times n$ 행렬 K 로 나타낼 수 있으며, 여기서 $T=K \cdot X$ 이다. 대각 원소들 K_{ii} 는 기관 지지 어셈블리 또는 플라즈마 식각 시스템의 제작 동안 측정될 수 있다.

비대각 원소들 K_{ij} ($i \neq j$) 는 기관 지지 어셈블리 또는 플라즈마 식각 시스템의 제작 동안 측정될 수 있거나, 또는 유한 요소 열적 모델, 대각 원소들의 값들 및 i 번째 및 j 번째 히터 존들 사이의 물리적 거리로부터 유도될 수 있다. 행렬 K 는 플라즈마 식각 시스템에 저장된다. 플라즈마 식각 시스템은 또한 T 에 기초하여 X 를 추론하기 위한 알고리즘을 실행하기에 기능적인 소프트웨어 또는 펌웨어를 갖는다. 알고리즘은 역행렬 이후에 행렬 곱셈이 이어지며, 즉, $X=K^{-1} \cdot T$ 이다.

다른 실시형태에서, 플라즈마 식각 시스템은 n 개의 독립적인 히터 존들을 갖는 것으로 가정한다. 그들 각각의 제어 파라미터는 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) 이다. 모든 제어 파라미터들 X_i 는 벡터로서 기재될 수 있다.

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix},$$

여기서, X_i 는 바람직하게 i 번째 히터 존에 적용된 시간-평균된 (time-averaged) 전력이다.

$P=\{P_j\}$ 는, 각각의 히터 존에 대한 온도 응답이 종래의 모델링 또는 교정 측정들에 기초하여 알려져 있는, 기관 상의 미리결정된 위치들에서의 일 세트의 예측된 식각 온도들이다. P 는 또 다른 벡터로서 기재될 수 있다.

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{pmatrix},$$

$T=\{T_j\}$ 는 기관 상의 동일한 미리결정된 위치들에서의 일 세트의 타겟 식각 온도들이다. T 는 또 다른 벡터로서 기재될 수 있다.

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_m \end{pmatrix},$$

이 실시형태에서, 각각의 타겟 식각 온도들을 갖는 기관 상의 위치들의 수 m 은 히터 존들의 수와 동일하지 않으며, 즉, $m \neq n$ 이다. 온도 응답을 갖는 위치들은 히터 존들의 위치들과 상이할 수도 있다. 벡터 P 는 벡터 X 의 함수이다. 벡터 P 및 T 사이의 관계는 $m \times n$ 행렬 K 로 나타낼 수 있으며, 여기서 $P=K \cdot X$ 이다.

원소들 K_{ij} 는 기관 지지 어셈블리 또는 플라즈마 식각 시스템의 제작 동안 측정될 수 있거나, 또는 유한 원소 열적 모델로부터 유도될 수 있다. 행렬 K 는 플라즈마 식각 시스템에 저장된다. 플라즈마 식각 시스템은 또한 행렬 및 최적화 알고리즘, 예를 들어, 최소 자승 최적화 (least squares optimization) 를 이용하는, T 에 기초하여 X 를 추론하기 위한 알고리즘을 실행하기에 기능적인 소프트웨어 또는 펌웨어를 갖는다. 최적화 알고리즘은 디바이스 다이 위치들에서의 예측된 온도들 및 기관 상의 각각의 위치들에서의 타겟 온도들 사이의 차이를 최소화함으로써 히터 전력 설정점들의 결정을 용이하게 한다.

상기 실시형태들에서, 기관 특징들, 예를 들어, CD 측정들이 측정되는 위치는 히터 존들의 수와 상이할 수도 있다. 또한, 기관 특징들이 측정되는 위치들은, 각각의 히터 존에 대한 온도 응답이 예를 들어 측정 동안 모델링 또는 이전의 측정들에 기초하여 알려져 있는 위치들과 일치하지 않을 수도 있다. 즉, 기관 특징들 측정 위치들은 행렬 K 를 구성하기 위해 사용되는 것들과 상이하다. 결과적으로, 기관 특징들은 행렬 K 를 구성하기 위해 사용되는 것들과 동일한 위치들에서 추정될 필요가 있다. 바람직한 실시형태에서, 선형 또는 비선형 보간과 같은 기술은, 기관 특징들, 예를 들어, CD 측정들에 대한 데이터를, 기관 특징들 측정 위치들로부터, 개별 히터 응답들이 교정동안 모델링/측정되었던 위치들, 즉, 행렬 K 를 구성하기 위해 사용된 위치들로 변환하기 위해 사용될 수 있다.

대안의 실시형태에서, 제어 파라미터들은 각각의 히터 존에서의 온도 센서들 (예를 들어, 광학 센서들, 열전쌍들, 다이오드들 등) 의 출력에 기초하여 제어 회로 (예를 들어, PID 제어기) 에 의해 동적으로 결정될 수 있다.

구체적인 실시형태들을 참조하여 플라즈마 식각 시스템을 이용하는 방법이 상세히 기재되어 있지만, 첨부된 청구범위들의 범위로부터 벗어나지 않고 다양한 변화들 및 변형들이 이루어질 수 있고 등가물이 채용될 수 있음이 당업자들에게 명백할 것이다.