



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월14일
(11) 등록번호 10-2467120
(24) 등록일자 2022년11월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32935 (2013.01)
H01J 37/32082 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7009604
(22) 출원일자(국제) 2017년08월28일
심사청구일자 2020년08월27일
- (85) 번역문제출일자 2019년04월03일
(65) 공개번호 10-2019-0049796
(43) 공개일자 2019년05월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/048965
(87) 국제공개번호 WO 2018/052698
국제공개일자 2018년03월22일
- (30) 우선권주장
15/268,472 2016년09월16일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020050007624 A
KR1020070007879 A
KR1020120037420 A
- (73) 특허권자
램 리써치 코퍼레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (72) 발명자
도허티, 존
미국, 94538-6470 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
구하, 조이딕
미국, 94538-6470 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인인벤싱크

전체 청구항 수 : 총 30 항

심사관 : 이희봉

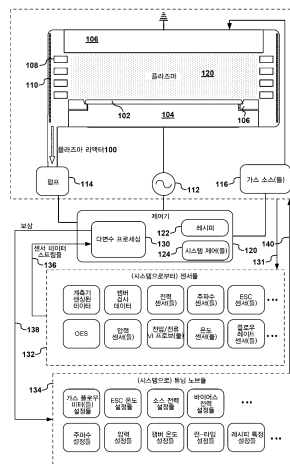
(54) 발명의 명칭 복잡한 다변수 웨이퍼 프로세싱 장비에서 머신 러닝을 구현하는 방법 및 프로세스

(57) 요약

산출 기관들의 프로세싱을 개시하기 위해 그리고/또는 리액터가 세팅된 후 준비 상태 및 후속하는 산출 웨이퍼 프로세싱을 위해 시즈닝될 필요성을 결정하기 위해 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 시스템들 및 방법들이 제공된다. 이 방법은 목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된 플라즈마 리액터의 튜닝 노

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



브들에 대한 설정들을 사용하여 플라즈마 리액터 내에서 기관의 프로세싱을 개시한다. 복수의 데이터 스트림들이 기관의 프로세싱 동안 플라즈마 리액터로부터 수신된다. 복수의 데이터 스트림들은 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하도록 사용된다. 이 방법은 현재 프로세싱 상태 값들과 목표된 프로세싱 상태 값들 사이의 차들을 식별하는 보상 벡터를 생성하는 단계를 포함한다. 보상 벡터의 생성은 보상 벡터에서 식별될 때, 보상의 ID (identification) 및 필요한 보상량을 개선하고 개량하기 위해 머신 러닝을 사용한다. 이 방법은 튜닝 노브들에 대한 설정들에 대한 조정들로 보상 벡터를 변환하는 단계 및 이어서 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들에 조정을 적용하는 단계를 더 포함한다.

(52) CPC특허분류

H01J 37/32926 (2013.01)

H01L 21/3065 (2013.01)

H01L 21/67069 (2013.01)

H01L 21/67242 (2013.01)

H01L 21/67248 (2013.01)

H01L 21/67253 (2013.01)

B81C 2201/0138 (2013.01)

H01J 2237/334 (2013.01)

(72) 발명자

바헤디, 바히드

미국, 94538-6470 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파
크웨이 4650

고트초, 리차드 알란

미국, 94538-6470 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파
크웨이 4650

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법에 있어서,

목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된 (approximated) 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들 (tuning knobs) 에 대한 설정들을 사용하여 상기 플라즈마 리액터 내에서 기관의 프로세싱을 개시하는 단계;

상기 기관의 상기 프로세싱 동안, 상기 플라즈마 리액터로부터 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 단계로서, 상기 복수의 데이터 스트림들은 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하기 위해 사용되는, 상기 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 단계;

상기 현재 프로세싱 상태 값들과 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 차들을 식별하는 보상 벡터를 생성하는 단계;

상기 튜닝 노브들에 대한 상기 설정들에 대한 조정들로 상기 보상 벡터를 변환하는 단계;

상기 플라즈마 리액터의 상기 튜닝 노브들에 상기 조정을 적용하는 단계;

상기 플라즈마 리액터의 타입 및 상기 플라즈마 리액터 내에서 상기 기관의 상기 프로세싱을 위해 사용될 프로세스의 타입에 대해 모델 데이터베이스를 액세스하는 단계; 및

상기 모델 데이터로부터의 모델을 식별하는 단계로서, 상기 모델은 목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된 상기 플라즈마 리액터의 상기 튜닝 노브들에 대한 상기 설정들을 포함하는, 상기 모델을 식별하는 단계를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 데이터 스트림들은 상기 플라즈마 리액터와 인터페이싱되거나 상기 플라즈마 리액터와 통신하는 제어기와 인터페이싱되는 센서들로부터 수신되고, 상기 센서들은 OES (optical emission spectrometry) 센서, 간섭계, 압력 센서, 전압 센서, 전류 센서, 온도 센서, 플로우 레이트 센서, 주파수 센서, 전력 센서, 계측 센서, 및 이들의 2 이상의 조합들 중 하나 이상을 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 튜닝 노브들은 상기 플라즈마 리액터와 인터페이싱된 제어들과 관련되고, 상기 제어들은 가스 플로우 미터들을 조정하기 위한 제어들, 전력 설정들을 조정하기 위한 제어들, 온도 설정들을 조정하기 위한 제어들, 상기 플라즈마 리액터의 상단 전극과 하단 전극 사이의 물리적 갭 분리들을 조정하기 위한 제어들, ESC (electrostatic chuck) 온도 또는 동작을 조정하기 위한 제어들, 바이어스 전력 설정들을 조정하기 위한 제어들, 챔버 압력들을 설정하기 위한 제어들, 하나 이상의 무선 주파수 생성기들의 주파수들을 설정하기 위한 제어들, 특정한 레시피 동작들의 런 타임 (run time) 을 설정하기 위한 제어들, 진공의 펌핑 레이트들을 설정하기 위한 제어들, 가스 플로우들의 지속기간을 설정하기 위한 제어들, 모니터링 알고리즘들을 설정하기 위한 제어들, 보스코프 검사들 (borescope inspections) 을 트리거링하는 제어들, 세정 동작들 사이의 인터벌들을 설정하거나 결정하기 위한 제어들, 또는 이들의 2 이상의 조합들 중 하나 이상을 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 목표된 프로세싱 상태 및 상기 현재 프로세싱 상태는 상기 플라즈마 리액터의 프로세싱 볼륨 내에서 센싱

된 플라즈마 조건들의 물리적 상태를 기술하는 가상 공간에서 규정되고, 상기 플라즈마 조건들은 특정한 리액터 벽 표면 컨디셔닝을 위해 상기 기관의 평면에서 이온, 전자 및 중성 플럭스들의 세트를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 보상 벡터는 상기 가상 공간 내에서 상기 현재 프로세싱 상태 값들과 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 상기 차들을 식별하고, 상기 보상 벡터의 상기 변환은 상기 노브들에 대한 상기 설정들에 대한 상기 조정들을 식별된 물리적 조정을 갖는 식별된 물리적 노브들의 세트로서 식별하고, 상기 플라즈마 리액터의 제어기가 상기 노브들에 대한 상기 설정들의 상기 조정들을 유발하는 프로그램 인스트럭션들을 프로세싱하도록 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 목표된 프로세싱 상태 값들을 향해 상기 현재 프로세싱 상태 값들이 이동하는 것을 보조하기 위해 상기 튜닝 노브들의 상기 설정들에 대한 상기 조정들을 생성하도록 상기 기관의 상기 프로세싱 동안 상기 플라즈마 리액터로부터 상기 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 것을 계속하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

다변수 (multivariate) 프로세스가 상기 현재 프로세싱 상태 값들과 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 상기 차들을 식별하도록 구성되고, 그리고

상기 기관의 상기 프로세싱의 예칭 레이트 퍼포먼스 또는 모니터 웨이퍼 퍼포먼스 중 하나 또는 모두로부터 수신된 검증 피드백에 적어도 부분적으로 기초하여 조정된 목표된 프로세싱 상태 값들을 생성하기 위해 상기 목표된 프로세싱 상태 값들에 대한 조정들을 하도록 머신 러닝을 프로세싱하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 머신 러닝은, 상기 생성된 보상 벡터가 감도 (sensitivity) 데이터에 기초하여 완화된 조정들을 포함하도록, 상기 플라즈마 리액터의 센서들에 대해 감도 데이터를 입력으로서 사용하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 기관의 상기 프로세싱은 특정한 플라즈마 리액터 및 특정한 프로세스 레시피에 대해 식별되고;

특정한 프로세스 레시피 각각 및 특정한 플라즈마 리액터 각각은 튜닝 노브들에 대한 설정들 및 목표된 프로세싱 상태 값들을 포함하는 연관된 모델을 갖고, 상기 모델은 모델 데이터베이스로부터 액세스되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 모델 데이터베이스로부터의 모델이 사용될 때, 머신 러닝 프로세스는 상기 목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 상기 특정한 플라즈마 리액터에 대한 설정들을 개선하기 위해 상기 모델의 상기 튜닝 노브들에 대한 상기 설정들에 대한 조정들을 하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 머신 러닝 프로세스에 의해 이루어진 상기 조정들에 기초하여 상기 모델 데이터베이스의 상기 모델들을 업데이트하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 12

플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법에 있어서,

목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들에 대한 설정들을 사용하여 상기 플라즈마 리액터 내에서 시즈닝 (seasoning) 기관의 프로세싱을 개시하는 단계;

상기 시즈닝 기관의 상기 프로세싱 동안, 상기 플라즈마 리액터로부터 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 단계로서, 상기 복수의 데이터 스트림들은 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하기 위해 사용되는, 상기 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 단계;

상기 현재 프로세싱 상태 값들이 상기 목표된 프로세싱 상태 값들의 미리 규정된 문턱값 내에 있을 때까지 상기 플라즈마 리액터 내에서 상기 시즈닝 기관 또는 부가적인 시즈닝 기관들을 계속해서 프로세싱하는 단계;

상기 현재 프로세싱 상태 값들과 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 차들을 식별하는 보상 벡터를 생성하는 단계;

상기 튜닝 노브들에 대한 상기 설정들에 대한 조정들로 상기 보상 벡터를 변환하는 단계;

상기 플라즈마 리액터의 상기 튜닝 노브들에 상기 조정을 적용하는 단계;

상기 튜닝 노브들에 대한 상기 조정이 상기 목표된 프로세싱 상태 값들을 실질적으로 생성하는 상태의 상기 플라즈마 리액터에서 일어날 때 상기 플라즈마 리액터를 산출 (production) 기관들의 프로세싱을 위해 준비가 된 것으로 식별하는 단계;

목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된, 상기 산출 기관의 상기 시즈닝 동안 설정될 때, 상기 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들에 대한 설정들을 사용하여 상기 플라즈마 리액터 내에서 상기 산출 기관의 프로세싱을 개시하는 단계;

상기 산출 기관의 상기 프로세싱 동안, 상기 플라즈마 리액터로부터 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 단계로서, 상기 복수의 데이터 스트림들은 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하기 위해 사용되는, 상기 복수의 데이터 스트림들을 수신하는 단계;

상기 현재 프로세싱 상태 값들과 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 차들을 식별하는 보상 벡터를 생성하는 단계;

상기 튜닝 노브들에 대한 상기 설정들에 대한 조정들로 상기 보상 벡터를 변환하는 단계; 및

상기 플라즈마 리액터에 의한 프로세싱에서 시간에 따른 드리프트 (drift) 를 보상하기 위해 상기 플라즈마 리액터의 상기 튜닝 노브들에 상기 조정을 적용하는 단계를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 목표된 프로세싱 상태 및 상기 현재 프로세싱 상태는 상기 플라즈마 리액터의 프로세싱 볼륨 내에서 센싱된 플라즈마 조건들의 물리적 상태를 기술하는 가상 공간에서 규정되고, 상기 플라즈마 조건들은 검출된 리액터 벽 표면 컨디셔닝을 위해 상기 기관의 평면에서 이온, 전자 및 중성 플럭스들의 세트를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 보상 벡터는 상기 가상 공간 내에서 상기 현재 프로세싱 상태 값들과 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 상기 차들을 식별하고, 상기 보상 벡터의 상기 변환은 상기 노브들에 대한 상기 설정들에 대한 상기 조정들을 식별된 물리적 조정을 갖는 식별된 물리적 노브들의 세트로서 식별하고, 상기 플라즈마 리액터의 제어기가 상기 노브들에 대한 상기 설정들의 상기 조정들을 유발하는 프로그램 인스트럭션들을 프로세싱하도록 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법.

청구항 15

플라즈마 프로세스의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템에 있어서,

플라즈마 리액터의 동작 조건들에 대한 설정들을 하기 위한 복수의 튜닝 노브들을 갖는 상기 플라즈마 리액터;

상기 플라즈마 리액터의 복수의 센서들로서, 상기 복수의 센서들 각각은 상기 플라즈마 프로세스를 수행하기 위한 상기 플라즈마 리액터의 동작 동안 정보의 데이터 스트림을 생성하도록 구성되는, 상기 플라즈마 리액터의 복수의 센서들; 및

상기 플라즈마 리액터의 제어를 포함하고,

상기 제어기는 상기 플라즈마 리액터의 프로세싱 환경 내에서 의도된 측정가능한 조건들을 규정하고 현재 플라즈마 프로세싱 값들을 식별하는 목표된 프로세싱 상태 값들을 입력으로서 사용하도록 구성된 다변수 프로세싱을 실행하도록 구성되고, 상기 다변수 프로세싱은, 상기 목표된 프로세싱 상태 값들 및 상기 플라즈마 프로세스의 프로세싱 동안 상기 복수의 센서들로부터의 데이터 스트림들을 입력들로서 수신하는 머신 러닝 엔진을 사용하고, 그리고 상기 머신 러닝 엔진은 보상 벡터가 상기 목표된 프로세스 상태 값들과 현재 프로세싱 상태 값들 간 차들을 규정하도록 상기 보상 벡터를 생성하기 위해 사용된 상기 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하도록 구성되고,

상기 제어기는 상기 프로세싱 환경 내에서 측정된 조건들의 측면에서 표현된 상기 보상 벡터를 상기 플라즈마 리액터의 특정한 하나 이상의 상기 튜닝 노브들의 변화들로 변환하는 보상 프로세싱 동작을 실행하도록 더 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 리액터의 상기 프로세싱 환경의 상기 측정가능한 조건들의 변화들을 유발하기 위해 상기 플라즈마 리액터의 상기 튜닝 노브들에 대한 변화들을 생성하도록 더 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 머신 러닝 엔진은 예칭 레이트 측정치들 또는 모니터 웨이퍼 측정치들 중 하나 또는 모두에 관한 측정된 기관 퍼포먼스 데이터를 주기적으로 수신하도록 구성되고, 상기 측정된 기관 퍼포먼스 데이터는 상기 목표된 프로세싱 상태 값들에 대한 조정들을 하도록 사용되고, 이는 결국 상기 보상 벡터 및 상기 하나 이상의 튜닝 노브들에 대한 변화들에 대한 조정들을 유발하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 머신 러닝 엔진은 예칭 레이트 측정치들 또는 모니터 웨이퍼 측정치들 중 하나 또는 모두로부터 획득된 실제 데이터를 사용하여 상기 현재 프로세싱 상태 값들의 검증을 수행하도록 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 19

제 15 항에 있어서,

상기 머신 러닝 엔진은 튜닝 노브들의 보상에 대한 센서 신호들에 관한 감도 데이터를 더 수신하는, 플라즈마

리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 20

제 15 항에 있어서,

상기 머신 러닝 엔진은 상기 플라즈마 리액터의 상기 복수의 센서들에 의해 생성된 상기 데이터 스트림들의 측면에서 상기 프로세싱 환경 내 플라즈마 다이내믹스 (dynamics) 를 규정하는 현상학적 모델에 의한 사용을 위해 리액터 벽 표면 다이내믹스를 더 수신하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 21

제 15 항에 있어서,

상기 시스템은 하나 이상의 동작준비된 (operational) 페이지들에서 실행되도록 구성되고, 일 동작준비된 페이지는,

비-산출 기관들을 사용하는 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지 동안, 상기 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지는 상기 현재 프로세싱 상태 값들이 상기 플라즈마 리액터를 산출 기관들을 프로세싱할 준비가 된 상태에 두도록 상기 튜닝 노브들의 조정을 인에이블하고 상기 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지의 불연속을 인에이블하는 한계 내에 있을 때를 식별하기 위해 상기 다변수 프로세싱을 실행함으로써 상기 제어기에 의해 모니터링되는, 상기 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 22

제 15 항에 있어서,

상기 시스템은 하나 이상의 동작준비된 페이지들에서 실행되도록 구성되고, 일 동작준비된 페이지는,

산출 기관들을 사용하는 산출 페이지 동안, 상기 제어기는 상기 현재 프로세싱 상태 값들이 상기 플라즈마 프로세스에서의 드리프트를 보상하기 위한 상기 튜닝 노브들의 조정을 인에이블하는 한계 내에 있을 때를 식별하도록 상기 다변수 프로세싱을 실행하는, 상기 산출 페이지를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 드리프트에 대한 보상은 상기 산출 페이지 동안 복수 회 발생하고, 상기 튜닝 노브들의 상기 조정들은 상기 프로세싱 환경을 상기 복수의 센서들에 의해 측정된 바와 같은 상기 목표된 프로세싱 상태 값들에 보다 가깝게 이동시키도록 계산되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 24

플라즈마 프로세스의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템에 있어서,

플라즈마 리액터의 동작 조건들에 대한 설정들을 하기 위한 복수의 튜닝 노브들을 갖는 상기 플라즈마 리액터;

상기 플라즈마 리액터의 복수의 센서들로서, 상기 복수의 센서들 각각은 상기 플라즈마 프로세스를 수행하기 위한 상기 플라즈마 리액터의 동작 동안 정보의 데이터 스트림을 생성하도록 구성되는, 상기 플라즈마 리액터의 복수의 센서들; 및

상기 플라즈마 리액터의 제어기를 포함하고,

상기 제어기는 상기 플라즈마 리액터의 프로세싱 환경 내에서 의도된 측정가능한 조건들을 규정하고 현재 플라즈마 프로세싱 값들을 식별하는 목표된 프로세싱 상태 값들을 입력으로서 사용하도록 구성된 다변수 프로세싱을 실행하도록 구성되고, 상기 다변수 프로세싱은 상기 목표된 프로세싱 상태 값들, 상기 플라즈마 프로세스의 프로세싱 동안 상기 복수의 센서들로부터의 데이터 스트림들, 및 튜닝 노브들의 보상에 대한 센서 신호들에 관한 감도 데이터를 입력들로서 취하는 머신 러닝 엔진을 사용하고, 상기 머신 러닝 엔진은 보상 벡터를 생성하기 위해 사용된 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하도록 구성되고,

상기 보상 벡터는 상기 목표된 프로세스 상태 값들과 상기 현재 프로세싱 상태 값들 간 차들을 식별하는, 플라

즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 프로세싱 환경 내에서 측정된 조건들의 측면에서 표현된 상기 보상 벡터를 상기 플라즈마 리액터의 특정한 하나 이상의 상기 튜닝 노브들의 변화들로 변환하는 보상 프로세싱 동작을 실행하도록 더 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 리액터의 상기 프로세싱 환경의 상기 측정가능한 조건들의 변화들을 유발하기 위해 상기 플라즈마 리액터의 상기 하나 이상의 튜닝 노브들에 변화들을 인스트럭팅하도록 더 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 27

제 24 항에 있어서,

상기 머신 러닝 엔진은 예칭 레이트 측정치들 또는 모니터 웨이퍼 측정치들 중 하나 또는 모두에 관한 측정된 기관 퍼포먼스 데이터를 주기적으로 수신하도록 구성되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

계측 툴이 상기 플라즈마 리액터에 의해 프로세싱된 하나 이상의 기관들로부터 상기 측정된 기관 퍼포먼스 데이터를 측정하도록 사용되는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 29

제 24 항에 있어서,

상기 시스템은 하나 이상의 동작준비된 페이즈들에서 실행되도록 구성되고, 일 동작준비된 페이즈는,

비-산출 기관들을 사용하는 플라즈마 리액터 시즈닝 페이즈 동안, 상기 플라즈마 리액터 시즈닝 페이즈는 상기 현재 프로세싱 상태 값들이 상기 플라즈마 리액터를 산출 기관들을 프로세싱할 준비가 된 상태에 두도록 상기 튜닝 노브들의 조정을 인에이블하고 상기 플라즈마 리액터 시즈닝 페이즈의 불연속을 인에이블하는 한계 내에 있을 때를 식별하기 위해 상기 다변수 프로세싱을 실행함으로써 상기 제어기에 의해 모니터링되는, 상기 플라즈마 리액터 시즈닝 페이즈를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

청구항 30

제 24 항에 있어서,

상기 시스템은 하나 이상의 동작준비된 페이즈들에서 실행되도록 구성되고, 일 동작준비된 페이즈는,

산출 기관들을 사용하는 산출 페이즈 동안, 상기 제어기는 상기 현재 프로세싱 상태 값들이 상기 플라즈마 프로세스에서의 드리프트를 보상하기 위한 상기 튜닝 노브들의 조정을 인에이블하는 한계 내에 있을 때를 식별하도록 상기 다변수 프로세싱을 실행하는, 상기 산출 페이즈를 포함하는, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템.

발명의 설명

기술 분야

본 실시예들은 플라즈마 리액터에서 프로세싱 동안 목표되는 프로세싱 상태들을 특징화하고 현재 프로세싱 상태가 목표된 프로세싱 상태와 가장 잘 매칭하도록 프로세싱 파라미터들에 대한 조정들을 하기 위해 플라즈마 프로

[0001]

세싱 동안 수집된 데이터 스트림들을 사용하는 방법들 및 컴퓨터 구현된 프로세스들에 관한 것이다. 일부 구현 예들에서, 이루어진 조정들은 물리적 설정들, 예를 들어, 플라즈마 리액터의 파라미터 설정들을 제어하고, 이러한 설정들이 공지된 목표된 프로세싱 상태를 향해 프로세싱을 시프팅하도록 구성되는 노브들에 대한 조정들이다. 게다가, 다양한 개시된 실시예들에서, 본 개시는 플라즈마 리액터의 센서들로부터 수집된 데이터 스트림들의 프로세싱을 최적화하고, 머신 러닝 알고리즘들에 기초하여 조정들을 이루기 위해 데이터 스트림들을 프로세싱하는 방식들에 관해 제공된다.

배경 기술

[0002] 플라즈마는 전자 제품들 (예를 들어, 집적 회로들 또는 플랫 패널 디스플레이들) 을 형성하기 위해 기판들 (예를 들어, 웨이퍼들 또는 플랫 패널들) 을 프로세싱하기 위해 오랫동안 채용되었다. 반도체 웨이퍼들은 통상적으로 아래에 놓인 재료들의 에칭을 유도하는 마스크 층과 함께 에칭 챔버 내에 배치된다. 에칭 프로세스들은 마스크에 의해 커버되지 않은 아래에 있는 재료들을 제거한다. 챔버 내부에서 생성된 휘발성 플라즈마 조건들로 인해, 에칭 프로세스는 또한 플라즈마 챔버 내 부품의 표면들로부터 재료를 제거할 수도 있다. 시간에 따라, 프로세싱 챔버 내부의 부품은 결과적으로 마모될 것이고, 에칭 퍼포먼스를 변경하고 그리고/또는 프로세스 드리프트를 유발할 수도 있는, 미립자 물질 및/또는 에칭 잔여물들이 축적될 것이다. 이러한 이유로, 소모품을 대체할 필요성에 더하여, 습식 세정 동작들 (즉, 내부 표면들의 및/또는 챔버의 부품의) 을 주기적으로 수행할 필요가 또한 있다.

[0003] 습식 세정 후, 챔버가 웨이퍼 산출 (production) 프로세싱을 진행하게 되기 전에 챔버는 다양한 단계들/프로세스들을 통해 재컨디셔닝되어야 한다 (즉, 습식 세정 복구를 위해 프로세싱되어야 한다). 이 프로세스는 때때로 챔버 "시즈닝 (seasoning)" 으로 참조된다. 시즈닝은 정상 상태 (steady state) 를 모방하는 표면 조건들을 생성하려고 시도한다. 정상 상태가 달성되면, 용액은 불안정해지는 경향이 있다, 즉, 프로세스마다 (from process to process) 또는 챔버마다 (from chamber to chamber) 항상 보편적인 것은 아니다. 시즈닝 자체가 총 톨 활용의 상당한 부분 (fraction) 일 수 있는, 예를 들어, 프로세스가 150 내지 250 시간 동안만 실행되는 동안 15 내지 70 시간 동안 시즈닝하는 것이 보통 훨씬 더 나쁘다. 명백하게, 낭비된 에너지 소비, 웨이퍼들을 시즈닝하는 비용, 및 소모품들을 시즈닝하기만 하면 마모되기 때문에 소모품들의 고 비용은 말할 것도 없이, 생산성 문제이다. 게다가, 챔버가 습식 세정으로부터 복구되는 동안, 산출 웨이퍼들의 제조가 중단된다.

[0004] 공지된 바와 같이, 에칭 리액터 및 증착 리액터는 올바른 웨이퍼 프로세싱 조건을 제어하기 위해 복수의 변수들을 갖는 매우 복잡한 장비이다. 최신 반도체 프로세싱에서, 시스템들은 자명한 (trivial) 물리 공식들을 사용하여 상이한 물리적/화학적 프로세스들을 설명하기에 자명하지 않아 매우 복잡하게 성장하였다. 이러한 복잡성으로 인해, 모든 가스/압력/전력/주파수 입력들을 사용하여 완전한 형태의 현재 에칭 프로세스/증착 프로세스를 모델링하는 것은 어렵다. 이러한 모델링 (및 연장 예측에 의한) 의 어려움은 예측가능한 과학 대신 당업자 (이 경우 엔지니어) 의 경험 수준 및 분위기에 크게 종속되는 기술로 플라즈마 프로세싱을 축소한다.

[0005] 이러한 맥락에서 실시예들이 발생한다.

발명의 내용

[0006] 산출 기판들 (production substrates) 의 프로세싱을 개시하기 위해 그리고/또는 후속하는 산출 웨이퍼 프로세싱을 위해 리액터가 세정된 후 그리고 시즈닝되어야 할 리액터의 준비 상태를 결정하기 위한 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태를 제어하는 방법들 및 시스템들이 개시된다. 이 방법은 목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된 (approximated) 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들 (tuning knobs) 에 대한 설정들을 사용하여 플라즈마 리액터 내에서 기판의 프로세싱을 개시한다. 기판의 프로세싱 동안 복수의 데이터 스트림들이 플라즈마 리액터로부터 수신된다. 복수의 데이터 스트림들은 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하도록 사용된다. 이 방법은 현재 프로세싱 상태 값들과 목표된 프로세싱 상태 값들 사이의 차들을 식별하는 보상 벡터를 생성하는 단계를 포함한다. 보상 벡터의 생성은 보상 벡터에서 식별될 때, 보상의 ID (identification) 및 필요한 보상량을 개선하고 개량하기 (refine) 위해 머신 러닝을 사용한다. 이 방법은 튜닝 노브들에 대한 설정들에 대한 조정들로 보상 벡터를 변환하는 단계 및 이어서 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들에 조정을 적용하는 단계를 더 포함한다.

[0007] 일부 실시예들에서, 방법은 목표된 프로세싱 상태 값들을 향해 현재 프로세싱 상태 값들이 이동하는 것을 보조하기 위해 튜닝 노브들의 설정들에 대한 조정들을 생성하도록 기판의 프로세싱 동안 플라즈마 리액터로부터 복

수의 데이터 스트림들을 수신하는 것을 계속하는 단계를 더 포함한다.

- [0008] 일부 실시예들에서, 목표된 프로세싱 상태 및 현재 프로세싱 상태는 센서들에 의해 플라즈마 리액터의 프로세싱 볼륨 내에서 센싱된 플라즈마 조건들의 물리적 상태를 기술하는 가상 공간에서 규정된다. 예로서, 다른 것들로 한정되지 않고, 플라즈마 조건들은 특정한 리액터 벽 표면 컨디셔닝을 위해 기관의 평면에서 검출된 이온, 전자 및 중성 플럭스들의 세트일 수 있다.
- [0009] 일부 실시예들에서, 보상 벡터는 가상 공간 내에서 목표된 프로세싱 상태 값들과 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 차들을 식별한다. 그리고, 보상 벡터의 변환은 노브들에 대한 설정들에 대한 조정들을 식별된 물리적 조정을 갖는 식별된 물리적 노브들의 세트로서 식별한다. 일 실시예에서, 플라즈마 리액터의 제어기가 노브들에 대한 설정들의 조정들을 유발하는 프로그램 인스트럭션들을 프로세싱하도록 구성된다.
- [0010] 일부 실시예들에서, 다변수 (multivariate) 프로세스가 현재 프로세싱 상태 값들과 목표된 프로세싱 상태 값들 간의 차들을 식별하도록 구성된다. 다변수 프로세스는 기관의 프로세싱의 에칭 레이트 퍼포먼스 또는 모니터 웨이퍼 퍼포먼스 중 하나 또는 모두로부터 수신된 검증 피드백에 적어도 부분적으로 기초하여 조정된 목표된 프로세싱 상태 값들을 생성하기 위해 목표된 프로세싱 상태 값들에 대한 조정들을 하도록 머신 러닝을 프로세싱하는 단계를 포함한다.
- [0011] 일부 실시예들에서, 기관의 프로세싱은 특정한 플라즈마 리액터 및 특정한 프로세스 레시피에 대해 식별되고, 특정한 프로세스 레시피 각각 및 특정한 플라즈마 리액터 각각은 튜닝 노브들에 대한 설정들 및 목표된 프로세싱 상태 값들을 포함하는 연관된 모델을 갖는다. 일 구성에서, 모델은 모델 데이터베이스로부터 액세스된다.
- [0012] 일부 실시예들에서, 모델 데이터베이스로부터의 모델이 사용될 때, 머신 러닝 프로세스는 목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 특정한 플라즈마 리액터에 대한 설정들을 개선하기 위해 모델의 튜닝 노브들에 대한 설정들에 대한 조정들을 한다. 이는 모델 데이터베이스의 모델들로 하여금 시간이 흐름에 따라 개량되고 개선되게 한다.
- [0013] 일부 실시예들에서, 방법은 머신 러닝에 의해 이루어진 조정들에 기초하여 모델 데이터베이스의 모델들을 업데이트하는 단계를 포함한다.
- [0014] 일부 실시예들에서, 머신 러닝은, 생성된 보상 벡터가 감도 (sensitivity) 데이터에 기초하여 완화된 조정들을 포함하도록, 플라즈마 리액터의 센서들에 대해 감도 데이터를 입력으로서 사용한다.
- [0015] 또 다른 실시예에서, 리액터의 플라즈마 프로세스의 프로세싱 상태를 제어하기 위한 시스템이 개시된다. 플라즈마 리액터는 플라즈마 리액터의 동작 조건들에 대한 설정들을 하기 위한 복수의 튜닝 노브들을 갖는다. 플라즈마 리액터의 복수의 센서들이 포함되고, 복수의 센서들 각각은 플라즈마 프로세스를 수행하기 위한 플라즈마 리액터의 동작 동안 정보의 데이터 스트림을 생성하도록 구성된다. 플라즈마 리액터의 제어기는 플라즈마 리액터의 프로세싱 환경 내에서 의도된 측정가능한 조건들을 규정하고 현재 플라즈마 프로세싱 값들을 식별하는 목표된 프로세싱 상태 값들을 입력으로서 사용하도록 구성된 다변수 프로세싱을 실행하도록 구성된다. 다변수 프로세싱은, 목표된 프로세싱 상태 값들을 수신하고, 플라즈마 프로세스의 프로세싱 동안 복수의 센서들로부터의 데이터 스트림들을 수신하고, 튜닝 노브들의 보상을 위한 센서 신호들에 관한 감도 데이터를 수신하고, 그리고 플라즈마 리액터의 복수의 센서들에 의해 생성된 데이터 스트림들의 측면에서 프로세싱 환경 내 플라즈마 다이내믹스 (dynamics) 를 규정하는 현상학적 모델의 사용을 위한 리액터 벽 표면 다이내믹스를 수신하는 머신 러닝 엔진을 사용한다.
- [0016] 머신 러닝 엔진은 보상 벡터를 생성하기 위해 사용된 현재 프로세싱 상태 값들을 식별하도록 구성된다. 보상 벡터는 목표된 프로세스 상태 값들과 현재 프로세싱 상태 값들 간 차들을 규정한다. 제어기는 프로세싱 환경 내에서 측정된 조건들의 측면에서 표현된 보상 벡터를 플라즈마 리액터의 특정한 하나 이상의 튜닝 노브들의 변화들로 변환하는 보상 프로세싱 단계를 실행하도록 더 구성된다. 제어기는 리액터의 프로세싱 환경의 측정가능한 조건들의 변화들을 유발하기 위해 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들에 관련한 변화들을 인스트럭팅 (instruct) 하도록 구성된다.
- [0017] 일부 실시예들에서, 머신 러닝 엔진은 에칭 레이트 측정치들 또는 모니터 웨이퍼 측정치들 중 하나 또는 모두에 관한 측정된 기관 퍼포먼스 데이터를 주기적으로 수신하도록 구성된다. 측정된 기관 퍼포먼스 데이터는 목표된 프로세싱 상태 값들에 대한 조정들을 하도록 사용되고, 이는 결국 보상 벡터 및 하나 이상의 튜닝 노브들에 대

해 발생하는 변화들에 대한 조정들을 유발한다.

- [0018] 일부 실시예들에서, 머신 러닝 엔진은 예칭 레이트 측정치들 또는 모니터 웨이퍼 측정치들 중 하나 또는 모두로부터 획득된 실제 데이터를 사용하여 현재 프로세싱 상태 값들의 검증을 수행하도록 구성된다.
- [0019] 일부 실시예들에서, 시스템은 비-산출 기관들을 사용하는 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지를 실행한다. 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지는 현재 프로세싱 상태 값들이 플라즈마 리액터를 산출 기관들을 프로세싱할 준비가 된 상태에 두도록 튜닝 노브들의 조정을 인에이블하고 플라즈마 리액터 시즈닝 페이지의 불연속을 인에이블하는 경계 내에 있을 때를 식별하기 위해 다변수 프로세싱을 실행함으로써 제어기에 의해 모니터링된다.
- [0020] 일부 실시예들에서, 시스템은 산출 기관들을 사용하는 산출 페이지를 실행한다. 제어기는 현재 프로세싱 상태 값들이 플라즈마 프로세스에서의 드리프트를 보상하기 위한 튜닝 노브들의 조정을 인에이블하는 경계 내에 있을 때를 식별하도록 다변수 프로세싱을 실행한다. 드리프트에 대한 보상은 페이지 동안 복수 회 발생하고, 튜닝 노브들의 조정들은 프로세싱 환경을 복수의 센서들에 의해 측정된 바와 같은 목표된 프로세싱 상태 값들에 보다 가깝게 이동시키기 위해 계산된다.
- [0021] 다른 양태들은 첨부된 도면들과 함께 취해진, 이하의 상세한 기술로부터 자명해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 실시예들은 첨부된 도면들과 함께 취해진 이하의 기술을 참조하여 가장 잘 이해될 수도 있다.
- 도 1은 기관들을 프로세싱하기 위해 제어기와 함께 사용될 수도 있는 예시적인 플라즈마 리액터를 예시한다.
- 도 2는 일 실시예에 따른, 리액터의 프로세싱 동안 튜닝 노브들로의 동적 피드백을 모니터링하고 제공하도록 다변수 프로세싱을 활용하기 위한 일반적인 프레임워크를 예시한다.
- 도 3은 일 실시예에 따른, 리액터들에서 기관들의 프로세싱을 예시하기 위해 사용된 모델들을 생성하고 업데이트하는 예를 예시한다.
- 도 4는 일 실시예에 따른, 제어기가 기관을 프로세싱하기 위한 최초 모델을 식별하도록 사용되는, 시스템의 도면을 예시한다.
- 도 5는 튜닝 노브들에 대한 조정들을 하기 위해 다변수 프로세서를 사용하는 일반적인 예를 예시한다.
- 도 6는 센서들로부터의 데이터 스트림들이 다변수 프로세서에 제공되는 예시적인 플로우를 예시한다.
- 도 7a는 일 실시예에 따른, 다변수 프로세싱을 동작하는 것과 연관된 데이터 플로우를 나타내기 위해 사용된 흐름도를 예시한다.
- 도 7b는 일 실시예에 따른, 프로세싱 상태를 유지하기 위한 머신 러닝의 예시적인 구현예를 예시한다.
- 도 8은 일 실시예에 따른, 예시적인 프로세스 동작을 예시한다.
- 도 9는 일 실시예에 따른, 검증 동작들 및 드리프트 제어 동작들을 위해 수행될 수 있는 방법 동작들의 예를 예시한다.
- 도 10은 일 실시예에 따른, 리액터 시즈닝 동작 후에 리액터를 꺼내는 동작의 예를 예시한다.
- 도 11은 리액터가 세정되거나 동작 중으로 유지될 수도 있는, 또 다른 실시예를 예시한다.
- 도 12는 실시예들을 구현하기 위한 컴퓨터 시스템의 단순화된 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하의 실시예들은 플라즈마 프로세싱 시스템들, 구체적으로 반도체기관들, 예를 들어, 웨이퍼들을 프로세싱하기 위해 사용된 플라즈마 프로세싱 툴들을 모니터링하기 위한 방법들, 디바이스들, 시스템들 및 컴퓨터 프로그램들을 기술한다.
- [0024] 일 실시예에서, 방법들 및 시스템들은, 시간이 흐름에 따라 플라즈마 리액터가 예를 들어, 표면들 및 챔버 벽들의 입자 및/또는 재료 빌드업 (buildup), 및 플라즈마 노출된 챔버 소모품들의 소모 또는 마모로 인한 물리적 변화들을 경험하기 때문에, 목표된 프로세싱 퍼포먼스를 달성하고 이 퍼포먼스를 유지하기 위해 프로세싱 동안 튜닝 플라즈마 리액터들의 복잡성을 해결하도록 제공된다. 또한, 챔버들이 시즈닝 프로세스들의 완료를 확인하

는 특성들을 나타낼 때의 식별을 인에이블하기 위해, 후-세정 동작들, 예를 들어, 습식 세정들 동안 챔버 조건들을 모니터링하는 것을 인에이블하기 위한 방법들 및 시스템들에 대한 수요가 있다.

[0025] 일 실시예에서, 이러한 프로세싱 상태의 모니터링, 시즈닝 프로세스들이 완료된 때를 식별, 및 산출 프로세싱 동안 프로세스 드리프트에 대한 조정과 연관된 복잡성은 데이터 분석의 구현에 의해 극복된다. 데이터 분석은 플라즈마 리액터 내에 존재하는 상이한 센서들 (또는 통합된 새로운 센서들)로부터의 데이터 스트림들을 사용한다. 이어서 데이터는 플라즈마 리액터의 프로세싱 환경에 관한 실질적으로 실시간 정보를 제공하기 위해 분석된다. 이 정보를 통해, 이상적인 거동으로부터 편차들을 규정하고 이후에 편차를 보정하기 위해 플라즈마 리액터의 튜닝 노브들에 적용될 수 있는 보상 값들의 세트를 도출하는 것이 가능하다.

[0026] 일 실시예에서, 플라즈마 프로세스 타입 및 플라즈마 리액터 타입에 대한 목표된 프로세싱 상태들에 대해 현재 프로세싱 상태들을 비교하는 것에 부가하여, 머신 러닝 엔진은 과거 프로세싱으로부터 학습하도록 구성되고, 이는 목표된 프로세싱 상태 값들에 대한 조정들 및 개량들을 생성한다. 일 실시예에서, 머신 러닝 엔진은 시간이 흐름에 따라 개량되고, 목표된 프로세싱 상태 값들뿐만 아니라 보상 변수들 및 이의 크기를 학습 및 보정할 수 있는 수학적 모델을 동작시키고, 물리적 변수들로 변환시 플라즈마 리액터의 물리적 제어들, 값들, 설정들에 대한 튜닝 노브들로서 사용될 수 있다.

[0027] 일 실시예에서, 개시된 실시예들의 양태들은 프로세스 엔지니어가 플라즈마의 프로세싱 상태가 산출 웨이퍼가 플라즈마 리액터 내로 도입될 때가 되기를 원한다는 것을 규정한다. 일반적으로 말하면, 프로세싱 상태는, 측정가능한 조건들이 플라즈마 리액터의 프로세싱 환경 내에 있는, 목표된 프로세싱 상태이다. 이 조건들은, 예를 들어, 프로세싱 동안, 데이터 스트림들을 생성하는 플라즈마 리액터의 복수의 센서들에 의해 측정된다. 데이터 스트림 각각은, 예를 들어, 시간에 따른 특정한 조건에 대해 판독된 값들을 제공할 수 있고, 이 값들의 변화들은 상기 조건의 변화들을 나타낸다.

[0028] 일 실시예에서, 리액터의 목표된 프로세싱 상태 값들은 웨이퍼가 도입될 때 플라즈마 리액터에 대한 목표된 동작 상태를 규정한다. 예를 들어, 플라즈마 리액터가 방금 습식 세정을 겪었다면, 플라즈마 리액터는 플라즈마 리액터가 목표된 프로세싱 상태에 도달할 때까지, 또는 일 실시예에서, 플라즈마 리액터 튜닝 노브들이 현재 프로세싱 상태로부터 목표된 프로세싱 상태로 시프팅하도록 조정될 때 시즈닝 웨이퍼들이 프로세싱되는 시즈닝 페이즈를 통과한다. 일 실시예에서, 프로세싱 상태는 미리 결정된 벽 경계 조건들을 갖는 웨이퍼 평면에서 이온들, 라디칼들, 전자들 및 중성 플럭스들 중 하나 또는 이들의 조합으로 규정된다. 일 실시예에서, 이들 조건들은 플라즈마 리액터의 센서들에 의해 검출된다.

[0029] 프로세싱 상태는 공간적 변수로 규정될 수 있지만, 일 실시예에서 플라즈마 리액터 내 임의의 지점에서 규정될 수 있다. (예를 들어, 프로세스 검증 동안) 이 임의의 지점에서의 프로세싱 상태를 웨이퍼-상 (on-wafer) 결과들에 대해 상관시키는 것은 플라즈마 리액터 내부의 프로세싱 상태의 공간적 의존성을 다뤄야 할 필요성을 제거한다. 예로서, 프로세싱 상태의 공간적 변동은 리액터 내부에서 상이한 공간적 위치들로부터의 센서 데이터를 처리할 수 있다. (프로세스가 에칭 플라즈마 프로세스라면) 리액터의 "에칭 상태"에 대한 정보는 리액터의 센서들로부터의 데이터 스트림들에 포함된다고 여겨진다. 임의의 특정한 데이터 스트림이 모든 정보를 가지지 않을 수도 있지만, 상이한 데이터 스트림들의 수학적 조합이 플라즈마 리액터의 "프로세싱 상태"를 식별할 수 있다.

[0030] 이는 플라즈마 리액터로부터 출력된 센서의 수학적 모델의 측면에서 규정된 "프로세싱 상태"를 식별하는 유일한 (unique) 방법이다. 일 실시예에서, 리액터의 "프로세싱 상태"는 수학적 프레임워크로 기술될 수 있어서, 센서들을 갖는 임의의 리액터에 적용하여 리액터의 기본적인 특징들을 특성화한다.

[0031] 일단 플라즈마 리액터의 "프로세싱 상태"가 리액터의 센서 출력들의 측면에서 규정되면, 리액터는 에칭 상태를 실시간으로 연속적으로 모니터링하고, 목표된 "프로세싱 상태"를 갖는 리액터와 비교하는 것이 가능하다. 현재와 목표된 "프로세싱 상태" 간의 비교는 적합한 수학적 변환을 통해 리액터 레벨 변수들 (즉, 노브 ID 및 상기 노브로의 변화량)로 변환될 수 있는 "보상 벡터"를 생성할 것이다. 이 예에서, 리액터 레벨 변수들은 따라서 플라즈마 리액터에 대한 튜닝 노브들, 예를 들어, 가스 플로우들, 압력, 온도, 등이다. 보상 벡터들을 통해, 리액터에 대한 튜닝 노브들은 플라즈마 리액터의 목표된 "프로세싱 상태"에 대한 값들을 달성하도록 보상될 수 있다.

[0032] 일 실시예에서, 리액터로부터의 데이터 스트림들은 완전히 새로운 관점에서 사용되어, 머신 러닝의 사용을 통한 챔버 제어의 목적에 유용하게 된다. 이하의 도 1 내지 도 12는 플라즈마 리액터들의 맥락에서 머신 러닝을 인

에이블하기 위해 정보가 흐를 수도 있는 방법의 예들을 제공할 것이다. 일반적으로 말하면, 머신 러닝은 습식 세정 동작들 후에 플라즈마 리액터들을 셋-업하기 위해 효과적인 프로세스 캘리브레이션 (calibration) 을 인에이블할 것이고, 플라즈마 리액터가 시즈닝 동작을 완료하였을 때의 효과적인 식별, 및 산출 웨이퍼 프로세싱 동안 프로세스 드리프트를 보정하기 위한 머신 러닝의 동적 사용을 인에이블할 것이다.

[0033] 본 실시예들은 이들 특정한 상세들 중 일부 또는 전부가 없이 실시될 수도 있다는 것이 자명할 것이다. 다른 예들에서, 공지의 프로세스 동작들은 본 실시예들을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 상세히 기술되지 않았다.

[0034] 도 1은 기관들 (102) 을 프로세싱하기 위해 제어기 (120) 와 함께 사용될 수도 있는 예시적인 플라즈마 리액터 (100) 를 예시한다. 기관들은, 예를 들어, 반도체웨이퍼들, 플랫 패널 디스플레이들, 또는 플라즈마 프로세스를 사용하여 프로세싱될 수 있거나 될 수도 있는 임의의 다른 타입의 기관일 수도 있다. 제어기 (120) 는 목표된 프로세싱 상태에 기초하여 리액터 (100) 의 프로세싱 상태를 동적으로 조정하기 위해 머신 러닝을 구현하는, 다변수 프로세싱 (130) 을 실행하도록 구성된다. 플라즈마 리액터 (100) 는 제어기 (120) 또는 제어기 (120) 와 인터페이스되는 프로세싱 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는, 다변수 프로세싱 (130) 으로부터 이익을 취할 수 있는 유일한 타입의 리액터라는 것이 이해되어야 한다.

[0035] 도시된 바와 같이, 플라즈마 리액터 (100) 는 하단 전극 (104) 에 전력공급하기 위해 RF (radio frequency) 소스 (112) 를 사용하는, CCP (capacitively coupled plasma) 에칭 챔버이다. 상단 전극 (106) 은 접지에 커플링되고, 한정 링들 (confinement rings) (108) 은 기관 (102) 의 표면 위 프로세싱 영역에서 플라즈마 (120) 를 유지하도록 사용된다. 이 챔버는 또한 챔버 벽 표면들에 플라즈마 미립자 빌드업을 방지하고, 효과적인 세정을 허용하는, 라이너 (110) 를 포함한다. 포커스 링 (106) 이 기관 (102) 과 하단 전극 (104) 을 둘러싸는 것이 도시된다. 소스 가스들 (116) 은, 일 실시예에서, 상단 전극 (106) 내에 배치되거나 인접한 샤워헤드를 통해 플라즈마 리액터 (100) 내로 전달된다. 하나 이상의 펌프들 (114) 이 동작 동안 프로세싱 가스들, 플라즈마 리액터 (100) 내 압력을 조정하도록 사용된다.

[0036] 따라서 CCP 에칭 챔버는 목표된 프로세싱 상태들이 달성되고 그리고/또는 유지되도록 튜닝 노브들의 효과적인 보상을 달성하기 위해 다변수 프로세싱 (130) 을 활용하는 것으로부터 이익을 취할 수 있는 플라즈마 리액터 (100) 의 일 예일 뿐이다. 제한 없이, 다른 타입들의 플라즈마 챔버들은 상이한 타입들의 증착 프로세스들을 활용하는 증착 챔버들, ICP (inductively coupled plasma) 에칭 챔버들과 같은 다른 타입들의 에칭 챔버들, 등을 포함할 수 있다. 이들 챔버들 중 임의의 챔버들은 플라즈마 리액터 (100) 의 시스템 제어들 (124) 을 조정하기 위해, 제어기 (120) 또는 컴퓨터에 의해 제어될 수도 있다. 일 실시예에서, 시스템 제어들 (124) 은 하나 이상의 튜닝 노브들 (134) 에 제공된 제어들을 나타낸다. 플라즈마 리액터 (100) 는 또한 복수의 센서들 (132) 과 연관될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 센서들은 플라즈마 리액터 (100) 의 구조에 따라 가변하고, 또는 부가적인 센서들이 프로세싱 동안 플라즈마 (120) 로부터 특정한 타입들의 데이터를 캡처하기 위해 플라즈마 리액터 (100) 에 부가될 수도 있다.

[0037] 도시된 바와 같이, 센서들 (132) 은 OES (optical emission spectrometry) 센서, 압력 센서, 전압 센서, 전류 센서, 온도 센서, 플로우 레이트 센서, 주파수 센서, 전력 센서, 계측 센서, 및 이들의 2 이상의 조합들 중 하나 이상을 포함할 수도 있다. 예로서, 이하의 표 1은 플라즈마 리액터의 다양한 센서들로부터 획득될 수 있는 예시적인 정보를 예시한다.

표 1

데이터 스트림	포함하는 정보
OES	플라즈마 중 플라즈마 밀도 가스 온도 가스 밀도
압력	가스 밀도 가스 온도
VAT 밸브	위치 변화는 수 밀도 변화 (Number density change) 를 나타낸다 가스 온도
한정 링 위치	위치 변화는 수 밀도 변화를 나타낸다 가스 온도

커패시터 위치 매칭	플라즈마 임피던스 변화 플라즈마 화학적 성질 변화를 압시하도록 OES와 상관될 수 있다
임피던스 크기/페이즈	- 챔버 상태에 대한 정보를 포함한다
S.P를 유지하기 위한 히터 듀티 사이클	가스 열 또는 밀도 변화 OES 또는 전기적 신호들과 상관될 수 있다
고정된 전압을 유지하기 위해 필요한 전력	플라즈마 밀도의 변화
순방향 전력 및 반사된 전력	증착된 전력의 손실시프팅을 나타내기 위해 OES 및 전기적 신호들과 상관될 수 있다
주파수의 고조파 (Harmonics)	플라즈마 상태에서 시프팅의 지표

[0039] 상이한 타입들의 플라즈마 리액터들은 상이한 타입들의 센서들을 가질 것이고, 단지 예로서만 제공되는, 본 명세서에 열거된 센서들 이외의 부가적인 센서들을 부가하는 것이 가능하다는 것을 주의해야 한다. 게다가, 이 정보는 절대 값들을 다룰 필요가 없다는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 상기 머신 러닝을 사용하는 다변수 프로세싱의 변화량에 관심이 있다. 결과적으로, 작은 진폭 변화들조차 통계적으로 평가될 수도 있다.

[0040] 플라즈마 리액터의 타입에 따라 부가적으로 가변될 수 있는, 예시적인 튜닝 노브들 (134) 이 또한 도시된다. 예시적인 타입들의 튜닝 노브들은 가스 플로우 미터들 (예를 들어, MFC들) 을 조정하기 위한 제어들, 전력 설정들을 조정하기 위한 제어들, 온도 설정들을 조정하기 위한 제어들, 플라즈마 리액터의 상단 전극과 하단 전극 사이의 물리적 갭 분리들을 조정하기 위한 제어들, ESC (electrostatic chuck) 온도 또는 동작을 조정하기 위한 제어들, 바이어스 전력 설정들을 조정하기 위한 제어들, 챔버 압력들을 설정하기 위한 제어들, 하나 이상의 무선 주파수 생성기들의 주파수들을 설정하기 위한 제어들, 특정한 레시피 동작들의 런타임을 설정하기 위한 제어들, 진공의 펌핑 레이트들을 설정하기 위한 제어들, 가스 플로우들의 지속기간을 설정하기 위한 제어들, 레시피에서 가스 분압 (partial pressure) 에 대한 제어들, 모니터링 알고리즘들을 설정하기 위한 제어들, 보스코프 검사들 (borescope inspections) 을 트리거링하는 제어들, 세정 동작들 사이의 인터벌들을 설정 또는 결정하기 위한 제어들, 또는 2 이상의 이들의 조합들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 주지된 바와 같이, 상이한 타입들의 플라즈마 리액터들은 상이한 타입들의 튜닝 노브들을 가질 것이고, 본 명세서에 열거된 튜닝 노브들 이외의 부가적인 튜닝 노브들을 부가하는 것이 가능하다.

[0041] 일 실시예에서, 제어기 (120) 는 플라즈마 리액터 (100) 를 산출 서비스에 두기 위해 다변수 프로세싱 (130) 을 실행할 수도 있다. 이 동작은 챔버가 대기에 개방되고 완전히 세정되고 그리고/또는 부품이 제거되는, 챔버 세정 동작 후에 요구될 수도 있다. 때때로, 이 타입의 세정은 플라즈마 리액터가 개방되고 다양한 타입들의 세정 그리고 또는 컨디셔닝 동작들을 겪기 때문에, 습식 세정으로 참조된다. 서비스 동안 챔버를 주기적으로 세정하기 위한 요건은, 이 본질에 의해 플라즈마 프로세싱이 리액터의 내부 영역들의 표면들에 부착될 수도 있는 미립자들 및 부산물들을 생성할 것이고, 표면들은 과도한 프로세스 드리프트를 방지할 노력으로 세정되어야 하기 때문에 필요하게 된다.

[0042] 과도한 프로세스 드리프트가 발생한다면, 에칭 동작 (또는 증착 동작) 의 퍼포먼스는 가변할 것이고, 특정한 프로세스에 요구되는 동일한 결과들을 생성하지 않을 수도 있다. 드리프트가 변화되기 전에, 프로세스는 용인가능하지 않은 레벨을 발생시키고, 챔버들은 통상적으로 프로그램적으로 섯다운되고 습식 세정을 겪게 된다. 습식 세정이 수행된 후, 챔버는 시즈닝 동작을 겪어야 한다. 시즈닝 동작은 산출 웨이퍼들을 사용하여 수행되는 타입의 프로세스를 근사화하도록 구성되는 기관들을 활용한다. 시즈닝 동작 동안, 에칭 프로세스들 (또는 증착 프로세스들) 이 수행되고, 바로 이 프로세스가 미립자들 및 재료들로 하여금 프로세스 챔버 내 표면들에 부착되게 할 것이다.

[0043] 본 명세서에 기술된 다변수 프로세싱 (130) 을 활용하지 않고, 통상적인 프로세싱은 단순히 몇 시간 동안 시즈닝 동작들을 실행하기 위한 오퍼레이터들을 필요로 한다. 챔버가 적절하게 시즈닝될 때를 정확하게 결정하는 것이 가능하지 않기 때문에, 일반적인 실행은 단순히 아마도 필요한 것보다 긴 시간 동안 시즈닝 동작을 실행하였다. 물론, 이는 플라즈마 리액터를 산출 웨이퍼들을 프로세싱하는데 이용가능하게 하여 상당한 지연을 도입한다. 일 실시예에 따른, 다변수 프로세싱 (130) 은 플라즈마 리액터의 센서들에 의해 캡처된 데이터 스트림들로부터 검출된 목표된 프로세싱 상태 값들을 비교하기 위해 머신 러닝을 활용하고, 현재 프로세싱 상태 값들이 목표된 프로세싱 상태 값들과 매칭하거나 매우 근사화되도록 특정한 튜닝 노브들에 대해 요구되는 조정들을 결정하기 위해 머신 러닝을 활용하도록 구성된다.

[0044] 이 프로세스는, 웨이퍼가 실제로 산출 용법을 위해 미리 준비될 때 웨이퍼들을 시즈닝하는 것을 실행에 과도한

시간을 낭비하지 않고, 챔버가 산출을 위해 준비될 때를 식별할 수 있는, 습식 세정 동작 후에 수행될 수 있다. 플라즈마 리액터가 산출하게 될 때, 특정한 레시피들 (122) 이 플라즈마 프로세싱의 시작 파라미터들을 규정하도록 셋 (set) 될 수 있다. 시작 파라미터들은 튜닝 노브들 (134) 에 대한 최초 설정들을 식별할 수 있고, 다른 파라미터들은 플라즈마 리액터를 산출 웨이퍼를 수용하기 위한 조건에 두는 것과 연관된다. 처음에, 플라즈마 리액터의 프로세싱 상태는 모델 데이터베이스로부터 식별될 수 있고, 모델은 목표된 프로세싱 상태 값들 및 튜닝 노브 설정들을 포함한다. 일 실시예에서, 모델 데이터베이스는 모델 데이터베이스에 넣어진 최초 모델을 생성하기 위해 테스트 기관들을 활용하는 실험적 학습 프로세싱에 의해 처음으로 구성될 수도 있다.

[0045] 프로세스가 산출시 실행되기 때문에, 산출 프로세싱은 프로세스에 대한 모델을 업데이트하고 개량하는, 다변수 프로세싱을 활용하는 업데이트들을 생산할 것이다. 따라서, 프로세스가 여러 번 실행되기 때문에, 목표된 프로세싱 상태 및 대응하는 튜닝 노브들의 값들은 또한 개량되고 업데이트된다. 이는 일 타입의 연속적인 학습 피드백을 생성하고, 이는 시간이 흐름에 따라 시스템의 퍼포먼스를 개선한다. 따라서, 플라즈마 리액터의 센서들로부터 수신되는 (131), 센서들 (132) 로부터의 센서 데이터는 다변수 프로세싱 (130) 으로 피딩되는, 센서 데이터 스트림들 (136) 을 생성할 것이다. 특정한 하나 이상의 튜닝 노브들 (134) 의 설정들에 대한 조정이 필요하다고 다변수 프로세싱 (130) 이 결정하면, 보상 (138) 은 프로세싱의 변화 (140) 를 유발하기 위해 실제 튜닝 노브들로 전파된다. 이 피드백 동작은, 플라즈마 리액터 내의 조건들이 변화할 때에도 (예를 들어, 벽들 또는 소모품 상에 미립자 및/또는 재료 빌드업이 발생하는) 플라즈마 리액터 (100) 의 플라즈마 프로세싱 환경이 목표된 프로세싱 상태를 달성한다는 것을 보장한다.

[0046] 도 2는 일 실시예에 따른, 리액터(100) 의 프로세싱 동안 튜닝 노브들 (134) 을 모니터링하고 동적 피드백을 제공하도록 다변수 프로세싱 (150) 을 활용하기 위한 일반적인 프레임워크를 예시한다. 일 실시예에서, 다변수 프로세싱 (150) 은 플라즈마 리액터 (100) 내에서 변화하는 조건들에 기초하여 필요한 보상 정도를 결정하기 위해 다양한 데이터 생성 모듈들로부터의 입력을 취하도록 기능하는, 머신 러닝 엔진 (180) 을 활용한다.

[0047] 보상은 플라즈마 리액터 (100) 의 조건들을 수정하고, 이에 따라 플라즈마 리액터 (100) 내에서 실행될 특정한 프로세스 타입에 대해 목표된 프로세싱 상태에 보다 매우 근사한 현재 프로세싱 상태를 생성하기 위해 계산되는, 튜닝 노브들 (134) 에 대한 조정들의 형태로 제공된다. 일반적으로 말하면, 프로세스 타입은 플라즈마 리액터 (100) 내에서 수행된 프로세싱 동작의 타입을 지칭할 것이다. 프로세스 타입은 특정한 타입의 동작들 및 레시피와 연관된 특정한 파라미터들 및 화학적 성질들의 측면에서 규정된다. 유사하게, 프로세스 타입은 플라즈마 리액터 (100) 에 의해 실행될 특정한 증착 동작을 위해 규정될 수 있다. 이하의 논의에서, 예칭 동작들에 대해 참조가 이루어지지만, 이 동작들은 증착 동작들에 대해 동일하게 활용될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0048] 예시된 바와 같이, 모델 프로세싱 (151) 은 일 실시예에 따른, 플라즈마 리액터에 대한 프로세스를 특성화하는 모델들을 생성하도록 수행될 수도 있는 동작이다. 최초 모델 생성 (152) 은 리액터 또는 프로세스의 타입이 이전에 실행되지 않았을 때 수행될 수도 있고, 프로세스 엔지니어는 특정한 플라즈마 리액터에 대한 특정한 프로세스를 검증해야 한다. 이들 동작들은 특정한 프로세싱 조건들 및 연관된 튜닝 노브 설정들에 노출될 때 플라즈마 리액터 내에서 테스트 웨이퍼들을 실험적으로 테스트함으로써 수행될 수 있다. 일단 프로세스가 프로세스 엔지니어에 의해 이 실험적 테스트 동안 검증되면, 모델이 동작 (154) 에서 생성된다.

[0049] 모델은 프로세스 타입 및 리액터 타입의 ID (identification) 를 포함할 것이다. 이하에 보다 상세히 기술된 바와 같이, 모델은 목표된 프로세싱 상태뿐만 아니라 특정한 프로세스에 대한 튜닝 노브 설정들을 식별하는 정보를 포함할 수도 있다. 예로서, 프로세싱 상태 값들은 예를 들어, 플라즈마 리액터의 센서들에 의해 검출가능한 특성들의 측면에서 식별될 것이다. 일 실시예에서, 플라즈마 상태 값들의 이 특성화는 이 값들이 특정한 설정들이 아니라 대신 플라즈마 리액터의 센서들로부터 수집된 데이터 스트림들로 식별될 수 있는 검출가능한 값들이기 때문에, 가상 공간 특성들로 참조된다. 이하에 기술될 바와 같이, 이들 가상 공간 특성들은 조정되거나 변화될 특정한 튜닝 노브 그리고 튜닝 노브 또는 노브들에 의해 변화 또는 조정할 특정한 양을 규정하는, 실제 튜닝 노브 식별자들 및 튜닝 노브 크기들로 변환될 수 있다.

[0050] 이에 따라, 프로세스는 모델 데이터베이스로부터 모델을 선택하도록 작용하는 (161), 동작 (160) 에서 플라즈마 프로세스에 대한 프로세스 셋업을 식별하는 사용자 (프로세스 엔지니어 또는 기술자) 에 의해 시작될 수 있다. 목표된 프로세싱 상태 값들 및 최초 튜닝 노브 설정들을 포함하는 모델은 (162) 를 통해 다변수 프로세싱 (150) 으로 전달된다. 이는 목표되는 특정한 프로세싱 상태 값들을 식별하는, 프로세스의 최초 시작 지점을 규정한다. 플라즈마 리액터의 센서들 (100) 로부터의 데이터 스트림들 (136) 은 다변수 프로세싱 (150) 의 머

신 러닝 엔진 (180) 으로 제공된다.

[0051] 이에 더하여, 머신 러닝 엔진 (180) 은 센서들에 의해 제공된 데이터 스트림들에 기초하여, 현재 프로세싱 상태 값들 (172) 이 목표된 프로세싱 상태 값들 (170) 과 매칭하지 않을 때를 결정하기 위해 목표된 프로세싱 상태 값들 (170) 을 활용한다. 이에 더하여, 머신 러닝 엔진 (180) 은 하나 이상의 기관들의 계측 툴을 사용하여 테스트된 후, 수행될 수도 있는 에칭 레이트 분석으로부터 주기적 정보를 수신하게 된다. 유사한 프로세스들이 플라즈마 리액터 (100) 에 의해 실행되도록 목표된 프로세싱 타입과 근사하도록 구성되는, 모니터 웨이퍼를 사용하여 수행될 수 있다. 각 동작에서, 에칭 퍼포먼스 검증 (174) 이 수행될 수 있고 주기적인 데이터 (171) 로서 머신 러닝 엔진 (180) 으로 제공될 수 있다.

[0052] 이는 플라즈마 리액터 (100) 의 진짜 퍼포먼스가 목표된 프로세싱 상태 (170) 와 더 이상 매칭하지 않기 때문에, 머신 러닝 엔진 (180) 으로 하여금 목표된 프로세싱 상태 값들 (170) 이 조정되어야 할 때를 결정하게 한다. 이와 같이, 머신 러닝 엔진 (180) 은 주기적인 입증 (validation) 동작들에 기초하여, 예를 들어, 머신 러닝 엔진 (180) 으로 피드백된 오프-라인 계측 테스트 데이터를 활용하여 목표된 프로세싱 상태 (170) 를 동적으로 조정할 수도 있다. 부가적으로, 머신 러닝 엔진 (180) 에 리액터 벽 표면 다이내믹스 (182) 에 관한 정보가 제공될 수도 있다. 이 정보는 프로세싱 동안 변화하기 때문에, 챔버 벽 표면들의 추론된 특성들에 관한 데이터를 포함할 수도 있다. 예로서, 이 데이터는 벽 특성들, 예를 들어, 재료 빌드업, 플레이킹 (flaking), 거칠기 (roughness), 소모품 사용량, 및 다른 물리적 특성들의 이력 측정치들로부터 추론될 수 있다. 이 데이터는 시간이 흐름에 따라 동작 동안 리액터 벽 표면들 상에서 발생할 타입의 물리적 변화들을 예측하는 모델에 의해 제공될 수도 있는 것으로 간주될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이 데이터는 시간에 따라 (from time to time) 동적으로 업데이트될 수 있고 리액터 벽 표면들의 검사에 기초하여, 예를 들어, 챔버가 습식 세정 사이클로 들어갈 때, 개량될 수 있다.

[0053] 머신 러닝 엔진 (180) 으로의 선택가능한 개량 입력들로서, 현상학적 모델 (184) 로부터의 입력이 사용되어, 리액터 벽 표면 다이내믹스 (182) 가 제공된 챔버 내 플라즈마의 거동을 근사화한다. 일 실시예에서, 현상학적 모델 (184) 은 프로세싱 볼륨 내에서 발생하는 화학 반응들의 본질, 및 리액터 벽 표면들과 연관된 상호작용들을 근사화하도록 사용된다. 일반적으로 말하면, 현상학적 모델은, 현상의 몇몇 상이한 실험적 관찰들을 서로 관련시키는 수학적 표현이기 때문에, 때때로 통계적 모델로 참조된다. 이 관계는 기초 이론과 일치하지만, 이론으로부터 바로 도출된 것은 아니다. 따라서, 현상학적 모델은 변수들이 플라즈마에 있는 이유를 설명하려고 하지 않는다 (즉, 상이한 화학 종들을 규정하기 위해 화학적 결합들이 깨질 때 또는 리액터의 표면, 예를 들어, 챔버 벽과 접촉될 때 상이한 화학적 형태를 규정하기 위해 재결합될 때). 일반적으로, 현상학적 모델 (184) 은 플라즈마 리액터의 플라즈마 내 가스들의 예상된 화학적 운동들, 및 리액터 벽 표면 다이내믹스 (182) 와 관련된 이들의 거동을 특성화하도록 구성된다. 이들 운동들은 예를 들어, 상이한 화학적 성질들에 대해, 전자 충돌 반응들, 벽 재결합 반응들, 벽 손실 반응들, 등을 포함할 수도 있다. 따라서, 이 모델은 단순히, 관계가 측정된 값들을 넘어서 확장된다는 가정으로, 이 관계를 기술하려고 한다. 현상학적 모델 (184) 은 센서 출력의 측면에서 머신 러닝 엔진 (180) 으로의 입력을 생성하도록 구성된다. 즉, 현상학적 모델 (184) 에 의한 플라즈마 거동의 특성화는 플라즈마 리액터 (100) 에 커플링된 센서에 의해 캡처될 수 있는 정보와 유사한 형태로 머신 러닝 엔진 (180) 으로의 입력 데이터를 생성하도록 구성된다.

[0054] 예로서, 현상학적 모델 (184) 에 의해 생성된 데이터는 도 1을 참조하여 기술된 바와 같이, 센서들 (132) 에 의해 생성된 출력들 중 임의의 하나의 출력의 형태로 특성화될 수도 있다. 센서, 예를 들어, OES (optical emission spectroscopy) 센서에 의한 OES 스펙트럼의 측정들의 예를 취하여, 출력이 강도 (I) 의 형태로 생성될 수 있다. 현상학적 모델 (184) 은 리액터 벽 표면들 강도 (I) 의 형태의 예상된 플라즈마 특성들에 대한 변화들을 근사화할 수도 있다. 따라서, 머신 러닝 엔진 (180) 이 OES 센서로부터 출력을 (예를 들어, 데이터 스트림의 형태로) 이미 수신할 수도 있기 때문에, 머신 러닝 엔진 (180) 은 강도와 연관된 입력들을 예상하도록 프로그래밍된다. 따라서 현상학적 모델 (184) 은 머신 러닝 엔진 (180) 으로의 입력 및 동일한 강도의 형태를 생성하도록 구성된다. 따라서, 강도 (I) 는 양극산화된 (anodized) 챔버 벽들의 표면 거칠기, 플라즈마 밀도, 가스 플로우들, 등의 함수로 나타낼 수도 있다.

[0055] 따라서, 현상학적 모델 (184) 은 센서 출력 데이터의 형태 또는 용어로 머신 러닝 엔진 (180) 으로 입력을 제공한다고 할 수 있다. OES 센서 데이터에 대해 상기 제공된 예는 단지 일 예이고, 동일한 타입의 모델링이 다른 타입들의 센서 데이터, 예컨대 커패시턴스, 전압, 전류, 또는 플라즈마 리액터 (100) 에 커플링된 실제 센서들에 의해 생성된 다른 측정 특성들과 연관된 센서들에 대해 제공될 수 있다.

- [0056] 머신 러닝 엔진 (180) 은 또한 특정한 튜닝 노브들에 대한 보상 값들에 대해 센서 신호들 (192) 의 감도를 규정하는 데이터를 입력으로서 수신하도록 구성된다. 감도 정보는, 리액터의 특정한 조건들이 수정되고 감도가 정량화될 수 있는, 플라스마 리액터의 실험적 테스트로부터 획득될 수 있다. 예를 들어, 감도는 플라스마 리액터 (100) 에 대해 수정 및 변화될 수 있는 특정한 튜닝 노브들에 관련되고, 발생하는 감도는 노브들의 설정들에 대한 변화들과 연관된다.
- [0057] 예를 들어, 특정한 노브에 대한 특정한 값 설정을 변화시키는 것은 또 다른 특정 노브에 대한 또 다른 값 설정을 변화시키는 것보다 ER (etch rate) 에 대해 보다 드라마틱한 응답을 가질 수도 있다. 다른 예로서, 플라스마 리액터들은 특정한 노브들에 대해 미리 규정된 감도 프로파일들과 연관되고 카테고리화될 수 있고, 특정한 튜닝 노브들 각각에 대한 감도 값들의 ID (identification) 가 실험적으로 결정될 수 있다. 예를 들어, 일부 경우들에서, 압력이 상승되기 때문에 에칭 레이트에 대한 감도 기울기는 약 2%의 기울기를 갖는 한편, 소스 전력에 대한 조정은 약 8%의 기울기를 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 에칭 레이트는 온도가 상승됨에 따라 상승할 수도 있고 이어서 특정 지점에서 감소될 수도 있는, 계산된 분포 함수에 따라 온도에 기초하여 가변할 것이다. 특정한 튜닝 노브들에 의해 이루어진 변화들의 감도를 특성화하는 유일한 파라미터인, 에칭 레이트에 더하여, 특성화될 수 있는 다른 타입들의 메트릭들 (metrics) 은 예를 들어, 압력, 소스 전력, 가스 플로우들, 전극 분리 위치들, 등의 특정한 변화들에 응답하여 OES 측정치들에 대한 변화들을 포함한다.
- [0058] 또한, 특정한 튜닝 노브들의 변화들에 의해 영향을 받을 수 있는 다른 측정가능한 파라미터들은, 예를 들어, 전극들 사이의 캐패시턴스 위치의 변화들, 플로우 레이트들 변화들, 및 플라스마 리액터 (100) 와 연관된 센서들에 의해 캡처될 수 있는 다른 측정가능한 파라미터들을 포함할 수 있다. 따라서, 모든 센서 출력에 대해, 감도 특성화는 상이한 튜닝 노브에 대한 특정한 변화 각각이 특정한 센서들에 의해 검출된 발생하는 측정치들, 및 연관된 감도들에 영향을 줄 수 있는 방법을 결정하기 위해 수행될 수 있다. 일 실시예에서, 하나 이상의 튜닝 노브들을 한번에 가변하고, 이어서 다양한 센서들로부터의 복수의 출력들을 측정함으로써 챔버에 대해 감도 테스트를 수행하는 것이 가능하다. 이 프로세스는 시스템의 센서들에 의해 검출된 측정치들 각각에 대한 가변성을 조직적으로 수집하는 동안, 임의의 수의 튜닝 노브들에 대해 반복될 수 있다.
- [0059] 이에 따라, 임의의 수의 특정한 튜닝 노브들을 가변시키는 것과 연관된 에칭 레이트의 감도는 머신 러닝 엔진 (180) 이 특정한 튜닝 노브들에 대한 너무 많거나 너무 적은 변화들을 규정하는 보상 벡터 (194) 를 생성하는 것을 방지하도록 공지되어야 한다.
- [0060] 따라서, 머신 러닝 엔진 (180) 은 튜닝 노브들 (134) 에 적용될 보상 값들에 대한 동작 (182) 에서 센서 신호들의 규정된 감도를 수신하도록 구성된다. 상기 언급된 바와 같이, 머신 러닝 엔진 (180) 은 보상 프로세싱 (190) 에서 프로세싱되는, 보상 벡터 (194) 를 식별하고 생성하기 위해 목표된 프로세싱 상태 값들 (170) 과 비교되는 현재 프로세싱 상태 값들 (172) 을 생성하도록 구성된다. 이어서 보상 벡터 (194) 는 보상 값들 (198) 을 생성하기 위해 변환 프로세스 (186) 를 통해 프로세싱된다. 변환 프로세스는 변화되거나 조정될 특정한 튜닝 노브들 (134), 이러한 변화 또는 조정의 크기를 식별하기 위해 필요한 정보를 홀딩하는 프로세싱 상태 값 차들을 컨버팅하는 (convert) 것을 포함한다. 따라서 변환 (196) 은 가상 공간 (즉, 센서 출력 값들의 측면에서 특성화된) 의 보상 벡터 값들을 실제 공간 (즉, 하나 이상의 튜닝 노브들 (184) 에 대한 실제 변화들의 측면에서 특성화되는) 의 보상 값들 (188) 을 컨버팅하는 컨버전 공식이다.
- [0061] 일 실시예에서, 보상 값들 $K(r,t)$ 는 경계 정의 (197) 와 연관된다. 경계 정의 (197) 는 보상 값들로 하여금 미리 결정된 플라스마 리액터 (100) 내에서 변화하도록 하는 양을 식별한다. 예로서, 보상 값이 경계 정의 (197) 밖에 있다면, 시스템은 이 변화를 구현하지 않을 것이다. 즉, 경계 정의 (197) 는 목표된 결과를 생성하지 않을 수도 있거나 이러한 변화가 특정한 플라스마 리액터 내에서 또는 기관 상에서 수행되는 프로세스에 대해 목표 되지 않은 것으로 공지되는 프로세스 수정을 아마도 생성할 튜닝 노브들 (134) 에 대한 변화의 발생을 방지하기 위한 안전 조치로서 작용한다.

$$\vec{K}(r,t)$$

- [0062] 도 2를 계속 참조하면, 플라스마 리액터 (100) 로부터의 데이터 스트림들(136) 은 튜닝 노브들

$$\vec{s}(t)$$

에 대해 감도 계수 를 계산하도록(192) 활용될 것이고, 여기서 r 은 위치이고 t 는 시간이다. 일 실시예에

$$\vec{S}(t)$$

서, 는 표준 (regular) 레시피에서 계산될 수 있고 또는 리액터의 프로세싱 상태 에서 보다 많은

$$\vec{P}(r, t)$$

$$\vec{S}(t)$$

$$\vec{S}(t)_i$$

인사이트들 (insights) 이 달성될 수 있도록 를 계산하도록 특별한 레시피가 설계될 수 있다. , 여
기서 i 는 신호들의 수를 나타냄, 리액터의 프로세싱 상태를 나타내기 위한 관련도 순으로 분류되고 상관될 것
이다. 예를 들어, 매칭 시스템 (즉, RF 전력 소스에 커플링된) 내 커패시터 튜닝 위치는 플라스마로부터 OES
(Optical Emission Spectrum) 와 상관될 수 있고 함께 상관될 수 있다. 유사한 방식으로, 강한 상관을 규정하
는 보다 높은 차수 및 센서 신호들의 약한 상관을 규정하는 보다 낮은 차수와 함께 상이한 차수의 상관을 규정
할 수 있다.

[0063] 상기 언급된 바와 같이, 현상학적 모델 (184) 프로세싱은 플라스마 속성들을 제어하는 리액터 벽들에서 일어나
는 플라스마 상호작용들을 기술하기 위해 선택가능하게 구현될 수도 있다. 현상학적 모델 (184) 은 리액터로부
터의 데이터 스트림들로 표현될 것이다. 따라서, 이 데이터는 일부 인사이트들과 함께 리액터 레벨 프로세싱의
물리학으로 묶여진 (lumped) 파라미터 모델이다.

$$\vec{S}(t)$$

[0064] 감도 계수 로부터의 입력, 다이렉트 데이터 스트림들 (136), 모니터 웨이퍼 및/또는 에칭 레이트 $R(t)$ 데
이터 (174) 및 현상학적 모델 (184) 이 머신 러닝 엔진 (184) 으로 피드된다. 머신 러닝 엔진은 수신하는 입력
들에 기초하여 통계적 모델을 생성한다. 통계적 모델들은 머신 러닝 엔진 (180) 으로 들어가는 입력을 사용하
여 실시간으로 생성된다. 통계적 모델은 이 엔진이 수신하는 모든 입력들을 사용하여 가상 공간에서 생성된다.

$$\vec{P}(r, t)$$

$$\vec{P}(r, t)$$

목표된 프로세싱 상태 값들은 이 모델을 통해 규정될 것이다. 를 규정하는 이 통계적 모델은 미
리 결정된 프로세스에 대한 리액터의 블루프린트일 것이다. 단일 리액터가 이 리액터 상에서 실행될 수 있는

$$\vec{P}(r, t)_i$$

상이한 프로세스들을 나타내는 복수의 를 가질 수 있고, 여기서 i 는 프로세스들의 수를 나타낸다.

$$\vec{P}(r, t)_i$$

[0065] 이 정의의 확장을 통해, 리액터는 프로세싱 상태 를 변화시킬 수 있어야 하고 머신 러닝 엔진 (180) 은
일 프로세싱 상태에서부터 다른 프로세싱 상태로 변화할 보상 벡터를 생성할 것이다. 이 정의의 또 다른 확장을

$$\vec{P}(r, t)_i$$

통해, 머신 러닝 엔진 (180) 은 프로세싱 상태 를 규정할 것이고 이후로 미리 결정된 챔버에 대해 유일
할 수 있는 챔버 각각에 대한 보상 벡터들을 규정함으로써 챔버들의 무리 (fleet) 에서 챔버 매칭을 하도록 활
용될 수 있다. 이는 미리 결정된 프로세스에 대해 챔버 각각에 대한 보상 벡터들의 적용 후, 챔버가 규정된 노
이즈 레벨의 동일한 프로세싱 상태에 있을 것이라고 보장할 것이다. 챔버 매칭시 머신 러닝의 이 방식
(approach) 은 하드웨어 서브시스템들에 대해 정밀도 및 정확도상승 비용을 감소시킬 것이고, 이는 상당한 비용
절감요인이 될 수 있다.

[0066] 일 실시예에서, 캘리브레이팅된 실험들의 세트를 통해, 모델은 리액터의 프로세싱 상태를 규정하도록 학습될 수
있다. 상이한 타입들의 감독하의 (supervised) 머신 러닝 모델들이 이 목적을 위해 활용될 수 있다. 일부 실
시예들에서, 이 단계는 머신 러닝 엔진 (180) 이 목표된 상태가 어떤 것인지, 경계가 어떤지, 신호 대 잡음, 등
을 학습하는 학습 단계로 참조된다. 적합한 알고리즘의 적용을 통해, 학습 단계는 자동화될 수 있다.

[0067] 상기 언급된 바와 같이, 머신 러닝 엔진 (180) 은 데이터 스트림들 (136) 로부터의 모든 입력들을 취할 것이고
모델에 적용가능한 관련도의 순으로 이들을 분류할 것이다. 이는 다른 모델들이 보다 적은 수의 데이터 스트림
들에 의해 기술될 수 있는 (예를 들어, 센서 각각이 각각의 데이터 스트림을 생성하는) 동안 일부 모델들이 전
체를 규정하는 보다 많은 데이터 스트림들을 가질 수 있다는 것을 의미한다.

[0068] 일 실시예에서, 리액터의 정상적인 동작 동안, 머신 러닝 엔진 (180) 은 데이터 스트림 (136) 을 꾸준히 모니터

링하고 리액터의 목표된 프로세싱 상태의 규정시 정밀도를 개선할 수 있는 한계들 내로 개량할 것이다.

$$\vec{P}(r, t)$$

예로서, 목표된 프로세싱 상태는 머신 러닝 엔진 (180) 을 통한 동작 동안 꾸준히 모니터링될 것이고, 모든 편차가 캡처될 것이고, 머신 러닝 엔진 (180) 은 편차를 보정할 것이고 프로세스에서 보상 벡터들 (194) 을 생성할 것이다. 상기 언급된 바와 같이, 보상 벡터들 (194) 이 가상 공간에서 규정된다.

[0069]

이는 보상 벡터들이 현재 프로세싱 상태 값들을 규정하는 측정된 센서 출력 특성들의 측면에서 규정된다는 것을 의미한다. 보상 벡터들이 사용자에게 의해 또는 경계들을 설정하는 것을 하는 경험으로부터 규정된 경계들 내에 있다면, 보상 벡터들이 머신 러닝에 의해 수용될 것이다. 변환 함수가 동작 (196) 에서 적용되고, 보상 벡터들

$$\vec{K}'(r, t)$$

이 리액터로 적용될 수 있는 튜닝 노브 보상 벡터 (198) 로 번역 또는 컨버팅된다. 보상 벡터

$$\vec{K}'(r, t)$$

$$\vec{P}(r, t)$$

는 목표된 프로세싱 상태를 되돌리거나 유지하기 위해 튜닝 노브들 (134) 에 적용될 수 있다. 일 실시예에서, 프로세싱 상태를 유지하기 위한 머신 러닝의 구현에는 실시간으로, 주기적으로 스케줄에 따라 또는 사용자 입력 또는 프로그래밍된 입력에 따라 이루어질 수 있다. 일 실시예에서, 프로세싱 상태는 웨이퍼를 프로세싱하기 직전에 체크될 수 있다.

[0070]

다수의 머신 러닝 알고리즘들이 모니터링된/수집된 데이터 스트림들을 프로세싱하도록 사용될 수도 있고, 특정한 알고리즘의 선택은 다수의 팩터들 (factors) 또는 트레이드오프들 (tradeoffs) 에 종속될 수도 있다. 다변수 데이터를 프로세싱하고 보상을 위해 사용된 데이터를 생성하기 위해 필요한 속도가 고려되는 일 팩터이다. 발생하는 데이터의 정확도가 고려되는 또 다른 팩터이다. 컴퓨팅 전력에서 최근의 상당한 발전들을 감안하면, 매우 복잡한 다변수 데이터가 거의 실질적으로 실시간으로 프로세싱될 수 있다. 일부 구현예들에서, 특수 목적 머신들 뿐만 아니라 범용 머신들이 이제 종종 "빅 데이터"로 참조되는 많은 양의 데이터를 프로세싱하도록 사용된다. 일부 경우들에서, 클라우드 프로세싱은 또한 예를 들어, 프로세싱 요구 또는 수요에 기초하여 스케일링되는 신축적인 컴퓨팅 노드들을 제안하는, 클라우드 인프라스트럭처 제공자들과 같이 사용될 수도 있다. 플라스마 리액터의 센서들로부터 획득된 데이터 스트림들은 일 타입의 빅 데이터로 참조될 수 있고, 이러한 데이터는 프로세싱 동작들 동안 연속적으로 그리고/또는 주기적으로 생성될 수도 있다 (그리고 모델들을 개량하도록 사용될 수도 있다). 일부 실시예들에서, 복수의 프로세싱 세션들로부터 데이터가 수집될 수 있고 스토리지에 저장될 수 있고, 그리고 오프-라인 학습을 위해 액세스될 수 있다. 이 오프-라인 학습으로부터 학습된 정보 및 관계들이 또한 특정한 플라스마 리액터들에 대한 특정한 레시피들의 실시간 프로세싱 동안 사용될 수 있다.

[0071]

사용될 수도 있는 몇몇 공지된 머신 러닝 알고리즘들이 있다. 한계 없이, 이러한 예들은 선형/비선형 회귀, 단계적 회귀, 결정 트리 학습 (예를 들어, CART, Random Forest, Boosted Trees, 등), 연관 규칙 학습, 인공 신경 네트워크, 딥 러닝 (deep learning), ILP (inductive logic programming), SVM (support vector machines), 클러스터링 (clustering), Bayesian 네트워크들, 강화 학습 (reinforcement learning), 표현 학습 (representation learning), 유사성 및 메트릭 학습 (similarity and metric learning), 스파스 사전 학습 (sparse dictionary learning), 등을 포함할 수도 있다. 특정한 머신 러닝 알고리즘들의 나열은 임의의 일 예에 대한 제한으로서 보지 않아야 한다는 것이 이해되어야 한다. 보다 새롭고 보다 발전된 알고리즘들이 머신 러닝 알고리즘들 분야로 개시되기 때문에, 이러한 발전들이 수신된 플라스마 리액터 센서 데이터의 프로세싱을 위해 동일하게 사용될 수 있고 이러한 데이터는 시스템의 거동 및 동작으로 인사이트들을 제공하는 모델들을 특성화하도록 사용될 수 있다는 것이 고려된다. 이러한 인사이트들은 따라서 기관들의 산출이 장기적인 기관들의 프로세싱 동안 빗나가거나 드리프트되지 않도록, 플라스마 리액터를 튜닝하기 위해 사용되는 보상 데이터를 생성하도록 사용될 수 있다.

[0072]

상기한 바를 유념하면, 머신 러닝의 인공 신경 네트워크 알고리즘들이 데이터 스트림들로부터 수신된 입력 데이터 및 플라스마 리액터의 튜닝 노브들을 통한 보상을 생성하기 위해 프로세싱 상태 값들을 프로세싱하도록 사용될 수도 있다고 여겨진다. ANN (artificial neural network) 학습 알고리즘은 때때로 "NN (neural nets)"으로서 참조되고, 이는 생리학적 신경 네트워크들의 구조 및 기능적 양태들과 유사한 학습 알고리즘이다. 계산들은 인공 뉴런들 (neurons) (예를 들어, 노드들) 및 계산을 위해 연결주의 접근법 (connectionist approach) 을 사용하는 프로세싱 정보의 상호연결된 그룹의 측면에서 구성될 수도 있다. 일 실시예에서, 모니터링된 플라스마 조건들을 나타내는 데이터 스트림들의 맥락에서 유용한 신경 네트워크는 비선형 통계적 데이터의 형태일 수

도 있다. 이들 노드들은 데이터 스트림들과 도 2와 관련하여 기술된 다른 입력들 간의 복잡한 관계들 및 목표된 프로세싱 상태를 모델링하도록 사용된다. 통계적 결정 결과들을 생성하기 위해 데이터의 패턴들이 사용되고 발견될 수도 있다.

[0073] 따라서, 일 타입의 머신 러닝은 신경 네트워크의 노드들로부터 규정되는 결정 트리를 일반적으로 사용하는, 신경 네트워크 프로세싱을 포함한다. 신경 네트워크의 노드들로의 입력들은 데이터 스트림들일 수도 있고, 노드들로의 상이한 입력들은 가중치와 연관될 수도 있다. 가중치는 특정한 입력 연결부들의 중요성을 결정하도록 사용된다. 또한, 신경 네트워크는 복수의 입력 노드들 및 노드의 하나 이상의 층들 (때때로 히든 (hidden) 층들로 참조됨) 을 가질 수도 있다. 일 실시예에서, 결정 트리의 최초 생성은 트리의 노드들 각각으로의 입력들로 랜덤 연결 가중치들을 처음으로 할당하는 것을 포함한다. 이어서 연결 가중치들은 역전파 (backpropagation) 로 지칭된 공지의 프로세스를 사용하여 개량되고 학습된다. 일 실시예에서, 목표된 프로세싱 상태 값들은 결정 트리의 목표된 출력들을 나타내고 입력 노드들은 현재 프로세싱 상태 값들을 수신한다. 랜덤 가중치들을 사용하여, 출력 경로들이 계산된다. 계산된 이들 출력 경로들은 이어서 목표된 프로세싱 상태 값들과 연관된 출력들과 비교된다.

[0074] 랜덤 가중치들을 갖는 계산된 출력들과 목표된 프로세싱 상태 값들과 연관된 출력들 간의 차는 네트워크 내 에러로서 참조된다. 이 에러를 알면, 역전파가 보다 작은 에러들을 생성하기 위한 시도의 연결 가중치들을 조정하도록 사용된다. 이 조정은 오래된 가중치들, 노드 입력 값들, 에러 및 학습 가중치에 기초하는 공식을 사용한다. 이 가중치 조정 프로세스는 모든 노드들이 업데이트된 가중치와 연관될 때까지 반복된다. 이 프로세스는 출력의 에러들에 가장 책임이 있는 노드들을 식별하도록 사용되고, 이들의 가중치들은 최고로 조정된다. 이 프로세스는 노드들의 결정 트리가 트리의 특정한 노드들의 유의성 및 무의성 (insignificance) 을 가장 잘 규정하는 가중치들과 피팅 (fit) 할 때까지 연속적으로 반복된다. 이 프로세스 동안, 에러들을 유발하는, 특정한 하나 이상의 데이터 스트림들은 보상 벡터로 식별되고 부가될 수 있다. 따라서, 보상 벡터는 현재 프로세싱 상태에 대해 목표된 프로세싱 상태와 매칭하거나 가장 비슷하게 하기 위해 변화해야 하는 값들을 나타낸다. 일부 실시예들에서, 사전-프로세싱은 목표된 프로세싱 상태 값들을 포함하는 모델을 규정하기 위해 필요하다. 이 프로세스는 예를 들어, 도 3을 참조하여 기술된다. 모델을 규정하는 프로세스는 일부 경우들에서, 목표된 모델을 확립할 시간이 걸릴 수도 있고, 이 프로세싱은 오프-라인으로 이루어질 수 있다. 일단 모델이 생성되면, 모델은 시작하는 모델 또는 최초 모델을 나타낸다. 시간이 흐름에 따라, 모델이 산출 프로세싱에 사용되기 때문에, 모델은 머신 러닝을 사용하여 계속해서 개량될 수 있다. 동작시, 모델들을 규정하기 위해 사용된 데이터 세트들은 하나 이상의 프로세싱 머신들에 의해 액세스가능한 스토리지에 저장될 수도 있다.

[0075] 일부 구성들에서, 머신 러닝을 실행하는 프로세싱 머신은 툴 자체의 제어기일 수도 있고 또는 하나 이상의 네트워크된 컴퓨터들을 포함할 수 있다. 때때로, 모델들을 구성하기 위해 필요한 프로세싱은 상당한 프로세싱 전력을 필요로 할 수도 있고, 워크로드들은 2 이상의 컴퓨터 또는 가상 머신들로 분산될 수도 있다. 부가적으로, 이러한 큰 데이터 세트들, 예를 들어, 빅 데이터의 프로세싱이 클라우드 프로세싱 시스템들에서 수행될 수도 있다. 클라우드 프로세싱 시스템들은 프로세싱 지연들을 감소시키기 위해 프로세싱 부하를 공유할 수 있는, 고 프로세싱 전력 가상 머신들을 사용하여 준비될 수도 있다. 일단 모델들이 모델 데이터베이스로 구성되고 저장되면, 모델들은 플라즈마 리액터에 의해 실시간으로 사용될 수 있다. 모델의 프로세싱 및 사용은 플라즈마 리액터의 제어기를 통해 또는 (로컬 또는 클라우드 내)하나 이상의 다른 네트워크된 컴퓨터들을 통한 것일 수도 있다.

[0076] 도 3은 일 실시예에 따른, 리액터들 내에서 기관들의 프로세싱을 개시하기 위해 사용된 모델들 (200) 을 생성하고 업데이트하는 예를 예시한다. 도시된 바와 같이, 리액터가 새로운 것이거나 리액터가 이전에 특성화되지 않았을 때, 리액터는 복수의 실험적 학습 프로세스들 (202) 을 통해 모델을 규정하도록 특성화될 수 있다. 이들 프로세스들에서, 테스트 기관들 (204) 은 리액터에 의해 프로세싱될 수 있다. 테스트 기관들 (204) 의 프로세싱은 복수의 노브 설정들 (206) 에 기초하여 발생하고 이들 실험들은 복수의 상이한 프로세스 레시퍼들 (208) 에 대해 프로세싱될 수 있다. 센서들 (210) 은 프로세싱 상태들 (212) 을 규정하고 생성하도록, 학습 프로세싱 동안 리액터를 모니터링하도록 사용될 수 있다.

[0077] 이 정보는 나중에 모델 데이터베이스 (230) 에 부가될 수 있는, 최초 모델 (220) 을 생성하도록 사용될 수 있다. 도시된 바와 같이, 모델 데이터베이스는 복수의 모델들 (230a 내지 230n) 을 포함할 것이고, 모델 (230)

$$\vec{P}(r,t)$$

각각은 목표된 프로세싱 상태 값들 (234) 을 나타내는 프로세싱 상태 값들 및 기관의 프로세싱 시작시

사용하기 위한, 목표된 프로세싱 상태 (234) 를 생성하도록 예상되는 대응하는 튜닝 노브(232) 설정들을 특징화할 것이다. 상기 논의된 바와 같이, 프로세싱을 처음 시작할 때, 동작 (154) 에서 모델이 기관의 프로세싱을 위한 시작 상태를 나타내는, 모델 데이터베이스로부터 획득된다. 프로세싱 동안, 임의의 드리프트가 모델 업데이트들 (156) 을 모델들에 제공하도록 더 작용하는, 튜닝 노브들 (134) 로의 보상 값들에 대해 이루어진 조정들에 대해 고려된다.

[0078] 이 프로세싱이 도 3에 도시되고, 실시간 프로세싱 (204) 동안, 제조 또는 산출 기관들 (204a) 이 리액터들 내에서 프로세싱되고, 발생하는 프로세싱은 머신 러닝된 업데이트들 (156) 을 모델들 (230) 에 제공하는, 다변수 프로세서 (150) 에 의해 계속해서 실행된다. 이에 따라, 모델이 특정한 프로세스를 위해 특정한 리액터에서 계속해서 사용될 때, 이 모델은 이 리액터에 대해 시간이 흐름에 따라 개량될 것이고, 모델에 대한 업데이트들이 모델 데이터베이스에 저장될 수 있다. 따라서, 후속하는 프로세싱이 동일한 리액터를 사용하여 이루어질 때, 동일한 모델이 액세스될 수 있고, 이 특정한 리액터 및 프로세스에 대해 구체적으로 튜닝되고 개량될 수 있다. 이에 따라, 시간이 흐름에 따라, 모델 데이터베이스 (230) 내 모델들은 머신 러닝에 의해 프로세싱 상태에 대해 이루어진 업데이트들마다 모델에 대한 변화들에 의해 계속해서 업데이트 및 개량될 것이다.

[0079] 도 4는 일 실시예에 따른, 제어기 (120) 가 기관을 프로세싱하기 위해 최초 모델을 식별하도록 사용되는 시스템의 도면 (300) 을 예시한다. 이 예에서, 제어기 (120) 는 리액터 (302) 를 식별할 것이고, 또한 프로세스 (304) 를 식별할 것이다. 이 정보는, 리액터 (322a 내지 322n) 의 타입 각각과 복수의 타입들의 연관된 리액터들 및 프로세스들과 관련된 정보를 포함하는, 데이터베이스 (320) 로부터 리액터 및 프로세스를 식별하기 위해 제어기 (120) 에 의해 사용된다. 일단 리액터 및 프로세스가 식별되면, 모델 데이터베이스 (230) 는 이 예에서 모델 (230j) 인, 특정한 모델을 식별하도록 액세스할 수 있다. 모델 (230j) 은 목표된 프로세싱 상태 $P(r, t)$ 및 목표된 프로세싱 상태를 달성하기 위한 튜닝 노브들을 포함한다. 상기 언급된 바와 같이, 목표된 프로세싱 상태는 다변수 프로세싱이 리액터 (100) 로부터 수신된 데이터 스트림들에 기초하여 매칭을 시도할 것이라는 최초 프로세싱 상태이고, 그리고 예칭 레이트 또는 모니터 웨이퍼들과의 검증 및/또는 확인에 기초하여, 머신 러닝 엔진 (180) 이 현재 목표된 프로세싱 상태를 달성할 보상 벡터(들)를 식별할 수 있도록, 목표된 프로세싱 상태에 대한 조정들이 이루어질 수 있다.

[0080] 상기 주지된 바와 같이, 보상 벡터는 팽렛 (ballot) 정의 (197) 에 기초하여 튜닝 노브들 (134) 에 적용될 수 있는 실제 보상 값들 (198) 로 변환될 것이다. 대안적인 실시예들에서, 최초 모델 (230j) 을 식별하기 위해 제어기 (120) 를 필요로 하는 대신, 프로세스를 셋업하는 기술자 또는 엔지니어가 모델을 식별할 수 있고 이 모델을 입력을 시작 지점으로서 제공할 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 모델들은 습식 프로세스로부터 나온 후, 그리고 이어서 시즈닝 동작들로 불필요하게 진행하지 않고 챔버가 동작을 위해 준비되었는지 결정을 인에이블한 후 챔버를 시즈닝하기 위해 최초 지점으로서 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 챔버가 튜닝 노브들에 대한 조정들을 설정하는 특정한 경계 내에서 조정될 수 있다고 결정된다면, 보상 벡터는 플라스마 리액터가 산출 웨이퍼들을 프로세싱하기 위해 준비가 되게 하기 위해, 플라스마 리액터에 적용되는 튜닝 노브들에 대한 변화들을 생성하도록 적용될 수 있다.

[0081] 일단 산출 웨이퍼 제조가 리액터를 위해 준비가 된다면, 프로세싱 챔버를 달성하거나 준비하기 위해 사용된 프로세싱 상태는 연관된 튜닝 노브 설정들과 함께, 사용될 수 있다. 이러한 방식으로, 산출 웨이퍼가 리액터 내로 처음으로 도입될 때, 리액터가 이 산출 웨이퍼를 프로세싱하도록 준비가 되고 원하는 바와 실질적으로 동일한 프로세싱 상태를 달성할 것이라고 여겨진다. 프로세싱 상태가 드리프트한다면, 웨이퍼 또는 웨이퍼들이 리액터 내에서 프로세싱되기 때문에, 다변수 프로세싱 (150) 은 튜닝 노브들 (134) 이 프로세싱을 조정하고 목표된 프로세싱 상태를 달성할 수 있도록 보상 벡터 값들을 적용할 수 있다.

[0082] 도 5는 튜닝 노브들 (134) 에 대한 조정들을 하기 위해 다변수 프로세서 (150) 를 사용하는 일반적인 예를 예시한다. 프로세스는 일반적으로 플라스마 리액터 (100) 의 센서들 (136) 로부터 데이터 스트림들을 판독하게 하고, 머신 러닝을 포함하는 다변수 프로세서 (150) 의 센서들 (136) 로부터 데이터 스트림들을 프로세싱하게 하고, 이어서 플라스마 리액터 (100) 에 적용되는 튜닝 노브들 (134) 의 설정들에 대한 변화들을 적용하는 피드백 시스템을 포함한다. 이 피드백 루프는 플라스마 리액터에 대해 이루어진 변화들이 플라스마 리액터와 연관된 센서들에 의해 센싱되는 실제 데이터 스트림들로 트래킹 (track) 된다는 것을 보장한다. 즉, 튜닝 노브들 (134) 에 대해 이루어진 변화들은 플라스마 리액터 (100) 의 프로세싱 공간 내에서 측정된 플라스마의 특성들에 대응하도록 이루어진다. 이러한 방식으로, 특정한 리액터 및 구현될 특정한 프로세스를 위해 목표되는 플라스마 리액터 (100) 내 프로세싱 상태를 달성하거나 유지하기 위해 튜닝 노브들 (134) 에 대해 조정들을 하는 것을

가능하게 한다.

- [0083] 도 6은 센서들 (136)로부터의 데이터 스트림들이 다변수 프로세서 (150)에 제공되는 예시적인 플로우를 예시한다. 일단 다변수 프로세서 (150)가 원하는 프로세싱 상태와 일치되는 상태로 플라즈마 리액터를 되돌리기 위해 요구되는 필요한 변화들을 식별하면, 다변수 프로세서 (150)는 보상 벡터 (194)를 생성할 것이다. 따라서 보상 프로세싱 (190)은 다변수 프로세서 (150)로부터 보상 벡터 (194)를 수신하는 것을 포함한다. 보상 벡터 (194)는 플라즈마 리액터의 센서들 (100)로부터 획득된 측정 값들을 기술하는 메트릭들로 나타낸다.
- [0084] 따라서, 이들 메트릭들은 튜닝 노브들 (134)에 대해 이루어져야 하는 실제 변화들과 직접적으로 관련될 수 없다. 일 실시예에서, 보상 벡터 (194)내 데이터를 보상 값들 (198)로 변환하기 위해 변환 기능 (196)이 수행된다. 이 변환은 특정한 튜닝 노브 및 튜닝 노브의 설정을 조정하기 위한 크기를 식별하는, 보상 값들에 대한 보상 벡터 데이터에 대응하도록 맵핑되는 변환 정보의 룩업 테이블을 사용하여 수행될 수 있다.
- [0085] 예로서, 변환 기능 (196)이 조정되어야 하는 특정한 수의 튜닝 노브들, 예컨대 보다 중요하거나 보다 높은 관련도의 튜닝 노브들만을 식별할 수 있다는 것이 가능하다. 프로세싱 상태에 영향을 주지 않거나 많은 변화를 유발하는 튜닝 노브들이 전혀 조정되지 않을 수도 있다. 따라서, 보상 벡터 값들 (194)을 보상 값들 (198)로 단순히 번역하는 것에 더하여, 변환 함수는 노브들이 조정되는 것을 무시할 수 있다. 일단 보상 값들 (198)이 식별되면, 이들 값들은 리액터 (100)의 튜닝 노브들 (134)로 이송된다. 리액터의 튜닝 노브들은 설정들, 밸브들, 제어기 인스트럭션들, 변화들, 입력들, 등을 포함할 수 있다. 임의의 수의 이들 튜닝 노브 설정들은 제어기 (120)에 의해 지시되거나 인스트럭팅할 수 있거나 오퍼레이터에 의해 설정될 수 있거나 수동으로 설정될 수 있다.
- [0086] 도 7a는 일 실시예에 따른, 다변수 프로세싱 (150')을 동작시키는 것과 연관된 데이터 플로우를 나타내도록 사용된 흐름도를 예시한다. 이 예에서, 플라즈마 리액터 (100)는 상이한 센서들로부터의 복수의 출력들을 제공하는 것이 도시된다. 따라서 상이한 센서들은 프로세싱 동안 데이터 스트림들 (136)을 생성할 것이다. 프로세싱을 개시하기 위해, 동작 (154)에서, 프로세싱 상태 및 노브 설정들을 포함하는 모델이 선택된다. 상기 언급된 바와 같이, 프로세싱 상태 및 노브 설정들을 포함하는 모델이 플라즈마 리액터의 제어기 또는 연결되거나 네트워크된 컴퓨터에 의해 액세스가능할 수도 있는, 모델 데이터베이스로부터 획득될 수 있다. 모델은 가상 공간 내에서 규정되는, 목표된 프로세싱 상태 (170)를 포함할 것이다.
- [0087] 다시, 상기 언급된 바와 같이, 가상 공간은 데이터 스트림들 (136)내에서 발견된 센서 출력을 나타내거나 기술하는 데이터를 나타낸다. 현재 프로세싱 상태 (172)는 적어도 센서들 (136)로부터의 데이터 스트림들로부터 획득된 데이터로부터 도출된다. 상기 언급된 바와 같이, 현재 프로세싱 상태는 리액터 벽 표면 다이내믹스 (182)로부터 정보 프로세스, 및 선택가능하게 현상학적 모델 (184)을 포함할 수 있다. 프로세싱 플로우의 기술의 단순함을 위해, 머신 러닝을 사용하는 다변수 프로세싱이 프로세싱 상태 (400)를 비교하는 동작에 의해, 현재 프로세싱 상태 (172)와 목표된 프로세싱 상태 (170)사이의 차를 식별할 것이다.
- [0088] 검증 동작 (402)은 또한 플라즈마 리액터 (100)에 의한 실제 프로세싱이 목표된 프로세싱 상태 (170)와 동기화되는지 여부를 결정하기 위해, 다변수 프로세싱 (150')에 의해 사용될 수 있다. 따라서 검증 (402)은 임의의 조정들이 검증 (402)을 고려하도록 프로세싱 상태 (400)의 보상에 대한 조정들을 허용할 것이다. 따라서 다변수 프로세싱 (150')의 출력은 가상 공간에서 보상 벡터 (184)를 생성할 것이다. 발생하는 보상 벡터 (184)는 모델 (154)에 대한 업데이트 (406)로서 사용될 것이고, 이는 프로세싱 볼륨 내에서 발생하는 실제 다이내믹스 및 센서들에 의해 센싱되고 생성될 데이터 스트림들에 기초하여 목표된 프로세싱 상태를 업데이트하는, 학습 프로세스로서 작용한다. 이 예에서, 가상 공간에 있는 보상 벡터들 (184)은 보상 벡터들이 어느 노브들을 조정할 지 및 조정량을 식별하기 위해 실제 공간으로 변환되는, 동작 (404)에서 변환된다.
- [0089] 따라서 발생하는 보상 값들 $K_1(r,t)-K_n(r,t)$ 은 튜닝 노브들 (134)에 적용될 것이고, 플라즈마 리액터 (100)에 적용된다. 상기 언급된 바와 같이, 튜닝 노브들에 대한 변화들의 적용은 튜닝 노브들의 설정들에 대한 특정한 변화들에 따라, 다양한 형태로 적용될 수 있다. 일부 노브들은 밸브들로서, 일부는 디지털 입력으로서, 일부는 주파수들로서, 일부는 전력 레벨들로서, 일부는 가스 플로우로서, 일부는 전극 포지셔닝 간격으로서, 일부는 매칭 네트워크들에서 커패시터 설정들로서, 일부는 온도 설정들로서, 일부는 정전 척 온도로, 일부는 진공 압력으로, 일부는 펌핑 레이트로, 일부는 프로세싱 시간으로, 일부는 혼합비율로, 그리고 특정한 레시피 및/또는 리액터 셋업에 커스텀된 보다 많은 설정들을 나타낸다. 튜닝 노브들에 의해 제어된 이들 예시적인 설정들은 단지 예들이고, 보다 많은 예들이 존재할 수 있다. 게다가, 튜닝 노브들에 대한 참조는 실제 물리적 노브들로 보여야 할 뿐만 아니라, 단순히 특정한 타입의 제어, 입력, 또는 변수에 대한 설정의 특정한 타입에 대한 식별

자로 보여야 한다. 물론, 일부 실시예들에서, 튜닝 노브는 실제로 노브일 수도 있다.

[0090] 도 7b는 일 실시예에 따른, 프로세싱 상태를 유지하기 위한 머신 러닝의 예시적인 구현예를 예시한다. 이 예에서, 머신 러닝 엔진은 실시간으로 사용될 수 있다. 경계 내에서 프로세싱을 계속하고 임의의 일 지점에서 필요하지 않거나 과도한 구현에 설정 변화들의 위험을 방지하기 위해, 구현예는 도 7b에 도시된 바와 같이, 웨이퍼 프로세싱 직전에 리액터 프로세싱 상태의 체크를 사용한다. 이러한 방식으로, 활성 웨이퍼 프로세싱이 발생할 수 있고, 챔버 세정/준비 동작들 (예를 들어, 리액터 시즈닝을 포함) 이 이어진다. 헬스 모니터링 동작이, 활성 웨이퍼 프로세싱에 들어가기 직전에 안전 체크로서 수행될 수 있다. 인식될 수 있는 바와 같이, 이 전략은 챔버가 웨이퍼를 취하기 전에 올바른 상태에 있고 웨이퍼들의 미스 프로세싱 (misprocessed) 위험을 감소시킨다는 것을 보장할 것이다.

[0091] 도 8은 일 실시예에 따른, 예시적인 프로세스 동작 (500) 을 예시한다. 이 예에서, 목표된 프로세싱 상태 값들을 달성하기 위해 근사화된 튜닝 노브들의 설정들을 사용한 리액터 내 기관의 프로세싱이 동작 (502) 에서 규정된다. 일 실시예에서, 프로세싱 상태 조정은 산출 기관들의 프로세싱 동안 수행될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 프로세싱 상태 조정은 습식 세정에 이어, 챔버 시즈닝 동안 수행될 수 있다. 이 예에서, 습식 세정 동작 프로세스가 수행된 후 프로세싱이 개시되고 챔버가 시즈닝되고 산출 기관들의 프로세싱을 위해 준비되게 하는 것이 가능하다.

[0092] 프로세싱 동안, 동작 (504) 에서 센서들로부터의 데이터 스트림들은 리액터로부터 다변수 프로세서로 전달되거나 리액터에서 기관을 프로세싱한다. 동작 (506) 은 리액터 내에서 목표된 프로세싱 상태를 달성하기 위해, 튜닝 노브들에 대한 활성 모니터링 및 조정을 도시한다. 동작 (508) 에서, 현재 프로세싱 상태 값들은 다변수 프로세서에 의한, 데이터 스트림들의 검사에 의해 모니터링된다. 상기 언급된 바와 같이, 다변수 프로세서는 보상 백터에 대한 값들을 보다 정확하게 식별하기 위해, 머신 러닝에 유용한 다른 입력들을 가질 수 있다.

[0093] 동작 (510) 에서, 현재 프로세싱 상태 값들은 다변수 프로세서에 의해 목표된 프로세싱 상태 값들과 비교된다. 이 비교는 동작 동안 실시간으로 연속적으로 수행되는 것이 바람직하다. 또 다른 실시예에서, 이 비교는 주기적으로, 또는 컴퓨터 프로그램에 의한 인스트럭션시 또는 수동 입력을 통해 사용자에 의해, 수행될 수 있다. 동작 (512) 에서, 그리고 리액터의 특정한 노브(들)에 대한 조정이 다변수 프로세서에 의해 수행된 비교 동작으로부터 도출된 조정 값들과 함께 적용된다. 동작 (514) 은 모니터 데이터 스트림들 및 비교된 프로세싱 상태 값들과 상관될 때 노브 설정들에 대해 이루어진 학습 변동들로 모델을 업데이트한다. 이러한 방식으로, 모델들은 특정한 리액터 및 특정한 레시피에 대한 다변수 프로세서의 머신 러닝에 의해 학습된 정보에 기초하여 계속해서 업데이트된다.

[0094] 동작 (516) 에서, 프로세스가 모니터링하고 조정들을 적용하는 것을 계속해서 하는지 결정된다. 하나 이상의 기관들의 프로세싱 동안, 프로세스는 목표된 프로세싱 상태와 일치하는 프로세싱 상태를 유지하기 위해 이루어진 조정들로 모델의 업데이트를 계속할 수 있는, 모니터링으로 계속될 수 있다. 노브들에 대한 설정들의 이 연속적인 모니터링 및 적용하는 것은 점점 보다 많은 웨이퍼들이 리액터에서 프로세싱될 때 발생할 수도 있는 프로세스 드리프트를 제어하는 것을 보조한다. 상기 언급된 바와 같이, 보다 많은 웨이퍼들의 리액터 내에서 프로세싱됨에 따라, 보다 많은 미립자 빌드업 또는 부분적인 마모가 프로세싱 볼륨 내부에서 발생할 것이다. 이들 물리적 변화들의 가장 본질은 발생하는 웨이퍼의 프로세싱에서 드리프트를 유발할 것이다. 그러나, 프로세싱 상태가 모니터링되기 때문에, 이들 변화들은 센서들로부터 수집될 때 검출된 프로세싱 상태로 나타날 것이다.

[0095] 이들 드리프트 발생이 검출되기 때문에, 다변수 프로세서와 연관된 머신 러닝은 목표된 프로세싱 상태를 달성하는 상태의 리액터에 의한 프로세싱을 유지하도록, 리액터의 노브들에 대한 조정들이 이루어질 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 이들 실시간 변화들을 제어 노브들에 대한 변화들에 의해 프로세싱 상태로 만드는 것에 더하여, 다양한 검증 단계들이 임의의 수의 웨이퍼들의 프로세싱 후에 수행될 수 있다. 이 검증은 노브들에 대해 이루어진 모든 조정들을 조정하기 위해, 그리고 목표된 프로세싱 상태가 목표된 결과를 더 이상 달성하지 않을 때 변화들을 방지하기 위해 피드백될 수 있다. 유리하게, 목표된 프로세싱 상태는 머신 러닝에 의한 조정이 리액터의 실제 달성가능한 결과들 및 퍼포먼스와 일치하는 방식으로 제어 노브들에 대해 조정들을 적용하는 것을 계속할 수 있도록, 검증 및/또는 모니터링으로부터 피드백을 사용하여 업데이트된다.

[0096] 게다가, 드리프트를 보정함으로써, 세정을 위해 리액터가 정지 (bring down) 될 것을 필요로 하기 전에, 특정한 프로세스 레시피들에 대한 리액터에 의해 고 레벨의 퍼포먼스를 달성하는 것, 그리고 또한 리액터로부터 보다 고 레벨의 웨이퍼 프로세싱 쓰루풋을 달성하는 것이 가능하다는 것이 인식되어야 한다. 부가적으로, 모니터링

이 습식 세정에 이어 시즈닝 단계들 동안 수행된 후, 또한 실제로 필요하지 않고 산출 웨이퍼들에 사용될 수 있는 산출 시간을 실제로 감소시키는 시즈닝 동작들을 계속하여 시간을 낭비하는 대신, 산출 웨이퍼들을 보다 빨리 시작하는 것이 가능하다.

[0097] 도 9는 일 실시예에 따른, 검증 (600) 동작들 및 드리프트 제어 동작들 (650) 을 위해 수행될 수 있는 방법 동작들의 예를 예시한다. 검증 동작들 (600) 은 리액터가 프로세스 산출 웨이퍼들을 프로세싱할 준비가 된 상태에 도달했는지 여부를 결정하기 위해 수행될 수 있다. 예로서, 이 프로세싱은 챔버 시즈닝 동작들 동안 리액터 상에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 리액터가 산출 웨이퍼들의 프로세싱에 진입한 후 드리프트 제어 (650) 가 수행될 수 있고, 튜닝 노브들에 대한 변화들이 리액터의 사용으로 인해 발생하는 드리프트를 보정하기 위해 요구된다.

[0098] 동작 (602) 에서, 프로세스 타입 및 리액터 타입에 관한 정보가 수신된다. 이 정보는 동작 (604) 에서 모델 데이터베이스로부터의 모델을 식별하기 위해 사용된다. 모델 데이터베이스는 미리 결정된 리액터에 대한 특정한 프로세스들을 위해 사용될 수 있는 복수의 모델들을 포함할 수도 있고, 모델링된 고유의 특정한 프로세스들을 갖는 다양한 리액터들을 포함할 수도 있다. 상이한 타입들의 리액터들 및 이들 리액터들에 대해 모델링된 프로세스들을 포함하는 데이터베이스의 일 예는 도 4의 데이터베이스 (320) 이다. 또 다른 실시예에서, 모델은 파일로부터 획득될 수도 있고, 또는 리액터에 연결된 제어기 또는 컴퓨터로 기술자 또는 엔지니어에 의해 입력될 수도 있다.

[0099] 동작 (606) 에서, 기관의 프로세싱은 모델에서 식별된 바와 같은, 튜닝 노브들의 설정들을 사용하여 리액터 내에서 개시된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 모델 (230j) 은 목표된 프로세싱 상태 (234) 및 튜닝 노브 설정들 (232) 과 연관된다. 따라서, 동작 (606) 에서 사용된 튜닝 노브 설정들은, 예를 들어, 습식 세정 동작 후에 리액터가 처음 사용되고 시즈닝되어야 할 때와 같이, 모델로부터 처음으로 획득될 것이다. 동작 (607) 에서, 기관의 프로세싱 동안, 센서들로부터의 데이터 스트림들은 리액터 내에서 기관을 프로세싱하는 동안 다변수 프로세서로 전달된다. 상기 언급된 바와 같이, 다변수 프로세서는 목표된 프로세싱 상태 값들에 따라 다시 프로세싱하기 위해 튜닝 노브들에 대해 요구된 수정들의 타입들을 식별하고 학습하기 위해 활용되는, 머신 러닝 엔진을 포함할 것이다. 동작 (608) 에서, 현재 프로세싱 상태 값들은 다변수 프로세서에 의한 데이터 스트림들의 검사에 의해 모니터링된다.

[0100] 동작 (610) 에서, 현재 프로세싱 상태 값들은 다변수 프로세서에 의해 목표된 프로세싱 상태 값들과 비교된다. 현재 프로세싱 상태가 이제 목표된 프로세싱 상태에 따른 상태라면, 프로세싱 상태는 동작 (611) 에서 검증된다. 예로서, 이 때, 현재 프로세싱 상태가 목표된 프로세싱 상태와 매칭한 후, 시즈닝 동작이 완료되었다고 할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 현재 프로세싱 상태가 목표된 프로세싱 상태와 매칭하기 전에, 다변수 프로세서는 리액터를 목표된 프로세싱 상태와 매칭하는 상태로 두기 위해, 튜닝 노브들에 대해 이루어질 수 있는 조정들을 식별하거나 식별하도록 사용되는, 보상 벡터를 식별할 수 있다.

[0101] 이 동작은 시즈닝을 겪는 리액터를 신속하게 산출 상태로 두는 신속 처리를 위해 수행 될 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 이는 리액터가 목표된 프로세싱 상태에 실제로 도달할 때 또는 튜닝 노브들을 통해 보다 신속하게 프로세싱 상태에 도달하도록 조정될 때를 식별하는 것이 이제 가능하기 때문에, 리액터들이 임의로 긴 시간 기간 동안 시즈닝될 것을 더 이상 요구하지 않기 때문에 유리하다.

[0102] 프로세싱이 산출 웨이퍼 프로세스들 동안 기관 상에서 수행된다면, 동작은 목표된 프로세싱 상태로 프로세싱을 시프팅하기 위해 현재 프로세싱 상태에 대해 이루어질 조정들을 식별하기 위해 보상 벡터가 생성되는, (612) 로 계속될 수 있다. 동작 (614) 에서, 보상 벡터는 조정될 노브 각각 및 상기 조정량을 식별하는 실제 공간 조정들로 변환된다. 동작 (616) 에서, 조정은 리액터의 특정된 노브 각각에 적용된다.

[0103] 프로세싱이 동작 (618) 에서 계속된다면, 리액터 내에서 웨이퍼들의 추가적인 프로세싱이 계속될 때 드리프트가 발생하는 것을 방지하기 위해 모니터링 및 조정들의 적용 (620) 이 계속될 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 리액터가 프로세스 웨이퍼들을 프로세싱하기 위해 계속해서 사용될 때, 리액터 벽들에 재료가 빌드업되고 소모성 부품이 시간이 흐름에 따라 낡을 (used up) 수도 있기 때문에 프로세스 드리프트가 발생할 것으로 예상된다. 그러나, 머신 러닝을 사용하는 다변수 프로세서를 사용하여 조정들을 함으로써, 현재 프로세싱 상태를 목표된 프로세싱 상태와 실질적으로 균형으로 유지하기 위해 튜닝 노브들에 대해 조정들을 하는 것이 가능하다.

[0104] 도 10은 일 실시예에 따른, 리액터 시즈닝 동작 (704a) 후에 리액터를 꺼내는 (bringing up) 동작의 예를 예시한다. 동작 (702) 에서, 리액터는 세정되고 그리고/또는 유지보수 (maintenance) 가 리액터 상에서 수행된다.

이 동작 동안, 리액터는 개방될 수도 있고, 부품이 교체될 수도 있고, 부품이 세정될 수도 있고, 부품이 재컨디셔닝될 수도 있고 그리고/또는 동작을 위해 단순히 어셈블될 수도 있다. 언급된 바와 같이, 리액터 시즈닝 (704a) 은 동작 (706) 에서 레시퍼에 대한 산출 기관들의 프로세싱을 위해 준비-상태의 리액터 검증을 포함한다. 이 프로세싱은 리액터 시즈닝 동작들 동안 리액터의 프로세싱 상태를 모니터링하기 위해 수행될 것이다. 상기 언급된 바와 같이, 시즈닝 동작들은 챔버를 시즈닝하도록 설계되는 복수의 기관들을 사용하여 리액터를 실행하는 것을 포함할 수도 있고, 프로세싱된 기관들이 목표된 또는 타겟팅된 프로세스를 사용하여 산출 기관들에 의해 수행될 타입의 프로세싱을 흉내내거나 모방하도록 선택될 것이다.

[0105] 일 실시예에서, 준비-상태의 리액터 검증은, 도 2를 참조하여 기술된 바와 같이, 머신 러닝 엔진 (180) 에 의해 수행된 프로세싱마다, 현재 프로세싱 상태가 목표된 프로세싱 상태와 매칭하거나 실질적으로 매칭된다고 다변수 프로세싱이 결정할 때 달성된다. 일단 챔버가 시즈닝된 것으로 결정되고, 산출 프로세싱을 위해 준비된다면, 방법은 산출 기관들의 프로세싱이 리액터 내에서 레시퍼를 시작할 수 있는 동작 (708) 으로 이동한다.

[0106] 리액터 내에서 하나 이상의 웨이퍼들의 프로세싱 동안, 드리프트 제어는 동작 (710) 에서 산출 프로세싱 동안 프로세싱될 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 드리프트 제어는 보다 많은 기관들이 프로세싱됨에 따라 발생할 수도 있는, 현재 프로세싱 상태가 목표된 프로세싱 상태로부터 드리프트될 때를 식별하기 위해, 다변수 프로세서를 활용하는 것을 포함한다. 일 실시예에서, 튜닝 노브들에 대한 조정을 계속해서 업데이트함으로써, 효과적이고 유용한 리액터의 동작을 보다 많은 웨이퍼들을 위해 연장하기 위해, 리액터 현재 프로세싱 상태를 목표된 프로세싱 상태와 비슷하게 유지하는 것이 가능하다.

[0107] 도 11은 리액터가 동작 (702) 에서 세정되거나 유지보수될 수도 있는, 또 다른 실시예를 예시한다. 이 예에서, 리액터 시즈닝 (704b) 은 시즈닝 동안 리액터에 의해 준비-상태에 도달하는 프로세스에 대한 부가적인 동작들을 포함한다. 이 방법에서, 레시퍼 동안 기관들의 산출 프로세싱을 위한 준비-상태의 리액터 검증은 도 10에서 행해진 바와 같이, 동작 (706) 에서 시작된다. 리액터를 통한 하나 이상의 웨이퍼들의 시즈닝을 실행하는 것을 포함하는 검증 프로세스 동안, 방법은 드리프트 제어를 인에이블하기 위해 현재 프로세싱 상태가 경계 내에 있는지 여부의 결정이 이루어지는, 동작 (712) 을 포함한다. 프로세싱 상태는 하나 이상의 튜닝 노브들에 대한 조정들이 수행될 수 있고, 목표된 프로세싱 상태에 도달할 수 있다고 결정 또는 미리 규정될 때 경계 내에 있도록 고려된다.

[0108] 이 예에서, 드리프트 제어는 시즈닝 웨이퍼들을 계속해서 프로세싱하지 않고 리액터를 산출 프로세싱을 위한 준비 상태에 두기 위해, 리액터 시즈닝 동안 리액터의 튜닝 노브들의 설정들을 조정하는 맥락에서 사용된다. 동작 (714) 에서, 프로세싱 상태가 경계 내에 있다고 결정되면, 보상이 리액터 시즈닝을 빨리 나가기 위해 리액터의 튜닝 노브들에 적용된다. 예로서, 일부 시즈닝 동작들은 8 내지 12 시간 근방인, 몇 시간 걸릴 수도 있고, 종래의 기법들은 지나치다 싶을 정도로 조심하고, 경험에 기초하여, 보다 긴 기간 동안 시즈닝을 위해, 시즈닝 웨이퍼들을 프로세싱한다. 그러나, 오퍼레이터들이 경험에 의해, 이들이 지나치다 싶을 정도로 조심하기 때문에, 이 타입의 시즈닝을 함으로써 필요한 것보다 길게 리액터를 시즈닝할 것이다.

[0109] 일 실시예에 따른, 프로세싱 (704b) 은 리액터를 목표된 프로세싱 상태 값들과 일치하는 상태에 두기 위해 시즈닝 웨이퍼들을 계속해서 프로세싱하지 않고 튜닝 노브들을 변화시킴으로써 리액터가 조정될 수 있을 때의 식별을 인에이블할 것이다. 따라서, 리액터는 산출 웨이퍼들을 프로세싱하기 위해 보다 빨리 실제 산출로 들어갈 수 있고, 시즈닝 비용을 방지할 수 있고 최대로 가능한 정도로 산출 프로세싱을 위해 리액터를 사용할 수 없게 되는 비용 낭비를 방지할 수 있다. 이 실시예에서, 동작 (708 및 710) 은 도 10과 유사하게 프로세싱된다.

[0110] 본 명세서에 기술된 실시예들을 통해, 프로세싱 툴들은 최소의 사용자 입력으로 리액터의 올바른 프로세싱 상태를 유지하는 방법에 대한 결정을 하기 충분히 지능이 있게 된다. 기존의 제조 제어 시스템들 및/또는 인간 오퍼레이터 경험으로부터 툴의 조건을 유지하기 위해 이러한 툴의 능력의 의존성을 감소시키기 때문에, 이 개념을 확장하는 것이 반도체 프로세싱 분야에서 가장 효과적이다. 잘 알려진 바와 같이, 오퍼레이터/엔지니어 각각이 각자 고유의 방법론을 가질 것이고 이들이 직장을 옮기면, 새로운 직원이 훈련되어야 하기 때문에, 인간 오퍼레이터 경험은 또한 신뢰할 수 있는 방법이 아니다. 기술된 실시예들은 다변수 프로세싱의 머신 러닝 엔진 (180) 이 자신의 상태를 규정하기 위해 툴의 실제 실시간 센서 데이터를 사용하기 때문에, 특히 상이한 종래 기법들이다. 모니터 웨이퍼들 및 연관된 계측 툴들에만 의존하는, 많은 현재 기법들과 반대된다. 상기 주지된 바와 같이, 본 발명의 실시예들은 모니터 웨이퍼들 (및 예칭 레이트 데이터) 을 사용할 수도 있지만, 이들의 용법은 이제 프로세스를 실시간 목표된 프로세싱 상태로 다시 시프트하기 위해 다변수 프로세싱에 의해 식별된 학습된 보상 값들을 검증할 목적을 위한 것이다.

- [0111] 상기 언급된 바와 같이, 개시된 실시예들의 유일한 특징은 챔버 매칭을 수행하기 위해 사용자의 경험이 직접적으로 필요하지 않다는 것이다. 이들 리액터들은 매우 복잡하고 보통 다양한 경험 레벨들의 사용자들을 가질 것이다. 그리고, 많은 사용자들은 리액터 동작들을 제한적으로 이해하고, 리액터에 대해 다소 정확한 프로세싱 상태를 달성하기 위해 튜닝하는 가산된 (enumerable) 시간들을 소비할 수도 있다. 기술된 머신 러닝 엔진을 사용하는 것은 툴들이 발전된 레벨의 가상 사용자를 구비하고 시스템들이 시의적절하게 그리고 실시간 방식으로 정확한 결정들을 할 수 있다는 것을 보장할 것이다. 이 양태는 소비자들에 대해 프로세스들을 특성화하는 툴 제조사들 뿐만 아니라, 툴 공급자들로부터 구매한 툴들에 대한 고유의 프로세스들을 준비해야 하는 툴 소비자들에게 유용하다.
- [0112] 본 명세서에 기술된 다양한 교시들의 확장을 통해, 머신 러닝 엔진은 또한 최초 프로세스 경향들을 개발하고 이를 머신 러닝 엔진에 공급하는 것을 포함하는, RPD (Rapid Process Development) 에 적용가능할 수도 있다. 이어서 엔진이 목표된 상태를 예측하도록 시도하고 프로세스를 훨씬 고속으로 튜닝할 수 있다. 이는 프로세스 개발 시간을 감소시킬 것이고 사용자 경험 레벨에 대한 종속성을 감소시킬 것이다.
- [0113] 일 실시예에서, 상기 도 1을 참조하여 기술된, 제어기 (120) 는, 프로세서, 메모리, 소프트웨어 로직, 하드웨어 로직 및 플라즈마 프로세싱 시스템과 통신, 모니터링 및 제어하는 입력 서브시스템 및 출력 서브시스템을 포함할 수도 있다. 제어기 (120) 는 또한 예를 들어, 플라즈마 프로세싱 시스템을 동작시키기 위한, 다양한 동작 파라미터들 (예를 들어, 전압, 전류, 주파수, 압력, 플로우 레이트, 전력, 온도, 등) 에 대한 복수의 설정 지점들을 포함하는 하나 이상의 레시피들의 프로세싱을 핸들링할 수도 있다. 게다가, 보다 상세한 예들이 에칭 동작들 (예를 들어, 에칭 툴들) 을 참조하여 제공되지만, 동작들은 증착 동작들 (예를 들어, 증착 툴들) 을 위해 동일하게 활용될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 검증 동작들에서, 에칭 퍼포먼스를 검증하는 대신, 검증은 증착 퍼포먼스의 검증일 수 있다. 증착 퍼포먼스는 제한 없이, 다양한 방식으로 정량화될 수 있고, 다양한 타입들의 계측 방법들 및/또는 툴들이 사용될 수도 있다. 게다가, 증착 퍼포먼스는 인-시츄로 또는 오프-라인으로 측정되고, 센싱되고, 근사화되고 그리고/또는 테스트될 수도 있다.
- [0114] 일부 구현예들에서, 제어기는 상술한 예들의 일부일 수도 있는 시스템의 일부일 수 있다. 이러한 시스템들은, 프로세싱 툴 또는 툴들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱용 플랫폼 또는 플랫폼들, 및/또는 특정 프로세싱 컴포넌트들 (웨이퍼 페데스탈, 가스 플로우 시스템, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 이들 시스템들은 반도체 웨이퍼 또는 기판의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자장치에 통합될 수도 있다. 전자장치들은 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부품들을 제어할 수도 있는 "제어기"로서 지칭될 수도 있다. 제어기는, 시스템의 프로세싱 요건들 및/또는 타입에 따라서, 프로세싱 가스들의 전달, 온도 설정사항들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정사항들, 진공 설정사항들, 전력 설정사항들, 무선 주파수 (RF) 생성기 설정사항들, RF 매칭 회로 설정사항들, 주파수 설정사항들, 플로우 레이트 설정사항들, 유체 전달 설정사항들, 위치 및 동작 설정사항들, 툴들 및 다른 이송 툴들 및/또는 특정 시스템과 연결되거나 인터페이스된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그램될 수도 있다.
- [0115] 일반적으로 말하면, 제어기는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 설정 동작들을 인에이블하고, 엔드포인트 측정들을 인에이블하는 등을 하는 다양한 집적 회로들, 로직, 메모리, 및/또는 소프트웨어를 갖는 전자장치로서 규정될 수도 있다. 집적 회로들은 프로그램 인스트럭션들을 저장하는 펌웨어의 형태의 칩들, 디지털 신호 프로세서들 (DSP), ASIC (application specific integrated circuit) 으로서 규정되는 칩들 및/또는 프로그램 인스트럭션들 (예를 들어, 소프트웨어) 을 실행하는 하나 이상의 마이크로프로세서들, 또는 마이크로제어기들을 포함할 수도 있다. 프로그램 인스트럭션들은 반도체 웨이퍼 상에서 또는 반도체 웨이퍼에 대한 특정 프로세스를 실행하기 위한 동작 파라미터들을 규정하는, 다양한 개별 설정사항들 (또는 프로그램 파일들) 의 형태로 제어기로 또는 시스템으로 전달되는 인스트럭션들일 수도 있다. 일부 실시예들에서, 동작 파라미터들은 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 산화물들, 실리콘, 이산화 실리콘, 표면들, 회로들, 및/또는 웨이퍼의 다이들의 제조 동안에 하나 이상의 프로세싱 단계들을 달성하도록 엔지니어링된 프로세스에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.
- [0116] 제어기는, 일부 구현예들에서, 시스템에 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 이와 달리 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로 될 수 있는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 가능하게 할 수 있는 공장 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있을 수도 있다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현 진행을 모니터링하고, 과거 제조 동작들의 이력을 조사하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 계측치들을 조사하고, 현 프로세싱의 파라미터들을

변경하고, 현 프로세싱을 따르는 프로세싱 단계들을 설정하고, 또는 새로운 프로세스를 시작하기 위해서 시스템으로의 원격 액세스를 인에이블할 수도 있다. 일부 예들에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함할 수도 있는 네트워크를 통해서 프로세스 레시피들을 시스템에 제공할 수 있다. 원격 컴퓨터는 차후에 원격 컴퓨터로부터 시스템으로 전달될 파라미터들 및/또는 설정사항들의 입력 또는 프로그래밍을 인에이블하는 사용자 인터페이스를 포함할 수도 있다. 일부 예들에서, 제어기는 하나 이상의 동작들 동안에 수행될 프로세스 단계들 각각에 대한 파라미터들을 특정한, 데이터의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 이 파라미터들은 제어기가 제어하거나 인터페이스하도록 구성된 툴의 타입 및 수행될 프로세스의 타입에 특정적일 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 상술한 바와 같이, 제어기는 예를 들어 서로 네트워크되어서 함께 공통 목적을 위해서, 예를 들어 본 명세서에 기술된 프로세스들 및 제어들을 위해서 협력하는 하나 이상의 개별 제어기들을 포함함으로써 분산될 수도 있다. 이러한 목적을 위한 분산형 제어기의 예는 챔버 상의 프로세스를 제어하도록 조합되는, (예를 들어, 플랫폼 레벨에서 또는 원격 컴퓨터의 일부로서) 원격으로 위치한 하나 이상의 집적 회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로들일 수 있다.

[0117] 비한정적으로, 예시적인 시스템들은 플라즈마 에칭 챔버 또는 모듈, 증착 챔버 또는 모듈, 스핀-린스 챔버 또는 모듈, 금속 도금 챔버 또는 모듈, 세정 챔버 또는 모듈, 베벨 에지 에칭 챔버 또는 모듈, PVD (physical vapor deposition) 챔버 또는 모듈, CVD (chemical vapor deposition) 챔버 또는 모듈, ALD (atomic layer deposition) 챔버 또는 모듈, ALE (atomic layer etch) 챔버 또는 모듈, 이온 주입 챔버 또는 모듈, 트랙 (track) 챔버 또는 모듈, 및 반도체 웨이퍼들의 제조 및/또는 제작 시에 사용되거나 연관될 수도 있는 임의의 다른 반도체 프로세싱 시스템들을 포함할 수도 있다.

[0118] 상술한 바와 같이, 툴에 의해서 수행될 프로세스 단계 또는 단계들에 따라서, 제어기는, 반도체 제작 공장 내의 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기 또는 툴들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.

[0119] 도 12는 실시예들을 구현하기 위한 컴퓨터 시스템의 단순화된 개략도이다. 본 명세서에 기술된 방법들이 종래의, 범용 컴퓨터 시스템과 같은, 디지털 프로세싱 시스템을 사용하여 수행될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 단 하나의 기능을 수행하도록 설계되거나 프로그래밍된 특수 목적 컴퓨터들이 대안적으로 사용될 수도 있다. 컴퓨터 시스템은 버스 (810) 를 통해 RAM (random access memory) (806), ROM (read-only memory) (812), 및 대용량 스토리지 디바이스 (814) 에 커플링되는, CPU (central processing unit) (804) 를 포함한다. 시스템 제어기 프로그램 (808) 은 RAM (random access memory) (806) 에 상주하지만, 또한 대용량 스토리지 (814) 내에 상주할 수 있다.

[0120] 대용량 스토리지 디바이스 (814) 는 로컬 또는 리모트일 수도 있는, 플로피 디스크 드라이브 또는 고정된 디스크 드라이브와 같은 지속가능한 데이터 스토리지 디바이스를 나타낸다. 네트워크 인터페이스 (830) 는 다른 디바이스들과의 통신을 허용하는, 네트워크 (832) 를 통한 연결들을 제공한다. CPU (804) 는 범용 프로세서, 특수 목적 프로세서, 또는 특수하게 프로그래밍된 로직 디바이스에서 구현될 수도 있다는 것이 인식되어야 한다. 입력/출력 (I/O) 인터페이스는 상이한 주변장치들과의 통신을 제공하고, 버스 (810) 를 통해 CPU (804), RAM (806), ROM (812), 및 대용량 스토리지 디바이스 (814) 와 연결된다. 샘플 주변 장치들은 디스플레이 (818), 키보드 (822), 커서 제어부 (824), 이동식 매체 디바이스 (834), 등을 포함한다.

[0121] 디스플레이 (818) 는 본 명세서에 기술된 사용자 인터페이스들을 디스플레이하도록 구성된다. 키보드 (822), 커서 제어부 (824), 이동식 매체 디바이스 (834), 및 다른 주변 장치들은 CPU (804) 로 명령 선택들의 정보를 통신하기 위해 I/O 인터페이스 (820) 에 커플링된다. 데이터가 외부 디바이스들로부터 그리고 외부 디바이스들로 I/O 인터페이스 (820) 를 통해 통신될 수도 있다는 것이 인식되어야 한다. 이 실시예들은 또한 유선 기반 네트워크 또는 무선 네트워크를 통해 링크되는 리모트 프로세싱 디바이스들에 의해 태스크들이 수행되는, 분산 컴퓨팅 환경에서 실시될 수 있다.

[0122] 실시예들은 핸드-헬드 디바이스들, 마이크로프로세서 시스템들, 마이크로 프로세서-기반 또는 프로그래밍가능한 가전제품들, 미니 컴퓨터들, 메인프레임컴퓨터들, 등을 포함하는, 다양한 컴퓨터 시스템 구성들을 사용하여 실시될 수도 있다. 실시예들은 또한 태스크들이 네트워크를 통해 링크되는 리모트 프로세싱 디바이스들에 의해 수행되는, 분산 컴퓨팅 환경에서 실시될 수 있다.

[0123] 상기 실시예들을 유념하여, 이 실시예들은 컴퓨터 시스템들에 저장된 데이터를 수반하는 다양한 컴퓨터-구현된 동작들을 채용할 수 있다. 이들 동작들은 물리적 정량들의 물리적 조작을 요구한다. 실시예들의 일부를 형성

하는 본 명세서에 기술된 임의의 동작들은 머신 동작들에 유용하다. 실시예들은 또한 이들 동작들을 수행하기 위한 장치 또는 디바이스에 관련된다. 이 장치는 특수 목적 컴퓨터와 같은, 요구된 목적을 위해 특수하게 구성될 수도 있다. 특수 목적 컴퓨터로서 규정될 때, 컴퓨터는 또한, 여전히 특수 목적을 위해 동작할 수 있지만, 다른 프로세싱, 특수 목적의 일부가 아닌 프로그램 실행 또는 루틴들을 수행할 수 있다. 대안적으로, 동작들은 컴퓨터 메모리, 캐시에 저장되거나 네트워크를 통해 획득된 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들에 의해 선택적으로 활성화되거나 구성된 범용 컴퓨터에 의해 프로세싱될 수도 있다. 데이터가 네트워크를 통해 획득될 때, 데이터는 네트워크 상의 다른 컴퓨터들 예를 들어, 컴퓨팅 리소스들의 클라우드에 의해 프로세싱될 수도 있다.

[0124] 하나 이상의 실시예들이 또한 컴퓨터 판독가능한 매체 상의 컴퓨터 판독가능한 코드로서 제조될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 매체는 그 후에 컴퓨터 시스템에 의해 판독될 수 있는, 데이터를 저장할 수 있는 임의의 데이터 스토리지 디바이스이다. 컴퓨터 판독가능 매체의 예들은 하드 드라이브들, NAS (network attached storage), ROM, RAM, CD-ROMs, CD-Rs, CD-RWs, 자기 테이프들 및 다른 광학 및 비-광학 데이터 스토리지 디바이스들을 포함한다. 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 판독가능 코드가 분산된 방식으로 저장되고 실행되도록, 네트워크-커플링된 컴퓨터 시스템을 통해 분산된 컴퓨터 판독가능 유형의 매체를 포함할 수 있다.

[0125] 방법 동작들이 특정한 순서로 기술되었지만, 다른 하우스키핑 동작들이 동작들 사이에서 수행될 수도 있고, 또는 동작들이 오버레이 동작들의 프로세싱이 목표된 방식으로 수행되는 한, 프로세싱과 연관된 다양한 인터벌들로 프로세싱 동작들의 발생을 허용하는 시스템 내에 분산될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0126] 프로세스 챔버들 및/또는 소모성 부품들을 검사하기 위한 방법들에 관한 보다 많은 정보에 대해, 본 명세서에 참조로서 인용된, 2015년 12월 7일 출원된, 명칭이 "*Estimation of Lifetime Remaining for Consumable Part in a Semiconductor Manufacturing Chamber*" 인 미국 특허 출원번호 제 **14/961,756** 호에 대한 참조가 이루어질 수도 있다.

[0127] 프로세스 조건들을 모니터링하는 방법들 및 설정들을 조정하기 위한 방법들에 관한 보다 많은 정보에 대해, 2016년 8월 3일 출원된, 명칭이 "*Methods and Systems for Monitoring Plasma Processing Systems and Advanced Process and Tool Control*" 인 미국 특허 가 출원번호 제 **62/370,658** 호, 명칭이 "*Integrated electronic hardware for wafer processing control and diagnostic*"인 미국 특허 제 **6,622,286** 호, 명칭이 "*Methods and apparatus to predict etch rate uniformity for qualification of a plasma chamber*"인 미국 특허 제 **8,295,966** 호, 명칭이 "*Arrangement for identifying uncontrolled events at the process module level and methods thereof*"인 미국 특허 제 **8,983,631** 호, 명칭이 "*Methods and apparatus for predictive preventive maintenance of processing chambers*"인 미국 특허 제 **8,473,089** 호, 명칭이 "*Methods and arrangements for in-situ process monitoring and control for plasma processing tools*"인 미국 특허 제 **8,271,121**호, 및 명칭이 "*Methods for constructing an optimal endpoint algorithm*"인 미국 특허 제 **8,538,572** 호에 대한 참조가 이루어지고, 모든 출원은 본 출원의 양수인인 Lam Research Corporation에 양도되었고, 모든 목적들을 위해 본 명세서에 인용되었다.

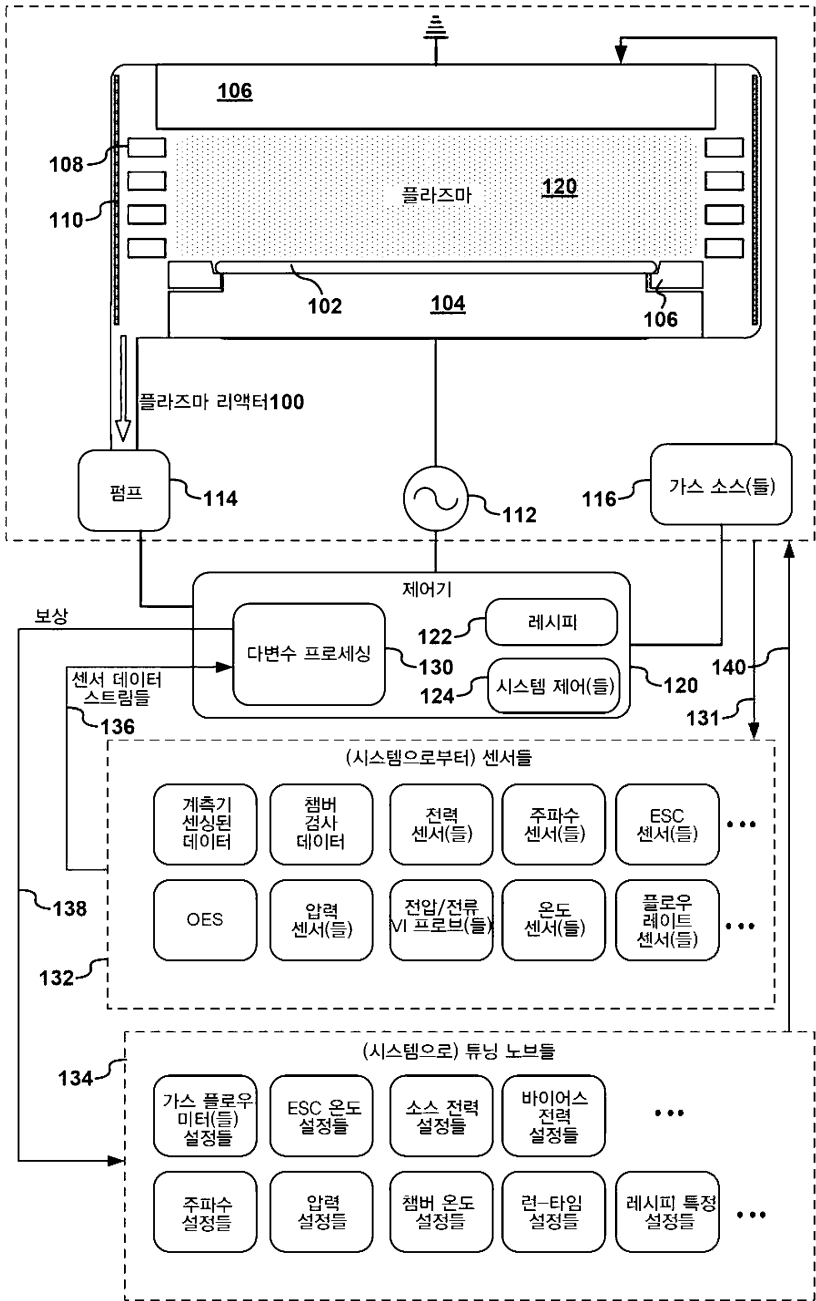
[0128] 머신 러닝 알고리즘들, 현상학적 모델들 및 연관된 프로세스들에 관한 부가적인 정보에 대해, Bertorelle Nicola, University of Padua, Department of Information Engineering의 2010년 6월 10일자 명칭이 "*Virtual Metrology for Semiconductor Manufacturing Applications*"인 학술 논문; Gian Antonio Susto, Università Degli Studi di Padova, School in Information Engineering의 2013년 1월, 명칭이 "*Statistical Methods for Semiconductor Manufacturing*"인 학술 논문; 및 A. Efremov, et al. Department of Electronic Devices and Materials Technology, Sate University of Chemistry and Technology, 7, F. Engels St., 15300 Ivanovo, Russia, 2007년 1월 12일자, 명칭이 "*Etching characteristics and mechanisms of the MgO thin films in the CF4/Ar inductively coupled plasma*"인 학술 논문에 대한 참조가 이루어지고, 각각은 본 명세서에 참조로서 인용된다.

[0129] 또한, 상기 인용된 참조 문헌들 및 출원들에 기술된 실시예들 및 임의의 특정한 피쳐들은, 특정한 실시예들을 규정하거나 인에이블하기 위해, 본 명세서에 기술된 하나 이상의 피쳐들과 결합될 수도 있다.

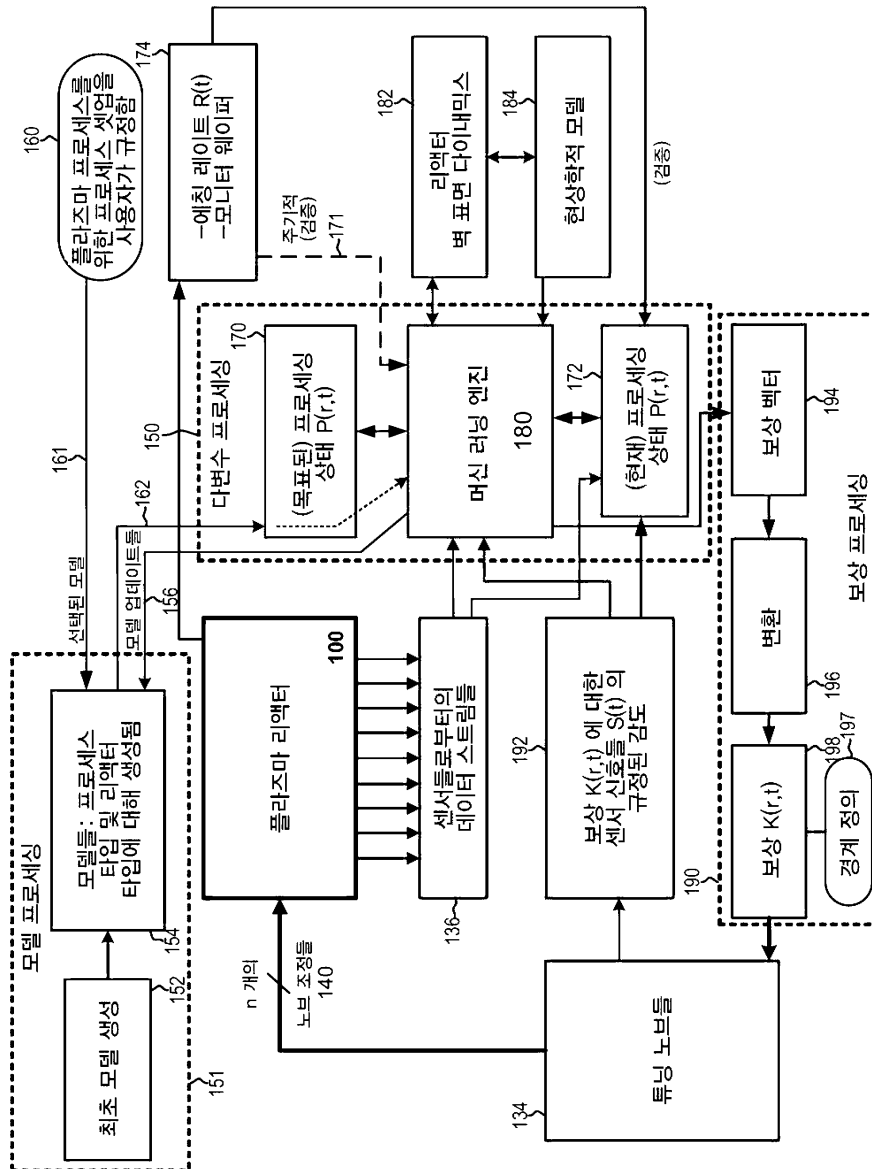
[0130] 진술한 실시예들이 이해의 명확성을 목적으로 다소 상세히 기술되었지만, 특정한 변화들 및 수정들이 첨부된 청구항들의 범위 내에서 실시될 수 있다는 것이 자명할 것이다. 이에 따라, 본 실시예들은 비제한적이고 예시적인 것으로 간주되어야 하고, 이 실시예들은 본 명세서에 제공된 상세들로 제한되지 않고, 첨부된 청구항들의 범위 및 등가물 내에서 수정될 수도 있다.

도면

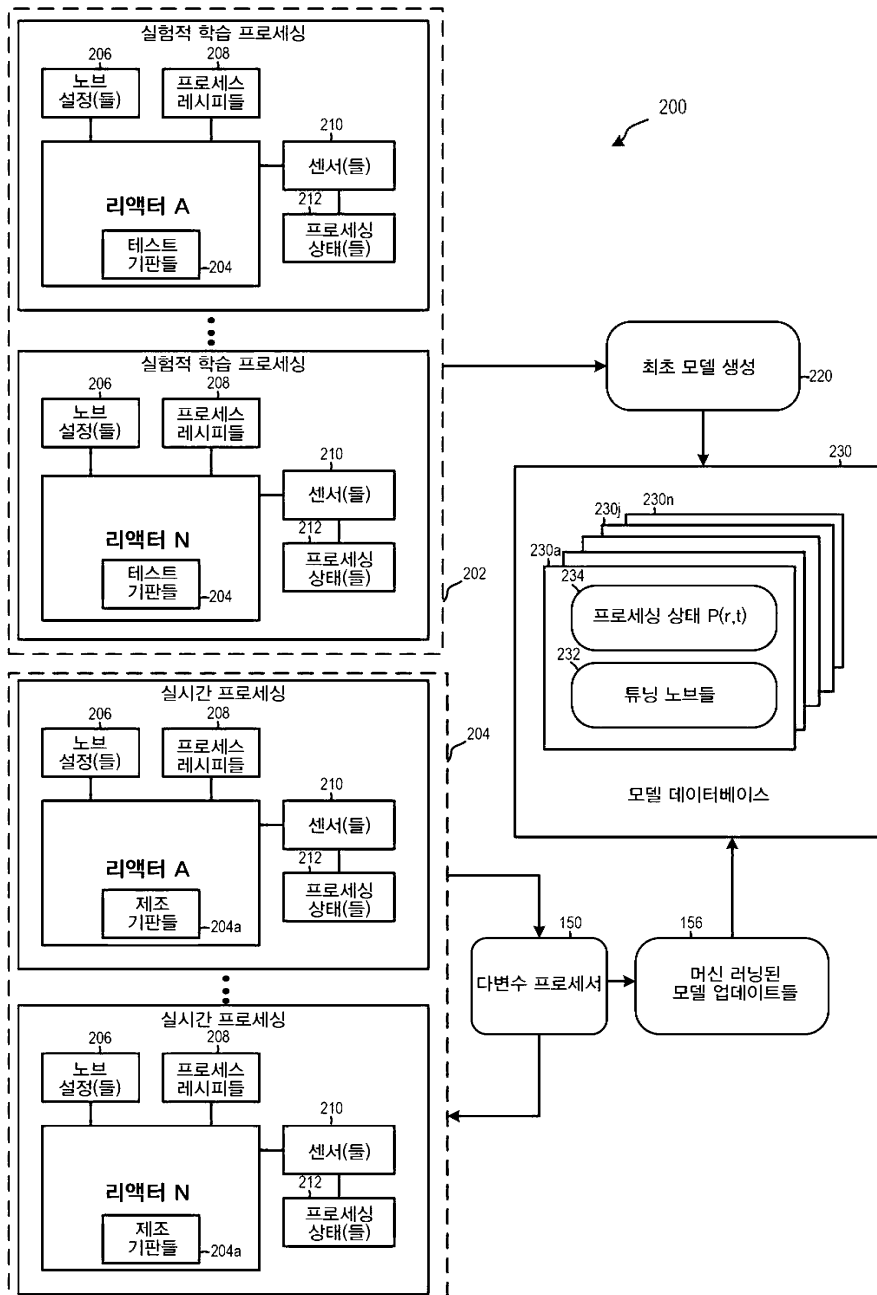
도면1



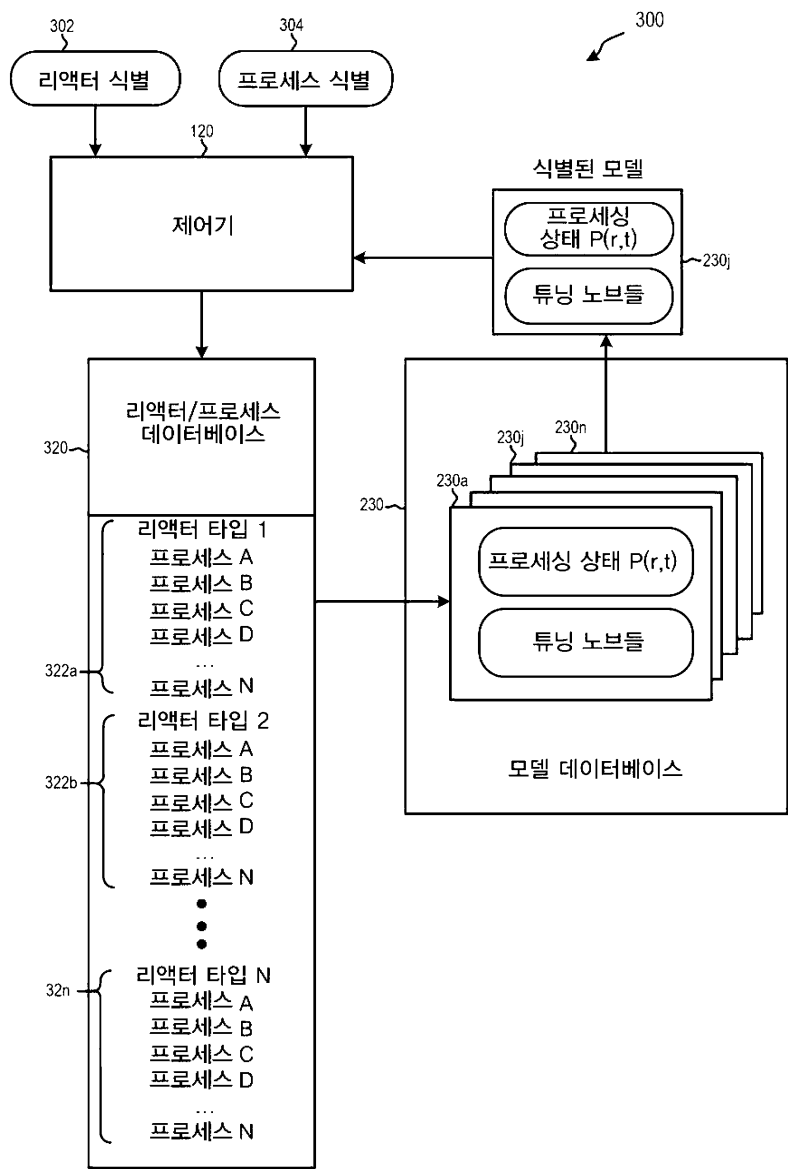
도면2



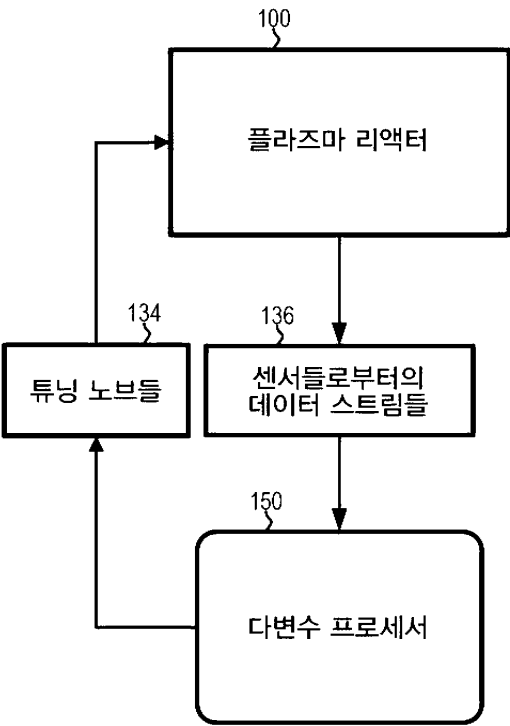
도면3



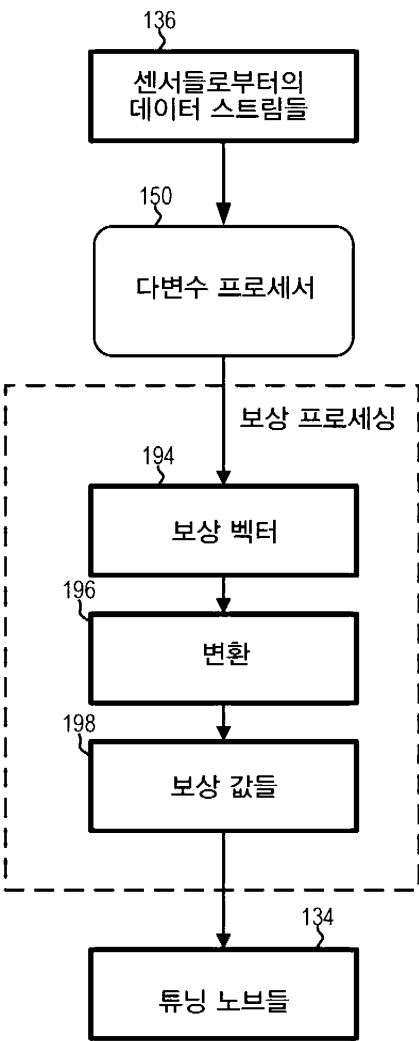
도면4



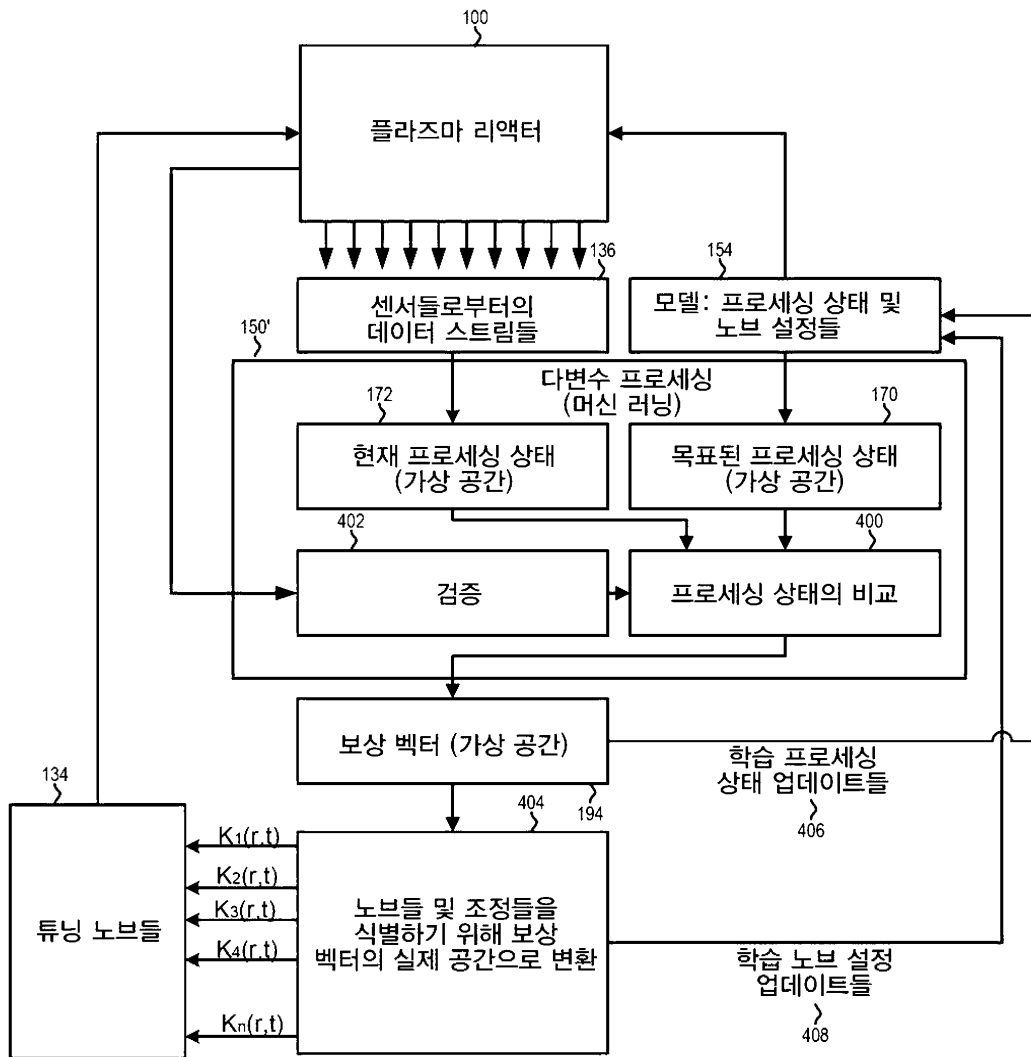
도면5

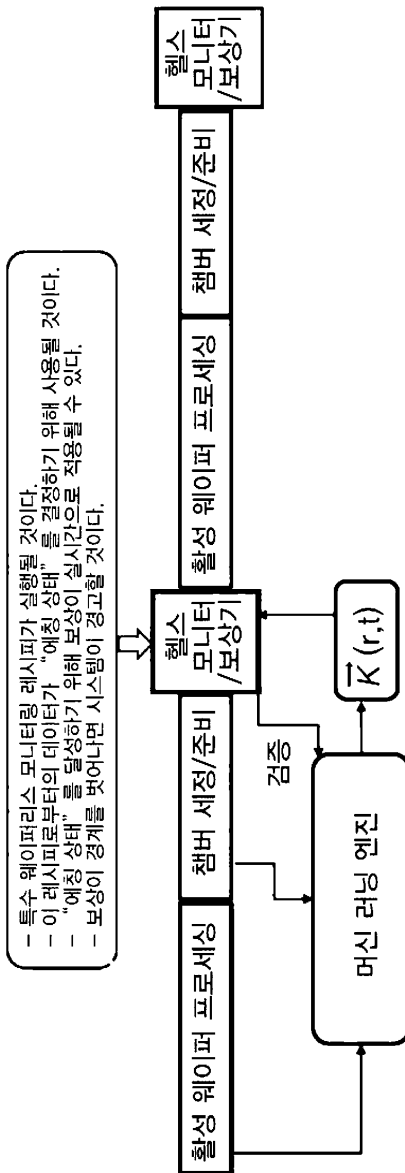


도면6

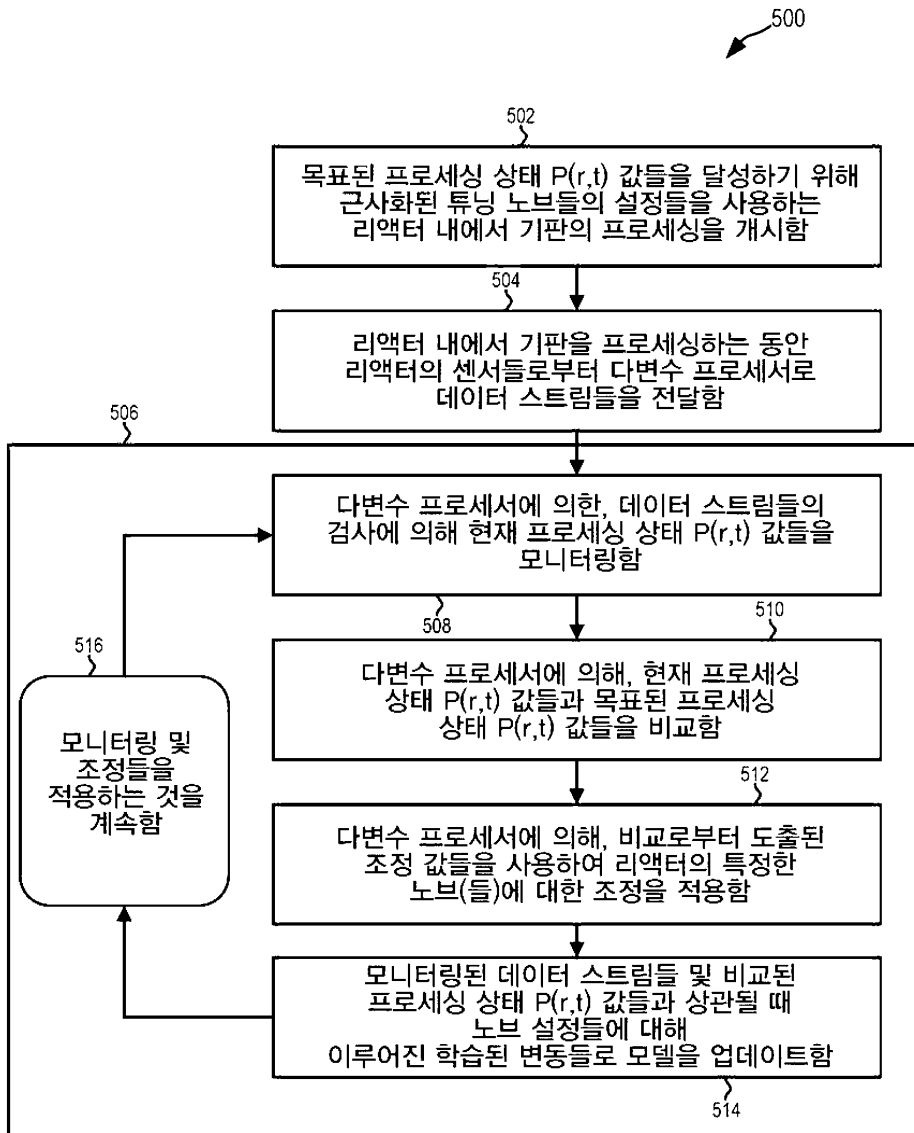


도면7a

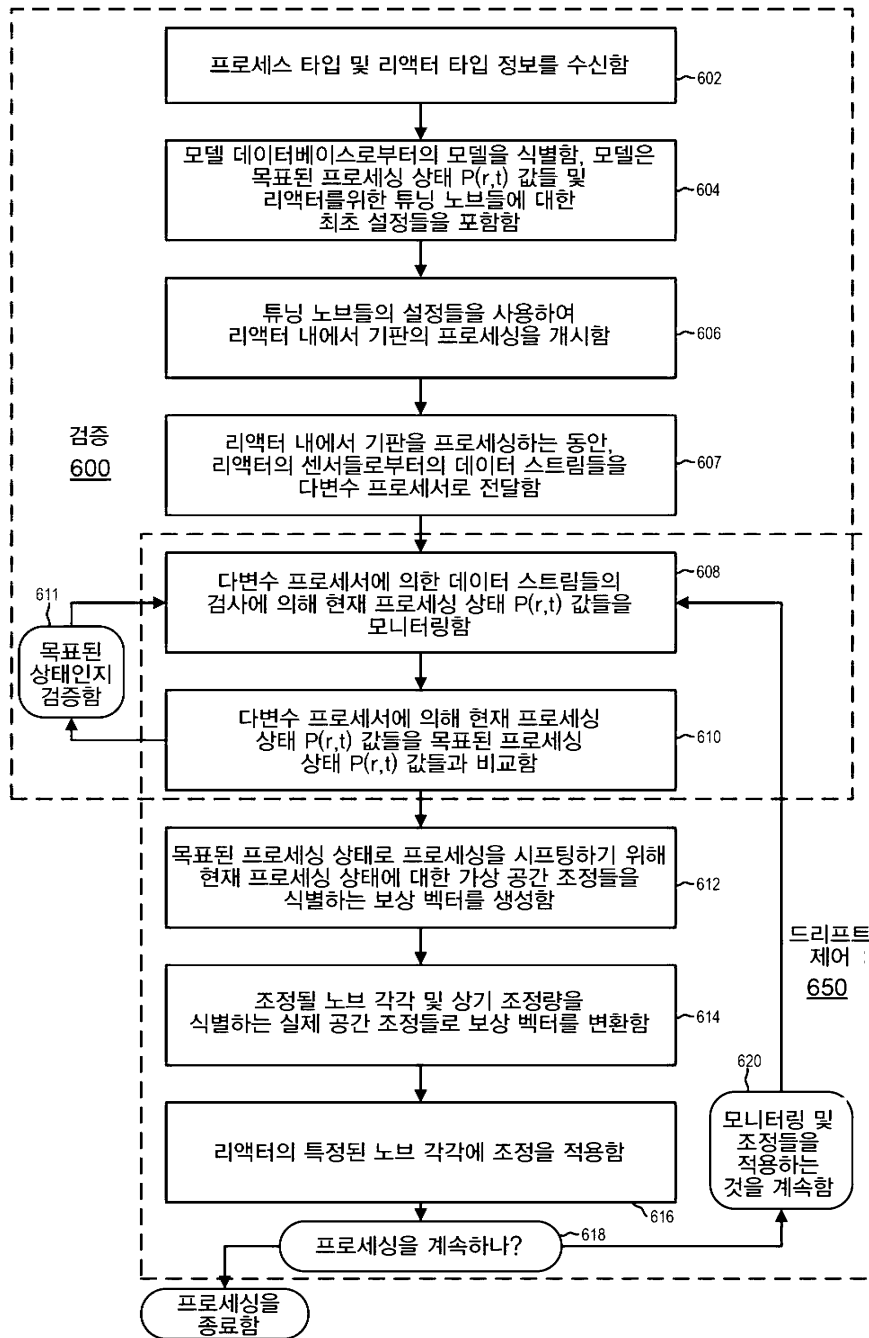




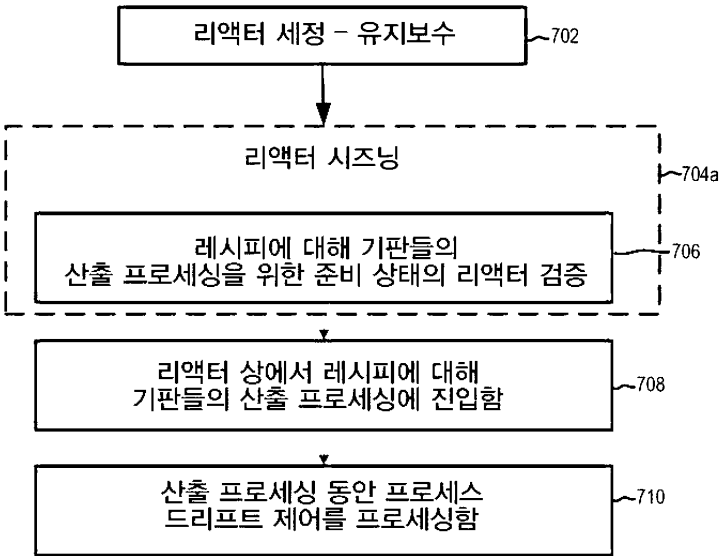
도면8



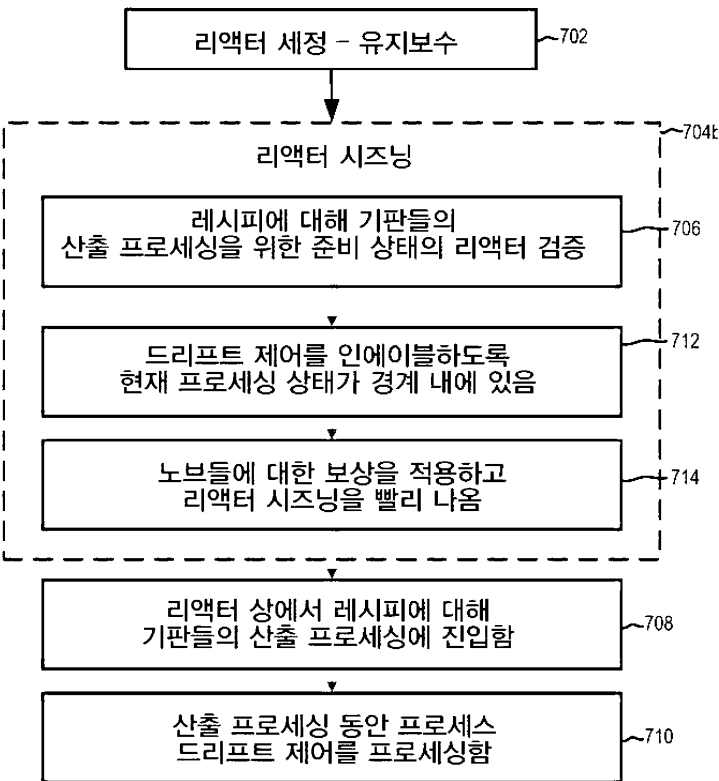
도면9



도면10



도면11



도면12

